



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

Soluções de Internet das Coisas (IoT) Aplicadas ao Monitoramento Hídrico em Reservatórios e Cisternas

VICTOR RAFAEL DE SOUSA FARIAS

Orientador: Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro

Campina Grande, Dezembro de 2025

©Victor Rafael De Sousa Farias



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Cursos Superior de Tecnologia em Telemática

Soluções de Internet das Coisas (IoT) Aplicadas ao Monitoramento Hídrico em Reservatórios e Cisternas

VICTOR RAFAEL DE SOUSA FARIAS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Telemática do IFPB - Campus
Campina Grande, como requisito parcial
para conclusão do curso de Tecnologia em
Telemática.

Orientador: Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro

Campina Grande, Dezembro de 2025

F224s Farias, Victor Rafael de Sousa

Soluções de Internet das Coisas (IoT) aplicadas ao monitoramento hídrico em reservatórios e cisternas / Victor Rafael de Sousa Farias. - Campina Grande, 2025.
54 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Telemática) - Instituto Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro

1. Telemática. 2. Internet das coisas - IoT. 3. Recursos hídricos - Monitoramento. 4. Cisternas. I. Castro, Éwerton Rômulo Silva. II Título.

CDU 004.738

Soluções de Internet das Coisas (IoT) Aplicadas ao Monitoramento Hídrico em Reservatórios e Cisternas

VICTOR RAFAEL DE SOUSA FARIAS

Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro
Orientador

Dr. José Antônio Cândido Borges da Silva
Membro da Banca

Dr. Elmano Ramalho Cavalcanti
Membro da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil
Dezembro/2025

Dedico este trabalho à minha família, especialmente à minha mãe Vitoria e minha Avó Josefa que sempre estiveram do meu lado me apoiando e incentivando.

Alguma frase/pensamento (OPCIONAL)

Autor

Agradecimentos

Agradeço, a minha família e amigos, que sempre me apoiaram nessa jornada.

Resumo

O acesso à água no semiárido brasileiro permanece um desafio significativo, afetando a qualidade de vida e a segurança hídrica das populações rurais. Embora programas como o P1MC tenham ampliado o número de cisternas instaladas, a gestão desses reservatórios ainda carece de eficiência, sobretudo pela ausência de monitoramento contínuo e pela dependência da Operação Carro-Pipa, caracterizada por altos custos e baixa sustentabilidade. Nesse contexto, este trabalho realiza uma revisão sistemática, seguindo o protocolo PRISMA, para analisar tecnologias de IoT (*Internet of Things* - Internet das Coisas) aplicadas ao monitoramento remoto de cisternas. Foram avaliadas soluções envolvendo sensores, fontes de energia, plataformas de software e tecnologias de conectividade, como Wi-Fi, ZigBee e especialmente LoRaWAN, que se destacou pelo baixo consumo e longo alcance. Os resultados evidenciam que sistemas IoT baseados em LPWAN, sensores ultrassônicos e plataformas em nuvem apresentam maior viabilidade para uso em áreas rurais, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e possibilitando planejamento otimizado da distribuição de água.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Monitoramento de cisternas; Semiárido; Tecnologias IoT; LoRaWAN.

Abstract

Access to water in the Brazilian semiarid region remains a significant challenge, affecting the quality of life and water security of rural populations. Although programs such as P1MC have expanded the number of installed cisterns, the management of these reservoirs is still inefficient, mainly due to the absence of continuous monitoring and the dependence on the “Carro-Pipa” Operation, characterized by high costs and low sustainability. In this context, this study conducts a systematic review following the PRISMA protocol to analyze Internet of Things (IoT) technologies applied to the remote monitoring of cisterns. The review examines solutions involving sensors, energy sources, software platforms, and connectivity technologies such as Wi-Fi, ZigBee and especially LoRaWAN, which stands out for its low energy consumption and long-range communication. The results indicate that IoT systems based on LPWAN, ultrasonic sensors, and cloud platforms present high viability for use in rural areas, contributing to more efficient water resource management and enabling optimized planning of water distribution.

Keywords: Internet of Things; Cistern Monitoring; Semiarid; IoT Technologies; LoRaWAN.

Sumário

Lista de Siglas e Abreviaturas	xii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Quadros	xv
1 Introdução	1
1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Metodologia	5
1.4 Organização do Documento	5
2 Fundamentação Teórica	6
2.1 Conceito de Internet das Coisas	6
2.2 Aplicações de IoT no Monitoramento Hídrico	7
2.3 Tecnologias de Conectividade para IoT	8
2.4 Sensores e atuadores	11
2.5 Fontes de Energia	12
2.6 Plataformas de software	14
3 Metodologia	16
3.1 Questão de pesquisa	16
3.2 Palavras-Chave	17
3.3 Termos de Busca	17
3.4 Critérios de Inclusão e Exclusão	17
3.5 Estratégia de busca nas bases de dados	18
3.5.1 Google Acadêmico	18
3.5.2 IEEE Xplore	19
3.5.3 Portal de Periódicos CAPES	19

3.6	Processo de seleção dos estudos	20
3.7	Fluxograma do processo metodológico	20
3.8	Artigos selecionados	21
4	Resultados e Discussões	23
4.1	Conectividade	23
4.2	Sensores e parâmetros monitorados	24
4.3	Fontes de energia e autonomia	26
4.4	Plataformas de software e integração dos sistemas	27
5	Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros	28
5.1	Considerações Finais	28
5.2	Trabalhos futuros	29
	Referências Bibliográficas	30

Lista de Siglas e Abreviaturas

BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i> (Bluetooth de Baixa Energia)
ESP32	<i>Espressif Systems 32-bit Microcontroller</i> (Microcontrolador de 32 bits ESP32)
ESP8266	<i>Espressif Systems 8266 Microcontroller</i> (Microcontrolador ESP8266)
IA	<i>Inteligência Artificial</i> (Artificial Intelligence)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
LoRa	<i>Long Range</i> (Comunicação de Longo Alcance)
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i> (Rede de Área Ampla de Longo Alcance)
LTE-M	<i>Long Term Evolution for Machines</i> (Evolução de Longo Prazo para Máquinas)
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (Protocolo de Transporte Leve MQTT)
NB-IoT	<i>Narrowband Internet of Things</i> (Internet das Coisas em Banda Estreita)
OCP	Operação Carro Pipa
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (Rede Sem Fio de Alta Frequência)

Lista de Figuras

1.1	Semiárido brasileiro.	1
1.2	Programa P1MC: indicadores de desempenho e realidade das famílias beneficiadas.	2
2.1	Estrutura básica de um sistema IoT (Adaptado de [Perumal, Sulaiman e Leong 2015].	7
2.2	Arquitetura de um sistema IoT com gateways e serviços em nuvem(Adaptado de [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023].	9
2.3	Arquitetura de um sistema de monitoramento com uso sensores e atuadores (Adaptado de [Chinnusamy <i>et al.</i> 2018].	12
2.4	Exemplo de cisterna equipada com painel solar utilizado para alimentar sistemas IoT em regiões remotas [ASA Brasil 2025]	13
2.5	Mapas, <i>dashboard</i> e notificações via <i>Telegram</i> do sistema de monitoramento de cisternas (reproduzido de [Morais <i>et al.</i> 2025].	15
3.1	Processo metodológico da pesquisa	21

Lista de Tabelas

- 1.1 Dados da Operação Carro-Pipa (2013-2023). (Adaptado de [Maia, Cunha e Cunha 2024]. 3
- 2.1 Tecnologias de conectividade de rede e parâmetros comparativos(Adaptada de [Sharma e Muhuri 2023]. 10

Lista de Quadros

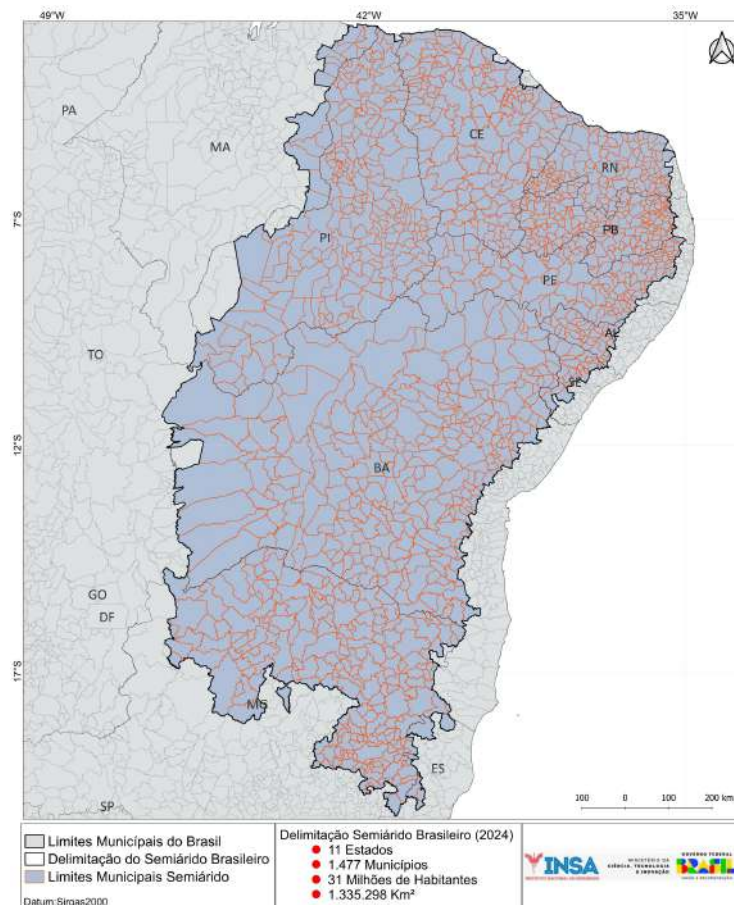
3.1	Palavras-Chave.	17
3.2	Termos de Busca.	17
3.3	Comparativo dos artigos (IoT).	22

Capítulo 1

Introdução

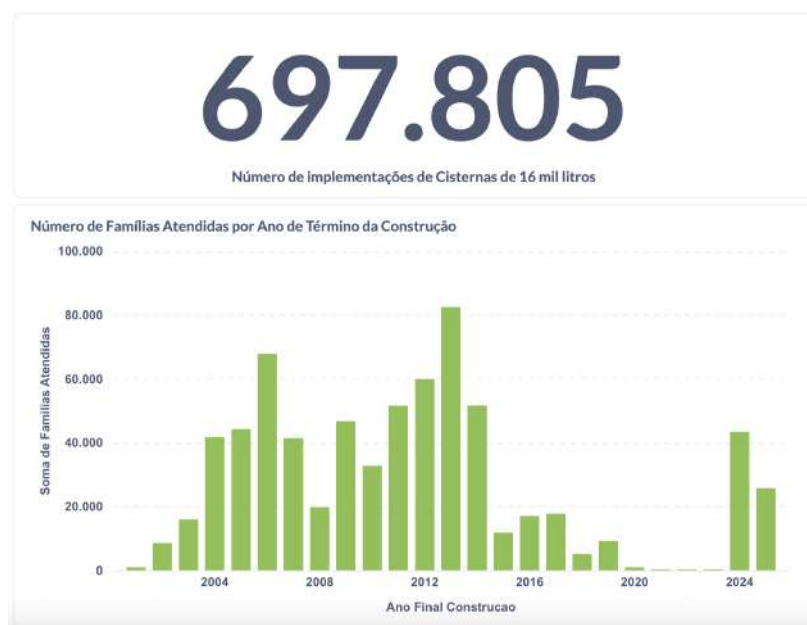
O acesso à água em áreas rurais e semiáridas é, ainda, um desafio na região Nordeste do Brasil, que compromete a qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico de sua população. O semiárido brasileiro (Figura 1.1) ocupa uma área superior a 1,3 milhão de km², aproximadamente 15% do território nacional, com mais de 31 milhões de habitantes distribuídos em 1477 municípios de 11 estados, segundo dados do [Instituto Nacional do Semiárido (INSA) 2024]. Tal cenário evidencia a necessidade de estratégias de convivência adequadas às características ambientais e sociais do semiárido.

Figura 1.1: *Semiárido brasileiro.*



Nesse cenário, as cisternas têm sido, historicamente, uma solução acessível para o armazenamento de água. A partir de 1999, com as primeiras ações que dariam origem ao Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), foram construídas milhares de cisternas, contribuindo de forma decisiva para o aumento da disponibilidade de água entre as famílias no semiárido brasileiro, gerando um impacto positivo em suas vidas [Azevedo e Moraes 2016]. Na Figura 1.2 são apresentados, em (a), o painel de dados do programa P1MC [(ASA) 2025] mostra o volume de 697.805 cisternas de 16 mil litros instaladas desde do início do P1MC; e em (b) a fotografia publicada pela [Folha de Pernambuco 2024] retrata o impacto social dessa iniciativa nas comunidades atendidas.

Figura 1.2: Programa P1MC: indicadores de desempenho e realidade das famílias beneficiadas.



(a) Dashboard de volume de cisternas.
Fonte: ASA Brasil (2025).



(b) Família ao redor da cisterna.
Fonte: Folha de Pernambuco (2024).

Apesar do avanço no acesso à água, a popularização das cisternas criou um novo desafio: a dificuldade na gestão da distribuição da água e a garantia da sua qualidade. Como muitas comunidades são abastecidas pela Operação Carro-Pipa (OCP), coordenada pelo Exército Brasileiro, o transporte de água potável passa a depender de uma complexa logística operacional. Essa operação atende famílias localizadas em municípios que se encontram em decreto de emergência devido à escassez hídrica. A falta de um sistema de monitoramento contínuo e as dificuldades na logística resultam em falhas e uma dependência constante desse modelo de abastecimento.

Segundo [Maia, Cunha e Cunha 2024], a OCP, criada inicialmente como uma força-tarefa temporária, acabou se tornando uma política pública permanente. Entre 2013 e 2023, o programa movimentou cerca de R\$ 7,3 bilhões, contratou em média mais de 3 mil pipeiros por ano e atendeu aproximadamente 1,5 milhão de pessoas na região semiárida (Tabela 1.1). Os números demonstram como a iniciativa, embora essencial em momentos de crise, possui um modelo de gestão caro e pouco sustentável.

Tabela 1.1: *Dados da Operação Carro-Pipa (2013-2023). (Adaptado de [Maia, Cunha e Cunha 2024].*

Ano	Municípios atendidos	População Atendida	Pontos de Abasteci- mento	Pipeiros contratados	Custo Total da OCP R\$
2013	849	3.415.409			505.378.916,27
2014	842	3.633.089			760.065.617,22
2015	883	3.536.680			871.720.683,93
2016	862	3.428.968			969.535.694,10
2017	840	4.128.603			960.632.932,69
2018	780	3.234.848			729.772.352,55
2019	666	2.054.800	45.522	4.327	564.895.265,62
2020	634	1.914.967	42.102	4.111	496.502.313,42
2021	603	1.673.756	36.897	3.573	449.932.691,03
2022	542	1.464.300	32.439	3.176	494.973.149,69
2023	452	1.383.008	31.120	2.961	500.574.675,10

Adicionalmente, embora estudos demonstrem que a presença de cisternas é um fator importante na redução de episódios diarreicos quando comparada à falta de acesso seguro à água [Luna *et al.* 2011], a manutenção da qualidade da água armazenada continua sendo um ponto de atenção para a saúde pública.

A IoT apresenta-se como alternativa tecnológica para solucionar os problemas de gestão e monitoramento da água. Por meio da aplicação de sensores, dispositivos de comunicação e sistemas de monitoramento, a IoT pode contribuir para superar as limitações existentes,

permitindo o acompanhamento remoto da qualidade e do nível da água armazenada nas cisternas, otimizando a gestão dos recursos hídricos.

Apesar da existência de diversas iniciativas e soluções tecnológicas voltadas ao monitoramento hídrico, observa-se uma lacuna na literatura no que se refere a estudos comparativos sistematizados sobre tecnologias de Internet das Coisas (IoT) aplicadas especificamente ao monitoramento remoto de cisternas em áreas rurais do semiárido brasileiro. Em especial, carecem análises que considerem, de forma integrada, aspectos como conectividade, consumo energético, custo de implementação e adequação às limitações de infraestrutura dessas regiões.

1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho

A importância deste trabalho reside na contribuição que pode dar ao aperfeiçoamento da governança hídrica no semiárido. Após a ampliação do acesso à água por meio de programas como o P1MC, surge a necessidade de aprimorar a gestão das infraestruturas de armazenamento para o abastecimento humano. O modelo atual, com mecanismos insuficientes de controle e monitoramento e em uma logística reativa de carros-pipa, revela-se ineficiente, gerando desperdícios e dificultando a distribuição igualitária da água.

É nesta lacuna, entre a disponibilidade de água armazenada e a ausência de uma gestão inteligente, que a IoT se mostra como uma solução de impacto. A tecnologia permite a transição de uma gestão reativa, baseada em ações corretivas, para uma abordagem proativa, em que alertas automáticos viabilizam o reabastecimento planejado. Essa abordagem tem como resultado a otimização das rotas dos carros-pipa, redução dos custos operacionais e uma garantia de maior segurança hídrica e sanitária.

1.2 Objetivos

Com base na problemática exposta na justificativa, esta seção apresenta os objetivos que norteiam a presente pesquisa. A seguir, são detalhados o objetivo geral, que define o propósito central do estudo, e os objetivos específicos, que descrevem as etapas necessárias para alcançá-lo.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar e comparar tecnologias de IoT aplicadas ao monitoramento remoto de cisternas em áreas rurais, considerando as tecnologias de conectividade, sensores, fontes de energia e softwares utilizados, com base nos critérios de desempenho, consumo energético e custo de implementação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar soluções de IoT aplicadas ao monitoramento hídrico em reservatórios e cisternas.
- Identificar as principais tecnologias de conectividade, sensores, fontes de energia e softwares utilizadas nesse contexto.
- Avaliar o consumo energético das tecnologias, considerando a viabilidade em áreas com restrição de infraestrutura elétrica.
- Analisar os custos de implementação, destacando vantagens e limitações.
- Realizar uma síntese comparativa que pode auxiliar na escolha da tecnologia mais adequada para áreas rurais.

1.3 Metodologia

O estudo baseia-se em uma revisão estruturada da literatura, fundamentada em artigos científicos e trabalhos acadêmicos sobre a aplicação da Internet das Coisas (IoT) em sistemas de monitoramento hídrico. A condução da revisão segue diretrizes do protocolo PRISMA, com o objetivo de garantir transparência, rastreabilidade e rigor metodológico no processo de seleção e análise dos estudos. As tecnologias identificadas são organizadas em quatro categorias: conectividade, sensores e atuadores, fontes de energia e plataformas de software, avaliadas segundo critérios de desempenho, consumo energético e custo de implementação.

1.4 Organização do Documento

No Capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos que sustentam a pesquisa, incluindo os principais conceitos de IoT e suas aplicações no monitoramento hídrico. O Capítulo 3 é dedicado à descrição detalhada da metodologia adotada. No Capítulo 4 são expostos e discutidos os resultados da comparação entre as tecnologias analisadas. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do estudo, bem como as limitações encontradas e as propostas para pesquisas futuras.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

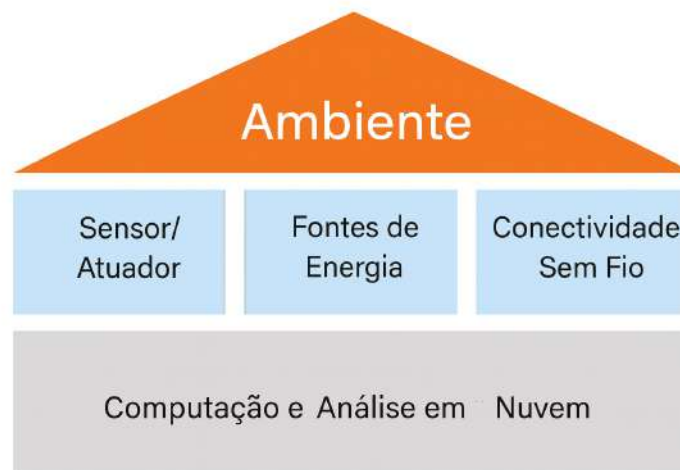
Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta o desenvolvimento desta pesquisa, abordando os principais conceitos relacionados à IoT e sua aplicação no monitoramento hídrico. Inicialmente, são discutidos os fundamentos da IoT e seus componentes essenciais, como sensores, atuadores, tecnologias de conectividade, fontes de energia e plataformas de software. Em seguida, são analisadas as tecnologias de comunicação mais empregadas em ambientes rurais, com ênfase em soluções de longo alcance e baixo consumo energético. Por fim, o capítulo estabelece a relação entre essas tecnologias e o contexto das cisternas no semiárido brasileiro, fornecendo o embasamento necessário para a análise comparativa desenvolvida nos capítulos seguintes.

2.1 Conceito de Internet das Coisas

IoT refere-se à interconexão de objetos físicos por meio da internet, possibilitando que esses dispositivos coletem e compartilhem dados de forma autônoma. Essa tecnologia incorpora sensores, microcontroladores, atuadores e protocolos de comunicação que, juntos, permitem a criação de sistemas inteligentes e interativos [Nascimento e Cichaczewski 2021].

Na Figura 2.1, adaptada do modelo proposto por [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], são apresentados os elementos essenciais que compõem um sistema IoT. De maneira geral, esse tipo de sistema envolve um **Ambiente**, no qual ocorre o fenômeno monitorado; **Sensores e Atuadores**, responsáveis pela coleta de dados ou pela realização de ações; uma **Fonte de Energia**, necessária para o funcionamento contínuo dos dispositivos; um meio de **Conectividade**, que viabiliza a transmissão das informações; e, por fim, uma camada de **Computação em Nuvem**, onde os dados são armazenados, processados e disponibilizados ao usuário. Cada componente desempenha uma função específica que garante o fluxo de informações desde a coleta no ambiente até sua interpretação e uso.

Figura 2.1: *Estrutura básica de um sistema IoT (Adaptado de [Perumal, Sulaiman e Leong 2015].*



De acordo com [Goncalves 2023], a IoT constitui uma extensão da internet tradicional voltada à comunicação entre dispositivos, promovendo eficiência e automação. Nesse modelo, os objetos físicos tornam-se capazes de processar informações e tomar decisões com base nos dados coletados por sensores embarcados.

O conceito também está relacionado ao paradigma computacional do "computador invisível", onde o processamento e a conectividade estão integrados ao ambiente físico de maneira discreta, porém eficiente [Silva 2023].

Segundo [Nascimento e Cichaczewski 2021], a IoT tem-se mostrado uma solução tecnológica promissora para ambientes urbanos e rurais, possibilitando desde a automação de processos industriais até o gerenciamento inteligente de recursos hídricos, como no caso de cisternas e reservatórios.

Por fim [Goncalves 2023], enfatiza que o avanço da IoT está diretamente ligado ao desenvolvimento de tecnologias de conectividade de baixo custo e baixo consumo energético, como o LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network* - Rede de Área Ampla de Longo Alcance), que amplia o alcance da rede e viabiliza aplicações em áreas remotas.

2.2 Aplicações de IoT no Monitoramento Hídrico

A IoT vem sendo usada em soluções voltadas ao monitoramento e à gestão da água, tanto em ambientes urbanos quanto rurais. O uso de sensores conectados, plataformas em nuvem e redes de comunicação de baixo consumo permite acompanhar variáveis como nível, vazão e qualidade da água de forma contínua e remota.

Em ambiente urbano, [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], na Malásia, montaram um sistema de monitoramento de nível da água em tempo real, com envio dos dados para nuvem e emissão de alerta via redes sociais, visando aplicações como aviso antecipado em cenários de alagamento (enchentes). Essa aplicação demonstra como as tecnologias IoT podem contribuir para modernização dos sistemas de monitoramento urbano.

Em regiões rurais, iniciativas tem explorado o uso da IoT em sistemas de monitoramento de cisternas, com foco em acessibilidade e baixo custo. O trabalho de [Goncalves 2023], no Brasil, desenvolveu um protótipo baseado em ESP32 (Espressif Systems 32-bit Microcontroller - Microcontrolador de 32 bits ESP32) e LoRaWAN para medição do nível da água em cisternas, transmitindo os dados para uma plataforma de visualização remota. De forma semelhante, [Silva 2023] apresentou o SysMV (Sistema de Monitoramento Volumétrico), voltado à gestão comunitária de reservatórios e ao combate à escassez de água em comunidades rurais.

De modo geral, as aplicações analisadas evidenciam que a IoT pode atender a diferentes realidades de gestão hídrica. Em contextos urbanos, o foco recai sobre o controle e a resposta a eventos críticos, enquanto nas áreas rurais as soluções visam garantir a gestão sustentável da água. Mesmo com os avanços observados, os desafios com relação a conectividade em regiões isoladas continuam. Esse fator justifica a necessidade de uma análise comparativa das tecnologias de conectividade empregadas.

2.3 Tecnologias de Conectividade para IoT

A escolha da tecnologia de conectividade adequada é fundamental para o funcionamento de sistemas de IoT em ambientes rurais, onde há limitação em termos de uma infraestrutura tradicional de comunicação. Diversas soluções têm sido exploradas, entre elas o LoRa e o LoRaWAN, que se destacam por sua baixa taxa de consumo energético e longo alcance de comunicação.

O LoRaWAN, especificamente, é uma tecnologia que se baseia em uma topologia estrela, onde os dispositivos finais (nós sensores) enviam dados para gateways que, por sua vez, repassam essas informações para servidores centrais. Esse modelo facilita o gerenciamento remoto e o monitoramento em tempo real de variáveis ambientais, como o nível da água em cisternas ou reservatórios agrícolas. Além disso, ele permite a escalabilidade da rede com custos relativamente baixos de implementação [Sharma e Muhuri 2023].

Por operar em bandas de frequência não licenciadas, como 868 MHz na Europa e 918 MHz na América do Sul, o LoRaWAN também se apresenta como uma alternativa economicamente viável. No entanto, o uso da faixa 2,4 GHz na tecnologia LoRa facilita a conexão de dispositivos em alguns cenários, mantendo o baixo consumo de energia e facilitando a integração com sensores de IoT padrão [Havriliuc *et al.* 2024].

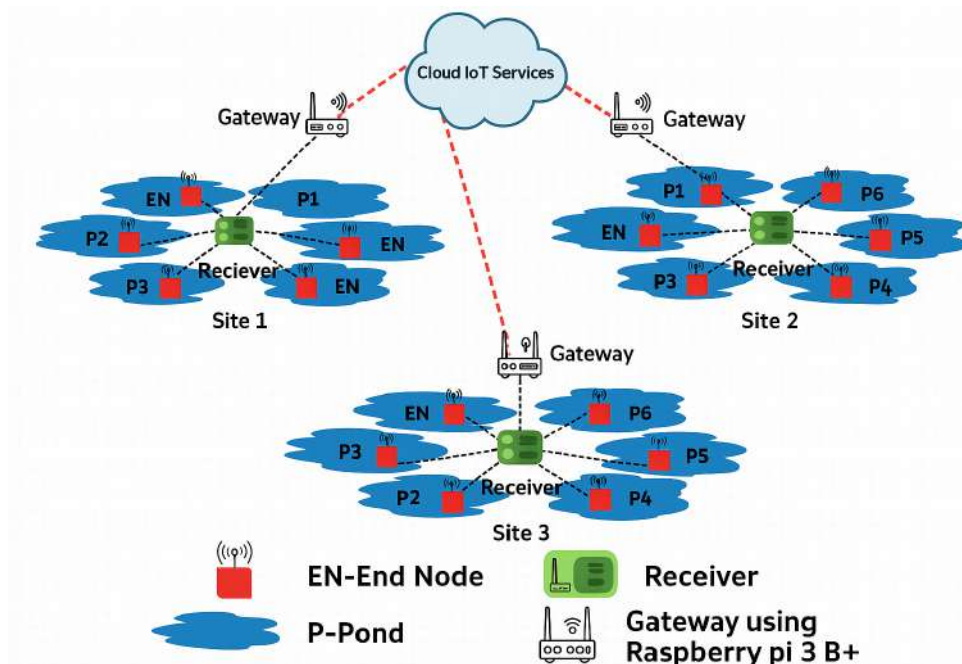
Outro estudo ressalta que em aplicações de aquicultura, por exemplo, o uso de LoRaWAN permitiu a coleta eficiente de dados de sensores de qualidade da água mesmo em áreas remotas, comprovando sua aplicabilidade em zonas sem acesso a redes celulares ou Wi-Fi (*Wireless Fidelity* - Rede Sem Fio de Alta Frequência) [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023].

Para exemplificar, a Figura 2.2 apresenta o modelo construído para monitorar variáveis distribuídas em diferentes pontos geográficos. Nesse modelo, cada (*Ponds* - *P*) contém nós

sensores (*End Nodes - EN*) instalado. Esses nós realizam a coleta local dos dados e enviam as informações para um receptor central (*Receiver*), responsável por reunir os dados transmitidos dentro de cada área.

Após essa etapa, o receptor encaminha as informações a um *gateway*, que desempenha a função de transmitir os dados para os serviços em nuvem, onde ocorre o armazenamento, tratamento e disponibilização das informações para análise. Como ilustrado na figura, a comunicação entre sensores, receptores e *gateways* ocorre em rede local, enquanto a comunicação entre gateways e a nuvem se dá por meio do LoRaWAN.

Figura 2.2: Arquitetura de um sistema IoT com gateways e serviços em nuvem (Adaptado de [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023]).



Além do LoRa, tecnologias como Zigbee, Bluetooth de baixa energia (BLE), Wi-Fi e redes celulares como NB-IoT (*Narrowband Internet of Things - Internet das Coisas em Banda Estreita*) e LTE-M (*Long Term Evolution for Machines - Evolução de Longo Prazo para Máquinas*) também são consideradas. No entanto, para regiões rurais com limitação de energia e infraestrutura, as opções de longo alcance e baixo consumo são ideais [Sadowski e Spachos 2020].

O uso de MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport - Protocolo de Transporte Leve MQTT*) como protocolo de transporte também é comum nesses cenários, devido à sua leveza e eficiência em redes de baixa largura de banda. Essa característica decorre do uso de um cabeçalho reduzido, da simplicidade do modelo *publish/subscribe* e da baixa exigência de processamento nos dispositivos. No sistema proposto por [Morais *et al.* 2025], o MQTT foi empregado em conjunto com microcontroladores ESP8266 (*Espressif Systems 8266 Microcontroller - Microcontrolador ESP8266*) conectados via Wi-Fi, demonstrando baixo consumo energético e confiabilidade na transmissão de dados em ambientes com infraestrutura limi-

tada.

Outra abordagem implementa conectividade sem fio para a transmissão de informações dos sensores para plataformas *web*, permitindo que os gestores dos recursos hídricos possam acompanhar a situação em tempo real e tomar decisões rápidas em caso de anormalidades, como níveis críticos de água [Perumal, Sulaiman e Leong 2015].

O Wi-Fi é frequentemente integrado a microcontroladores como o ESP8266, permitindo a transmissão de dados em curtas distâncias quando há disponibilidade de roteadores de uso doméstico. Nesses cenários, ele oferece simplicidade e baixo custo de implementação inicial, mas depende de infraestrutura já existente [Nascimento e Cichaczewski 2021].

Considerando os critérios técnicos analisados previamente, torna-se relevante recorrer a representações comparativas que evidenciem as diferenças práticas entre as tecnologias de conectividade aplicáveis ao IoT. A tabela 2.1, adaptada de [Sharma e Muhuri 2023], sintetiza esses parâmetros, permitindo visualizar fatores como alcance, taxa de dados e consumo energético que influenciam diretamente na escolha da tecnologia mais apropriada para cenários de monitoramento remoto.

Tabela 2.1: *Tecnologias de conectividade de rede e parâmetros comparativos (Adaptada de [Sharma e Muhuri 2023]).*

Tecnologia de Conectividade	Tipos de Tecnologias	Parâmetros				
		Taxa de dados (até)	Alcance (até)	Consumo de energia	Topologia de rede	Custo
Curto alcance	Bluetooth	1 Mbps	10 m	Moderado	Ponto a ponto	Baixo
	6LoWPAN	50–250 kbps	10-100 m	Baixo	Topologia adaptativa dinâmica	Baixo
	Zigbee	250 kbps	10-100 m	Baixo	Estrela, Malha, Cluster tree	Moderado
	WiFi	2 Mbps - 2,4 Gbps	150 pés – 45 m	Alto	Estrela	Moderado
Longo alcance (LPWAN)	NB-IoT (Licenciado)	128 kbps	1 km (Urbano) 10 km (Rural)	Alto	Estrela, Malha, Linnear	Alto
	LoRa (Não licenciado)	0,3–27 kbps	3 km (Urbano) 15 km (Rural)	Baixo	Estrela, Malha, Linnear	Moderado
Rede Celular	2G	384 kbps	1-2 km (Urbano) 5-32 km (Rural)	Alto	Estrela, Malha, Cluster tree	Alto
	3G	1–10 Mbps		Alto		Alto
	4G/LTE	10–100 Mbps		Alto		Alto
	5G	400 Mbps		Alto		Alto

Com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2.1, observa-se que o LoRa se destaca como a tecnologia mais adequada ao monitoramento remoto de cisternas. Seu alcance elevado, o baixo consumo de energia e o custo moderado o tornam mais eficiente que alterna-

tivas de curto alcance, como Wi-Fi e ZigBee, e mais viável economicamente que tecnologias celulares que necessitam de uma infraestrutura já existente. Assim, o LoRa apresenta melhor compatibilidade com ambientes rurais e situações em que a autonomia e a estabilidade da comunicação são essenciais. Importante destacar que LoRa corresponde à modulação responsável pela comunicação de longo alcance, enquanto o LoRaWAN constitui o protocolo de rede que organiza essa comunicação e viabiliza sua operação em áreas remotas [Sharma e Muhuri 2023].

Apesar das vantagens associadas ao longo alcance e ao baixo consumo energético, a utilização de tecnologias baseadas em LoRa e LoRaWAN apresenta algumas limitações que devem ser consideradas no contexto do monitoramento hídrico em áreas rurais. A arquitetura LoRaWAN depende da disponibilidade de *gateways* para a recepção e encaminhamento dos dados, o que pode representar um desafio em regiões com infraestrutura limitada. Além disso, a baixa taxa de transmissão de dados, característica das redes LPWAN, restringe o envio de grandes volumes de informação, tornando a tecnologia mais adequada a aplicações com transmissões esporádicas e pacotes reduzidos, característica que está alinhada com a proposta de funcionamento de sistemas de monitoramento de cisternas, nos quais a coleta e o envio periódico de informações são suficientes para apoiar a tomada de decisão.

2.4 Sensores e atuadores

Os sensores e atuadores compõem a camada de percepção dos sistemas baseados em IoT, sendo responsáveis pela coleta de dados e pela execução de ações automatizadas. No monitoramento hídrico, permitem acompanhar variáveis como nível, pH, turbidez, temperatura e condutividade, fornecendo dados essenciais à gestão da água [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023]

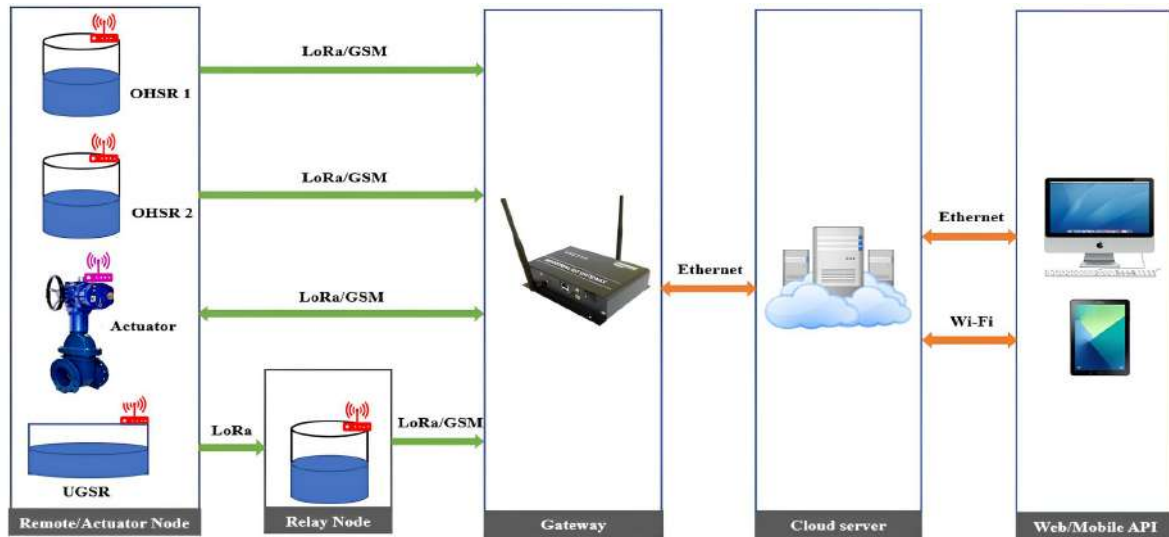
Os sensores de nível são bastante utilizados em sistemas de monitoramento hídrico, devido ao baixo custo e garantindo uma precisão adequada. No trabalho de [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], eles utilizaram sensores ultrassônicos conectados via Wi-Fi para monitoramento, enquanto [Goncalves 2023] e [Morais *et al.* 2025] aplicaram sensores ultrassônicos HC-SR04 integrados a microcontroladores ESP32, utilizando respectivamente as tecnologias LoRaWAN e Wi-Fi com protocolo MQTT para transmissão dos dados em cisternas rurais.

Sensores de pH, turbidez e temperatura são mais usados em aplicações voltadas a medir a qualidade da água. [Faricha *et al.* 2019] implementaram um protótipo utilizando o Arduino MKR Wifi 1010, e [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023] utilizaram desses tipos de sensores em um projeto voltado a aquicultura, demonstrando a importância desse tipo de tecnologia na garantia da qualidade da água em diferentes tipos de contexto.

Além dos sensores, alguns sistemas de monitoramento podem incluir atuadores para permitir não apenas a coleta de dados, mas também a execução de ações remotas. No projeto de [Chinnusamy *et al.* 2018], aplicado na Índia, foram utilizados atuadores elétricos instalados

diretamente nas válvulas dos reservatórios, possibilitando a abertura e o fechamento remotos por meio de comandos enviados pelo *gateway*. A figura 2.3 apresenta uma síntese dessa arquitetura, ilustrando como os sensores, atuadores e o *gateway* se integram no sistema proposto.

Figura 2.3: *Arquitetura de um sistema de monitoramento com uso sensores e atuadores (Adaptado de [Chinnusamy et al. 2018]).*



Embora os atuadores ampliem as possibilidades de automação nos sistemas baseados em IoT, sua utilização nem sempre é indispensável em aplicações de monitoramento hídrico. Em cenários como o das cisternas em áreas rurais, o objetivo principal consiste no acompanhamento do nível e da qualidade da água, fornecendo insumo à tomada de decisão por parte dos gestores e das comunidades atendidas. Nesses casos, a atuação direta sobre o sistema hidráulico ocorre, em geral, de forma planejada e mediada por ações humanas ou logísticas, como o reabastecimento por carros-pipa, não exigindo controle automatizado contínuo. Assim, embora relevantes em determinados contextos, os atuadores assumem um papel complementar neste tipo de aplicação, enquanto os sensores e os mecanismos de comunicação permanecem como elementos centrais do sistema.

Resumindo, os sensores e atuadores fazem parte do núcleo dos sistemas IoT de monitoramento hídrico, e a eficiência desses sistemas depende da forma como ocorre a integração entre hardware, conectividade e software. O próximo tópico aborda as fontes de energia utilizadas nesses dispositivos, aspecto crucial para garantir o funcionamento contínuo em locais com infraestrutura limitada.

2.5 Fontes de Energia

A fonte de energia é um fator crucial para o funcionamento de sistemas IoT, sobretudo em aplicações voltadas ao monitoramento hídrico. Nesse contexto, os dispositivos precisam funcionar de forma contínua e autônoma, uma vez que fazer manutenção frequente nem sempre

é possível. A autonomia energética é determinante para a viabilidade desses sistemas, especialmente quando instalados em locais de difícil acesso [Sharma e Muhuri 2023; Goncalves 2023].

A fonte de energia a ser utilizada vai depender conforme o ambiente e nível de autonomia necessário. A energia solar, geralmente atrelada a baterias recarregáveis, é ideal que seja usada em áreas rurais, aproveitando da alta incidência solar para manter o funcionamento contínuo dos sensores e módulos de comunicação. [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023] relatam bons resultados ao empregar painéis solares em um sistema de aquicultura, garantindo a coleta constante de dados. Em ambientes urbanos, a alimentação contínua por rede se mostra mais adequada [Perumal, Sulaiman e Leong 2015; Faricha *et al.* 2019].

Figura 2.4: *Exemplo de cisterna equipada com painel solar utilizado para alimentar sistemas IoT em regiões remotas [ASA Brasil 2025]*



Em aplicações que utilizam tecnologias de conectividade de baixo consumo, como o LoRaWAN, o uso de painéis solares de pequena escala pode ser suficiente para garantir autonomia por longos períodos. Por outro lado, sistemas com comunicação Wi-Fi ou 4G demandam fontes de maior capacidade ou recarga mais frequente. [Goncalves 2023] destaca que, em projeto de monitoramento de cisterna, a adoção de fontes autônomas é indispensável para manter a operação em regiões onde o acesso à manutenção é limitado.

Além do tipo de fonte empregada, a eficiência energética também depende do modo como o sistema é gerenciado. O uso de componentes de baixo consumo, modos de suspensão programada são estratégias adotadas para prolongar a autonomia. [Chittesh e Sathiyapriya 2025] apontam que essa integração entre hardware e software é fundamental nesse processo,

pois o gerenciamento dos ciclos de operação e repouso reduz significativamente o gasto de energia sem comprometer a qualidade das medições.

Embora o uso de fontes renováveis, como a energia solar associada a baterias recarregáveis, seja amplamente adotado em sistemas IoT para monitoramento hídrico em áreas rurais, sua eficácia depende de fatores ambientais e operacionais que devem ser considerados. A variabilidade da incidência solar, o envelhecimento das baterias e a necessidade de dimensionamento adequado dos componentes podem impactar diretamente a autonomia do sistema ao longo do tempo. Dessa forma, a escolha da fonte de energia não deve ser analisada de forma isolada, mas em conjunto com o consumo energético dos sensores, dos módulos de comunicação e das estratégias de gerenciamento adotadas, garantindo que o sistema opere de maneira contínua e confiável mesmo em cenários de infraestrutura limitada.

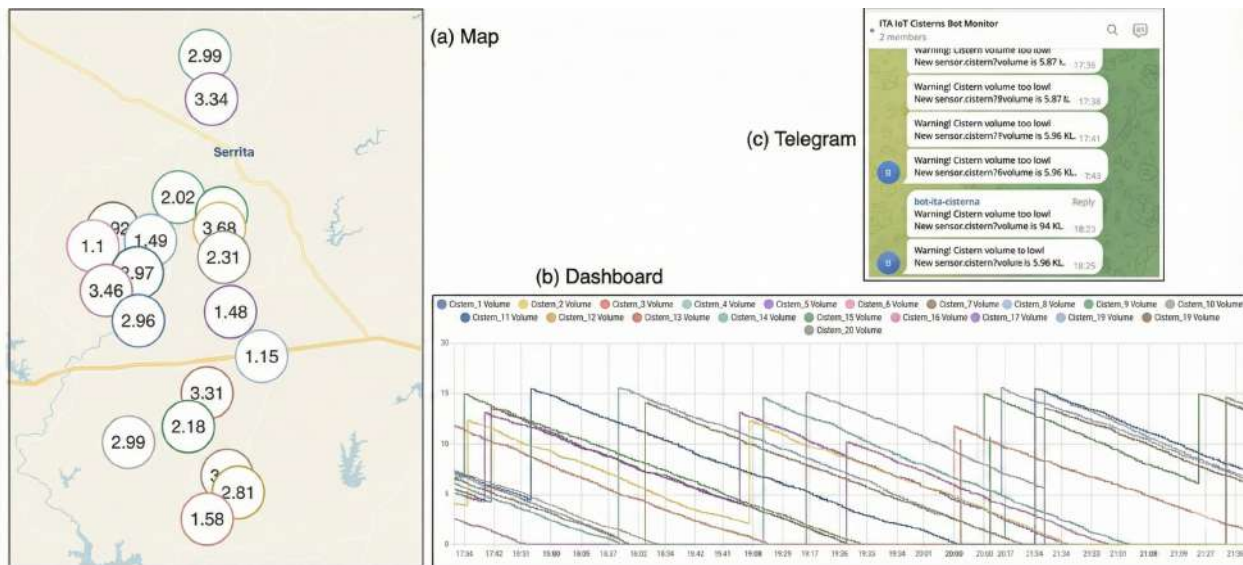
2.6 Plataformas de software

As plataformas de *software* representam a camada responsável por reunir os dados coletados pelo os sensores. Elas possibilitam a visualização dos dados em tempo real, o histórico e, em alguns casos, o controle remoto dos atuadores. No contexto do semiárido, essas plataformas pode assumir papel estratégico ao possibilitar o acompanhamento de cisternas distribuídos em amplas áreas, com o intuito de reduzir os deslocamentos e fornecer as informações para o planejamento da operação carro pipa.

Entre os estudos analisados, [Morais *et al.* 2025] desenvolveram um sistema completo de monitoramento de cisterna desenvolvido sobre a plataforma Home Assistant. A solução integra sensores de nível a uma interface web intuitiva, permitindo o acompanhamento dos reservatórios. O uso do [HiveMQ 2025] como intermediário de comunicação e da API do [Telegram Messenger LLP 2013] para o envio automático de notificações. De forma complementar, [Faricha *et al.* 2019] desenvolveram um protótipo de monitoramento da qualidade da água com envio automático das medições para a plataforma [ThingSpeak 2010]. A aplicação em nuvem armazena e apresenta os dados em gráficos, permitindo o acompanhamento remoto das variações registradas.

A figura 2.5 apresenta os resultados da simulação do sistema de monitoramento de cisternas montado por [Morais *et al.* 2025], reunindo três perspectivas complementares. No mapa, são mostradas as cisternas distribuídas geograficamente, cada uma identificada pelo respectivo volume de água monitorado. Abaixo, o *dashboard* exibe os gráficos, permitindo observar o comportamento do consumo e da reposição ao longo do tempo. Por fim, a área referente ao *Telegram* mostra as mensagens automáticas enviadas aos usuários quando o volume atinge o limite mínimo configurado, evidenciando o funcionamento integrado das plataformas empregadas no sistema.

Figura 2.5: Mapas, dashboard e notificações via Telegram do sistema de monitoramento de cisternas (reproduzido de [Moraes et al. 2025]).



Alem disso, [Chittesh e Sathiyapriya 2025] propuseram uma arquitetura de gestão hídrica que utiliza de computação em nuvem para o armazenamento e processamento das informações coletadas. Nessa camada, modelos preditivos são aplicados para identificar padrões de consumo e qualidade da água, fornecendo subsídios à gestão e ao uso mais eficiente dos recursos.

No sistema IoT proposto por [Chinnusamy *et al.* 2018], o Grafana foi utilizado como plataforma de visualização e também como interface de controle, permitindo que comandos fossem enviados aos atuadores diretamente pelo painel, demonstrando o potencial dessas ferramentas para integrar monitoramento e operação remota.

Embora plataformas de software como Home Assistant e ThingSpeak desempenhem um papel central no monitoramento remoto de cisternas e outros reservatórios, seu valor no contexto da Operação Carro-Pipa vai além da coleta de dados. Essas ferramentas podem otimizar a gestão do abastecimento, permitindo o acompanhamento em tempo real dos níveis de água e facilitando a tomada de decisões logísticas, como o planejamento das rotas de reabastecimento. No entanto, sua eficácia depende de fatores como a qualidade da conectividade em áreas remotas e a capacidade dos gestores locais de utilizar adequadamente a tecnologia. Portanto, essas plataformas não substituem as operações tradicionais, mas ampliam a capacidade de gestão já existente, proporcionando maior eficiência e reduzindo os custos e o tempo de deslocamento.

Capítulo 3

Metodologia

Esta pesquisa seguiu o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* - Itens de Relatórios Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), conforme [Moher *et al.* 2016], a fim de garantir o rigor metodológico e transparência na condução da revisão sistemática. Essa abordagem organiza e relata de maneira padronizada os processos de seleção e análise de estudos científicos, contribuindo para a confiabilidade dos resultados.

A metodologia foi estruturada em três fases. Na primeira, realizou-se a busca por publicações relevantes em bases de dados reconhecidas, sendo elas: Periódico CAPES, IEEE Xplore e Google Acadêmico. Foram considerados estudos publicados entre 2015 e 2025, a fim de garantir a inclusão de pesquisas recentes e alinhadas aos avanços das tecnologias de Internet das Coisas aplicadas ao monitoramento hídrico. Na segunda fase, procedeu-se à triagem dos materiais encontrados com base em critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, que orientaram a seleção dos estudos mais adequados. Por fim, foi realizada a análise e sistematização dos dados extraídos dos trabalhos selecionados, com o objetivo de identificar padrões, lacunas e contribuições relevantes para o campo abordado.

O resultado, no fim desse processo, foi uma revisão sistemática, capaz de oferecer uma base teórica para as seções de resultados e discussões, reforçando as conclusões do estudo.

3.1 Questão de pesquisa

A revisão foi conduzida a partir da seguinte questão:

Quais combinações de tecnologias de Internet das Coisas (IoT), envolvendo sensores, fontes de energia, conectividade e plataformas de software se mostram mais adequadas para o monitoramento remoto de cisternas em áreas rurais, considerando eficiência, alcance, consumo energético e custo de implementação?

3.2 Palavras-Chave

A definição das palavras-chave é fundamental na revisão sistemática, pois orienta a busca nas bases de dados. São elas que, no fim, determinam quais estudos serão localizados e analisados, influenciando a abrangência e a precisão dos resultados. No contexto do método PRISMA, essa escolha deve ser feita de forma planejada, com termos que representem os principais conceitos da pesquisa. As palavras-chave selecionadas para este estudo são apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: *Palavras-Chave.*

Internet of Things (IoT)
LoRaWAN
Remote Monitoring
Water Management
Rural Areas

3.3 Termos de Busca

Apos a escolha das palavras-chaves, foi realizada a definição dos termos de busca utilizando-se de operadores booleanos "AND" e "OR". Essa etapa teve como objetivo ampliar as possibilidades de pesquisa e garantir que os estudos relevantes fossem incluídos, mesmo quando foram utilizadas variações nos termos. Além dos termos em inglês, também foram utilizados equivalentes em português que serviu para ampliar os resultados da busca, incluindo trabalhos acadêmicos nacionais como monografias e dissertações. As principais combinações utilizadas estão sintetizadas no Quadro 3.2, na qual são exemplificado os operadores booleanos aplicados às estratégias de busca. A utilização dos termos dessa forma contribuiu para tornar a busca mais completa e direcionada, facilitando o desenvolvimento do trabalho e garantindo uma base teórica mais consistente.

Quadro 3.2: *Termos de Busca.*

("Internet of Things"OR "IoT") AND ("Remote Monitoring") AND ("Cistern")
("Internet of Things"OR "IoT") AND ("Remote Monitoring") AND ("Water Management")
("Internet of Things"OR "IoT") AND ("LoRaWAN"OR "NB-IoT") AND ("Rural Areas")
("Internet das Coisas"OR "IoT") AND ("Monitoramento Remoto") AND ("Cisterna")
("Internet das Coisas"OR "IoT") AND ("Água") AND ("Áreas Rurais")

3.4 Critérios de Inclusão e Exclusão

Para garantir a relevância e a qualidade dos artigos selecionados, foram estabelecidos critérios claros para filtrar os resultados da busca.

Foram incluídos os trabalhos que atenderam aos seguintes requisitos:

- Documentos publicados entre 2015 e 2025.
- Artigos revisados por pares (*peer-reviewed*), dissertações e monografias.
- Estudos com foco em aplicações reais, soluções de baixo custo e/ou voltados a áreas rurais.

Foram descartados os trabalhos que:

- Não abordavam diretamente o uso de IoT para monitoramento hídrico.
- Eram artigos de revisão de literatura, editoriais ou artigos de opinião.
- Não apresentavam informações técnicas sobre a solução proposta (por exemplo, sem dados sobre consumo, alcance ou integração)

3.5 Estratégia de busca nas bases de dados

A etapa de identificação dos estudos foi realizada por meio de buscas bibliográficas em três bases de dados distintas: Google Acadêmico, IEEE Xplore e Portal de Periódicos CAPES. A utilização de múltiplas bases teve como objetivo ampliar a cobertura da literatura, considerando que cada uma apresenta características próprias quanto à indexação, escopo temático e tipos de documentos disponibilizados.

As buscas foram conduzidas no período de 2015 a 2025, utilizando as palavras-chave e combinações booleanas apresentadas anteriormente. Devido às diferenças estruturais entre as bases, os resultados obtidos apresentaram volumes variados, o que demandou a descrição individual do processo de busca em cada fonte, garantindo maior transparência e rastreabilidade da etapa de identificação dos estudos.

3.5.1 Google Acadêmico

No Google Acadêmico, foram aplicadas as estratégias de busca definidas, com o objetivo de identificar estudos relacionados ao uso da Internet das Coisas no monitoramento hídrico e em contextos associados a reservatórios e cisternas. Essa base foi utilizada principalmente por sua abrangência, reunindo artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações de diferentes áreas do conhecimento.

Os quantitativos obtidos a partir das estratégias de busca foram:

- String 1: 63 resultados;
- String 2: 6.180 resultados;
- String 3: 6.860 resultados;
- String 4: 10 resultados;

- String 5: 1.250 resultados.

Em razão do elevado volume de resultados e da diversidade de temas abordados, os registros identificados no Google Acadêmico foram posteriormente submetidos à etapa de triagem por leitura de títulos e resumos, conforme descrito na Seção 3.6.

3.5.2 IEEE Xplore

Na base IEEE Xplore, as buscas foram realizadas utilizando as mesmas combinações de termos aplicadas nas demais bases, considerando o campo de pesquisa que abrange os metadados dos documentos. Essa base foi incluída por sua relevância nas áreas de computação, engenharia e aplicações de Internet das Coisas.

Os resultados obtidos por estratégia de busca foram:

- String 1: 194.397 resultados;
- String 2: 188.255 resultados;
- String 3: 188.331 resultados;
- String 4: 9 resultados;
- String 5: 9 resultados.

Observou-se que as estratégias mais amplas retornaram um número expressivo de registros, refletindo a ampla adoção do termo IoT em diferentes domínios de aplicação. Diante desse cenário, foi necessária a realização de uma triagem manual posterior, baseada na leitura de títulos e resumos, a fim de identificar os estudos alinhados ao escopo da pesquisa.

3.5.3 Portal de Periódicos CAPES

No Portal de Periódicos CAPES, as estratégias de busca também foram aplicadas com base nas combinações definidas. Os resultados apresentaram comportamento heterogêneo, especialmente nas estratégias mais amplas, que retornaram diferentes tipos de produções acadêmicas e temáticas diversas.

Os quantitativos obtidos foram:

- String 1: 3 resultados;
- String 2: 1.672 resultados;
- String 3: 8.498 resultados;
- String 4: 0 resultados;
- String 5: 10 resultados.

Embora grande parte dos registros identificados nessa base não estivesse diretamente relacionada ao foco da pesquisa, o Portal de Periódicos CAPES foi mantido como fonte complementar, contribuindo para a identificação de estudos relevantes durante a etapa de triagem manual.

3.6 Processo de seleção dos estudos

Após a etapa de identificação dos estudos nas bases de dados, procedeu-se ao processo de seleção dos trabalhos, com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Considerando o elevado número de registros identificados nas buscas iniciais, a seleção foi realizada de forma manual, seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA.

Inicialmente, foi realizada a remoção manual de registros duplicados, considerando a recorrência dos mesmos estudos em mais de uma base de dados e em diferentes estratégias de busca. Essa etapa teve como objetivo evitar a análise repetida de trabalhos equivalentes.

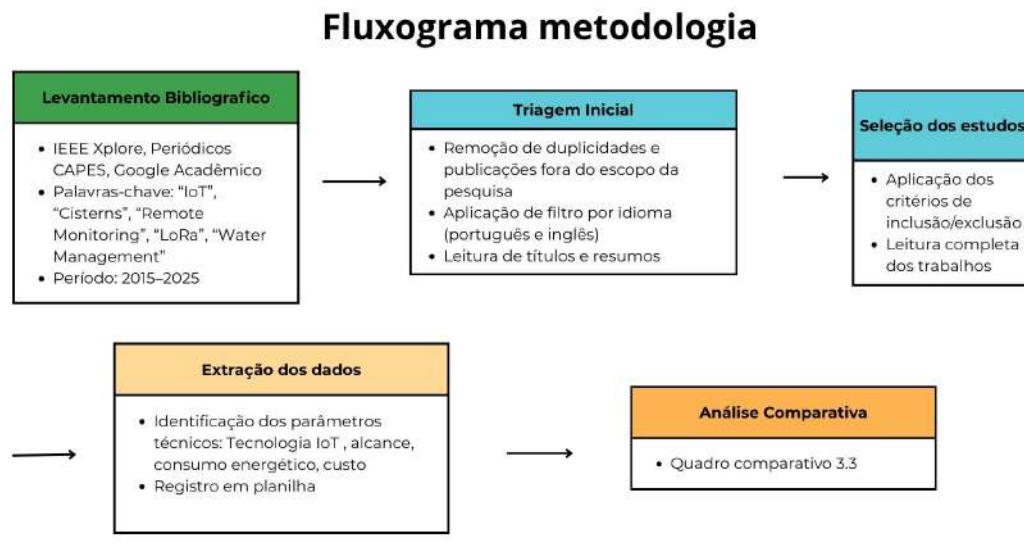
Em seguida, foi conduzida a etapa de triagem, baseada na leitura dos títulos e resumos dos estudos identificados. Nessa fase, aproximadamente 40 trabalhos foram avaliados, sendo excluídos aqueles que não apresentavam aderência direta ao escopo da pesquisa, não abordavam aplicações de Internet das Coisas no monitoramento hídrico ou não atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos.

Os estudos selecionados nessa triagem foram então submetidos à leitura completa de seus textos. Durante essa etapa, os critérios de inclusão e exclusão foram novamente aplicados, permitindo uma avaliação mais aprofundada da relevância metodológica e técnica de cada trabalho. Como resultado desse processo, foram selecionados 14 artigos que compuseram o conjunto final analisado nesta revisão sistemática.

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos é apresentado de forma resumida no fluxograma metodológico, permitindo uma visualização clara das etapas seguidas e do número de trabalhos considerados em cada fase.

3.7 Fluxograma do processo metodológico

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma do processo metodológico adotado nesta pesquisa, sintetizando visualmente as etapas de identificação, triagem, seleção e análise dos estudos, conforme as diretrizes do protocolo PRISMA. O fluxograma resume de forma gráfica o processo descrito nas seções anteriores deste capítulo.



25

Figura 3.1: *Processo metodológico da pesquisa*

3.8 Artigos selecionados

Com base nos estudos selecionados após o processo de triagem e leitura completa, foi elaborado um quadro comparativo com o objetivo de sintetizar e organizar as principais características técnicas dos trabalhos analisados. O quadro reúne informações referentes às tecnologias empregadas, aos contextos de aplicação, aos parâmetros monitorados e aos principais resultados reportados na literatura.

Essa sistematização possibilita uma visão consolidada das abordagens adotadas em aplicações de Internet das Coisas voltadas ao monitoramento hídrico, contemplando diferentes cenários, como ambientes urbanos, rurais, agrícolas e sistemas de gestão de cisternas. Além disso, o comparativo evidencia tendências recorrentes identificadas nos estudos, como o uso de tecnologias de comunicação de longo alcance e baixo consumo energético, bem como a diversidade de parâmetros monitorados, a exemplo de nível, volume, qualidade da água e variáveis físico-químicas.

Dessa forma, o quadro comparativo constitui a base para a análise dos resultados, permitindo identificar semelhanças, diferenças e lacunas entre os trabalhos selecionados, além de subsidiar a discussão acerca das soluções mais adequadas para o monitoramento remoto de cisternas e sistemas hídricos.

Quadro 3.3: *Comparativo dos artigos (IoT).*

Autor / Ano	Tecnologia	Aplicação	Parâmetros	Resultado
[Chittesh e Sathiya-priya 2025]	IoT + IA	Gestão hídrica (urb./rural)	Qualidade; pressão; nível; vazão	+Eficiência; –desperdício; atenção a custo/segurança.
[Boppana, Madhu e Vaibhav 2023]	LoRaWAN + ESP32	Aquicultura	Temp.; pH; turbidez; nível; Comp. química	Longo Alcance; Baixo Consumo.
[Perumal, Sulaiman e Leong 2015]	IoT (Wi-Fi/Cloud)	Nível d'água / alertas	Nível; conectividade; custo	Baixo custo; alertas em tempo real.
[Faricha <i>et al.</i> 2019]	Wi-Fi (Arduino MKR 1010)	Qualidade da água	Temp.; pH; turbidez; Condutividade.	Medição estável; nuvem; tempo real.
[Sadowski e Spachos 2020]	ZigBee vs Wi-Fi vs LoRaWAN	Agrícola (IoT + EH)	Alcance e consumo	LoRaWAN superior em Alcance./energia.
[Sharma e Muhuri 2023]	LoRaWAN	IoT em regiões remotas	Alcance e Consumo	Ideal p/ remoto (~15 km)
[Havriliuc <i>et al.</i> 2024]	LoRa 2.4 GHz (LPWAN)	Conectividade IoT	Cobertura; escalabilidade	~30% de 44 ha c/ 1 receptor.
[Silva 2023]	IoT (ESP8266)	Cisternas (volume)	Nível/volume; uso	Apoia gestão; monitor volumétrico.
[Goncalves 2023]	LoRaWAN + ESP32	Cisternas (gerenciamento)	Nível; Alcance; custo	Longa dist.; baixo custo; escalável.
[Nascimento e Cichaczewski 2021]	Wi-Fi (ESP8266 + MQTT)	Reservatórios domésticos	Distancia. (HC-SR04); Consumo.; Confiab.	MQTT eficiente; precisão milimétrica; app.
[Targino <i>et al.</i> 2021]	IoT (Arduino + ThingSpeak)	Qualidade da água (remoto)	pH; turbidez; Temp.	Baixo custo; validação lab.; tempo real.
[Morais <i>et al.</i> 2025]	IoT (plataforma própria)	Cisternas (monitor/controle)	Volume; status; conectividade	Visão centralizada; apoio à logística.
[Mukhopadhyay <i>et al.</i> 2021]	IA + Sensores + IoT	Revisão (IoT geral)	Sensores; protocolos; IA	Requisitos: eficiência; inteligência; privacidade
[Chinnusamy <i>et al.</i> 2018]	IoT (Sensores + Redes sem fio)	Monitoramento hídrico/agroambiental	Umidade; nível; variáveis ambientais	Monitoramento em tempo real; apoio à gestão de recursos hídricos.

Abreviações: Temp. = temperatura; Comp. = composição; Confiab. = confiabilidade; EH = *energy harvesting*; dist. = distância; app. = aplicativo.

Capítulo 4

Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a partir da revisão sistemática das publicações sobre o uso de tecnologias de IoT aplicadas ao monitoramento hídrico em cisternas e reservatórios. A discussão organiza-se em quatro eixos: conectividade, sensores e atuadores, fontes de energia e plataformas de software, conforme o protocolo metodológico definido no Capítulo 3. O objetivo é interpretar os achados da literatura, destacando as tendências tecnológicas, suas limitações e o potencial de aplicação no contexto rural brasileiro.

4.1 Conectividade

A conectividade representa um dos elementos centrais nos sistemas de monitoramento hídrico baseados em Internet das Coisas, uma vez que impacta diretamente o alcance da comunicação, o consumo energético, a confiabilidade da transmissão de dados e a viabilidade de aplicação em ambientes urbanos e rurais. A análise dos estudos selecionados evidencia a adoção de diferentes tecnologias de comunicação, com destaque para LoRaWAN, Wi-Fi e, em menor escala, ZigBee.

Observa-se que a maioria dos estudos analisados adota tecnologias de longo alcance e baixo consumo energético, com predominância do *LoRaWAN* em aplicações voltadas a ambientes rurais, regiões remotas e cenários com infraestrutura de rede limitada. Essa escolha está associada à capacidade do LoRaWAN de operar em longas distâncias, com baixo consumo de energia, características consideradas fundamentais para o monitoramento de cisternas e reservatórios em áreas afastadas dos centros urbanos. Trabalhos como os de [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023], [Sharma e Muhuri 2023] e [Goncalves 2023] reforçam essa tendência ao demonstrar a eficiência dessa tecnologia em aplicações distribuídas e de difícil acesso.

Por outro lado, tecnologias baseadas em *Wi-Fi* aparecem com maior frequência em contextos urbanos ou domésticos, nos quais há disponibilidade de infraestrutura de rede e menor restrição energética. Estudos como os de [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], [Faricha *et al.* 2019] e [Nascimento e Cichaczewski 2021] evidenciam que o Wi-Fi permite transmissão de dados em tempo real e integração facilitada com plataformas em nuvem, sendo adequado

para aplicações de curto alcance. No entanto, sua dependência de conectividade constante e o maior consumo energético limitam sua aplicabilidade em ambientes rurais isolados.

O uso do *ZigBee* é observado em menor número de estudos, geralmente associado a cenários experimentais ou aplicações agrícolas específicas. Embora apresente baixo consumo energético, essa tecnologia possui limitações quanto ao alcance, o que restringe sua utilização em sistemas de monitoramento distribuídos em larga escala, especialmente quando comparada às soluções baseadas em redes de longa distância e baixo consumo energético.

Do ponto de vista crítico, a análise evidencia que a escolha da tecnologia de conectividade envolve *trade-offs* inevitáveis entre alcance, consumo energético, latência e custo. Tecnologias de longo alcance, como o LoRaWAN, oferecem maior cobertura e eficiência energética, porém apresentam restrições quanto à taxa de transmissão de dados, o que pode limitar aplicações que demandam alta frequência de atualização. Em contrapartida, soluções como o Wi-Fi oferecem maior largura de banda, mas comprometem a autonomia energética e a viabilidade em regiões com infraestrutura precária.

Dessa forma, os estudos analisados indicam que a conectividade mais adequada para sistemas de monitoramento remoto de cisternas em áreas rurais tende a ser aquela baseada em tecnologias de longo alcance e baixo consumo energético, especialmente o LoRaWAN, enquanto soluções baseadas em Wi-Fi se mostram mais apropriadas para ambientes controlados ou urbanos. Essa constatação reforça a necessidade de alinhar a escolha da tecnologia de comunicação ao contexto de aplicação, considerando não apenas o desempenho técnico, mas também as limitações práticas de cada cenário.

4.2 Sensores e parâmetros monitorados

Os sensores constituem componentes fundamentais nos sistemas de monitoramento hídrico baseados em Internet das Coisas, pois são responsáveis pela coleta dos dados que subsidiam o controle, a tomada de decisão e a gestão dos recursos hídricos. A análise dos estudos selecionados evidencia o uso recorrente de sensores voltados ao monitoramento do nível, volume e qualidade da água, com variações conforme o contexto de aplicação e os objetivos de cada sistema.

Observa-se que o monitoramento do *nível da água* é o parâmetro mais frequentemente abordado nos trabalhos analisados, especialmente em aplicações relacionadas a cisternas e reservatórios. Para esse fim, destaca-se o uso de sensores ultrassônicos, como o HC-SR04, amplamente empregados devido ao baixo custo, facilidade de integração com microcontroladores e precisão satisfatória para aplicações de controle de volume. Estudos como os de [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], [Nascimento e Cichaczewski 2021], [Silva 2023] e [Goncalves 2023] evidenciam a predominância desse tipo de sensor em sistemas de monitoramento remoto.

Além do nível e volume, uma parcela significativa dos trabalhos incorpora o monitoramento de *parâmetros de qualidade da água*, como potencial hidrogeniônico (pH), turbidez,

temperatura e condutividade elétrica. Esses parâmetros são especialmente relevantes em aplicações voltadas à aquicultura, agricultura e ao consumo humano, conforme observado nos estudos de [Faricha *et al.* 2019], [Targino *et al.* 2021] e [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023]. A inclusão desses sensores amplia a capacidade de avaliação do estado da água, permitindo identificar condições inadequadas para uso ou consumo.

Do ponto de vista analítico, verifica-se que a escolha dos sensores está diretamente relacionada a fatores como custo, facilidade de manutenção e confiabilidade das medições. Sensores ultrassônicos, embora amplamente utilizados, podem apresentar limitações em ambientes com elevada umidade, presença de espuma ou irregularidades na superfície da água, o que pode afetar a precisão das medições. De forma semelhante, sensores de qualidade da água demandam calibração periódica e manutenção adequada, o que representa um desafio adicional em aplicações de longo prazo, especialmente em áreas rurais ou de difícil acesso.

Outro aspecto relevante identificado nos estudos é a tendência de priorizar parâmetros diretamente relacionados à gestão do volume de água, em detrimento de análises mais completas da qualidade hídrica. Essa abordagem, embora adequada para aplicações focadas no controle logístico e no abastecimento, evidencia uma lacuna na literatura quanto à integração sistemática de múltiplos parâmetros de qualidade em soluções de monitoramento remoto de cisternas.

Dessa forma, os trabalhos analisados indicam que a combinação entre sensores de nível, amplamente consolidados, e sensores de qualidade da água representa uma abordagem promissora para sistemas de monitoramento hídrico mais robustos. No entanto, a adoção dessa estratégia deve considerar as limitações técnicas e operacionais associadas aos sensores, bem como a viabilidade de manutenção e calibração em contextos reais de aplicação.

No que se refere aos atuadores, observa-se que a literatura analisada concentra-se predominantemente no monitoramento dos sistemas hídricos, havendo uma exploração limitada de mecanismos voltados ao controle ativo, como válvulas solenoides, relés ou acionamento automatizado de bombas. A maioria dos estudos prioriza a coleta e a visualização de dados, deixando a atuação direta sobre o sistema hídrico como um aspecto secundário ou ausente.

Essa predominância de abordagens voltadas ao monitoramento, em detrimento do controle automático, evidencia uma lacuna relevante na literatura, especialmente no contexto de cisternas e reservatórios em áreas rurais. A integração de atuadores poderia ampliar o potencial das soluções baseadas em Internet das Coisas, possibilitando ações automáticas, como o controle de enchimento ou a prevenção de desperdícios. Contudo, a implementação desses dispositivos impõe desafios adicionais relacionados ao consumo energético, à confiabilidade dos sistemas e à segurança operacional, o que pode justificar sua baixa adoção nos trabalhos analisados.

4.3 Fontes de energia e autonomia

A autonomia energética é um fator determinante para a viabilidade de sistemas IoT aplicados ao monitoramento hídrico em cisternas e reservatórios, especialmente em ambientes rurais, onde o acesso à rede elétrica pode ser limitado e a manutenção frequente é pouco factível. Assim, as estratégias de alimentação e gerenciamento energético influenciam diretamente a continuidade do monitoramento, a confiabilidade do sistema e a possibilidade de implantação em larga escala.

De modo geral, observa-se que as soluções analisadas priorizam arquiteturas com baixo consumo energético e, quando possível, o uso de fontes renováveis. Nesse sentido, a combinação entre painéis solares e baterias recarregáveis aparece como abordagem recorrente para sustentar a operação contínua dos dispositivos em campo, sobretudo quando associada a tecnologias de comunicação de baixo consumo, como LoRaWAN. Trabalhos como [Goncalves 2023] e [Boppana, Madhu e Vaibhav 2023] reforçam a importância dessa estratégia ao tratar de cenários com necessidade de maior autonomia e menor intervenção humana.

Além da fonte energética, a literatura indica que o desempenho do sistema depende do *perfil de consumo* do conjunto (sensoriamento, processamento e transmissão). Estratégias de economia de energia, como modos de suspensão, definição de intervalos de amostragem e transmissão periódica (*duty cycle*), são frequentemente adotadas para ampliar a autonomia dos nós IoT. Essa combinação entre gestão de consumo e fontes renováveis favorece aplicações em regiões remotas e contribui para reduzir custos operacionais relacionados a deslocamentos, aspecto relevante no contexto de abastecimento por carros-pipa.

Do ponto de vista crítico, embora o uso de energia solar aumente a viabilidade em áreas rurais, essa estratégia envolve *trade-offs* práticos. Entre as limitações, destacam-se o custo inicial do kit fotovoltaico, a necessidade de dimensionamento adequado (painel, bateria e controlador), a degradação de baterias ao longo do tempo e a influência de condições ambientais (sombreamento, poeira e sazonalidade) sobre a geração de energia. Além disso, sistemas com maior frequência de coleta e transmissão de dados podem exigir maior capacidade energética, o que impacta custo e complexidade de implantação.

Outro ponto importante é que a literatura revisada tende a enfatizar a viabilidade técnica das fontes renováveis, mas discute de forma limitada aspectos de operação prolongada em campo, como falhas, reposição de componentes e desempenho ao longo de séries temporais extensas. Essa lacuna é particularmente relevante para cisternas em comunidades rurais, nas quais a robustez e a baixa necessidade de manutenção são requisitos críticos.

Dessa forma, os estudos analisados sugerem que a autonomia energética em sistemas IoT para monitoramento hídrico depende de uma abordagem integrada: seleção de tecnologias de comunicação de baixo consumo, configuração eficiente do ciclo de operação e adoção de fontes renováveis quando aplicável. Entretanto, a adequação dessas soluções ao contexto rural demanda considerar limitações práticas e custos de implantação, aspectos essenciais para orientar escolhas tecnológicas em cenários de monitoramento remoto de cisternas.

4.4 Plataformas de software e integração dos sistemas

As plataformas de software desempenham papel central nos sistemas de monitoramento hídrico baseados em Internet das Coisas, sendo responsáveis pela recepção, armazenamento, visualização e interpretação dos dados coletados em campo. A análise dos estudos selecionados indica que essas plataformas atuam como elo entre os dispositivos físicos e os usuários finais, possibilitando o acompanhamento remoto do estado das cisternas e reservatórios, bem como o suporte à tomada de decisão.

Observa-se que a maioria dos trabalhos analisados adota soluções baseadas em plataformas em nuvem, com destaque para ambientes de visualização de dados e *dashboards* interativos. Ferramentas como ThingSpeak, Grafana e plataformas próprias são utilizadas para organizar e apresentar informações referentes a nível, volume e qualidade da água de forma acessível, conforme evidenciado em estudos como [Perumal, Sulaiman e Leong 2015], [Targino *et al.* 2021] e [Moraes *et al.* 2025].

No que se refere à comunicação entre os dispositivos e as plataformas de software, o protocolo *MQTT* aparece como uma das soluções mais recorrentes, especialmente em aplicações que demandam baixo consumo energético e transmissão eficiente de mensagens. Trabalhos como o de [Nascimento e Cichaczewski 2021] destacam a eficiência desse protocolo na integração entre sensores, servidores e aplicações, reforçando sua adequação para sistemas distribuídos de monitoramento hídrico.

Do ponto de vista crítico, a literatura analisada indica que, embora as plataformas em nuvem ofereçam flexibilidade e escalabilidade, sua adoção implica dependência de conectividade constante e de serviços externos, o que pode representar uma limitação em regiões com acesso precário à internet. Além disso, aspectos relacionados à segurança da informação, privacidade dos dados e confiabilidade dos serviços ainda são pouco explorados nos estudos, apesar de sua relevância para aplicações em larga escala.

Outro aspecto observado é que a maioria das soluções de software enfatiza a visualização e o armazenamento de dados, enquanto funcionalidades mais avançadas, como análise preditiva, integração com sistemas de gestão pública ou apoio automatizado à tomada de decisão, permanecem pouco exploradas. Essa limitação evidencia uma oportunidade para o desenvolvimento de plataformas mais inteligentes, capazes de transformar dados brutos em informações estratégicas para a gestão de cisternas e sistemas hídricos.

Dessa forma, os estudos analisados indicam que as plataformas de software constituem componentes essenciais para o monitoramento remoto de cisternas, permitindo a centralização das informações e o acompanhamento contínuo dos sistemas. Entretanto, a escolha dessas plataformas deve considerar não apenas aspectos de visualização e integração, mas também limitações relacionadas à conectividade, segurança e escalabilidade, especialmente em contextos rurais e de infraestrutura restrita.

Capítulo 5

Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros

O presente capítulo apresenta as considerações finais deste estudo, mostrando sua relevância, seus principais resultados e a forma como os objetivos e o problema de pesquisa foram atendidos. Também são discutidas as limitações encontradas durante o desenvolvimento do trabalho e indicadas possibilidades de continuidade, buscando ampliar o conhecimento sobre o uso de tecnologias IoT aplicadas ao monitoramento hídrico em cisternas.

5.1 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o uso de tecnologias de Internet das Coisas aplicadas ao monitoramento hídrico, com foco em cisternas e reservatórios utilizados em contextos rurais. A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível identificar padrões tecnológicos, limitações recorrentes e oportunidades de aplicação dessas soluções no contexto do semiárido brasileiro.

A principal contribuição deste trabalho consiste na **síntese e sistematização das tecnologias mais adequadas ao monitoramento remoto de cisternas**, considerando aspectos técnicos, operacionais e contextuais. Os resultados indicam que soluções baseadas em tecnologias de comunicação de longo alcance e baixo consumo energético, como o *LoRaWAN*, associadas a sensores ultrassônicos para monitoramento de nível, fontes de energia solar com baterias e plataformas de software em nuvem, configuram uma combinação tecnológica recorrente e promissora na literatura analisada.

A análise também evidenciou que a maior parte dos estudos concentra-se no monitoramento passivo, priorizando a coleta e visualização de dados, enquanto a integração de mecanismos de controle automático por meio de atuadores ainda é pouco explorada. Além disso, observou-se que, embora diversas soluções demonstrem viabilidade técnica, há uma carência de avaliações de longo prazo em cenários reais, especialmente em comunidades rurais, onde fatores como manutenção, confiabilidade e sustentabilidade operacional são críticos.

Do ponto de vista prático, os resultados desta revisão reforçam o potencial das tecnologias IoT como ferramentas de apoio à gestão hídrica e à otimização da logística de abastecimento, especialmente no contexto da Operação Carro-Pipa. O monitoramento remoto de cisternas pode contribuir para a redução de deslocamentos desnecessários, melhor planejamento das ações de abastecimento e maior eficiência no uso dos recursos públicos.

Como limitação, destaca-se o caráter exclusivamente bibliográfico deste estudo, que não contempla a implementação ou validação experimental das soluções analisadas. Ainda assim, os resultados obtidos fornecem uma base teórica consistente para orientar decisões técnicas e subsidiar pesquisas futuras voltadas à aplicação prática dessas tecnologias.

5.2 Trabalhos futuros

Com base nas lacunas identificadas na literatura, diversas possibilidades de trabalhos futuros podem ser exploradas. Entre elas, destaca-se o desenvolvimento e a implementação de protótipos funcionais de monitoramento remoto de cisternas, permitindo a avaliação do desempenho das tecnologias em condições reais de uso.

Outra linha promissora consiste na realização de testes de longa duração, voltados à análise da confiabilidade dos sistemas, do consumo energético ao longo do tempo e das necessidades de manutenção em ambientes rurais. Estudos que integrem atuadores para controle automático, bem como abordagens mais avançadas de software, como análise preditiva e apoio automatizado à tomada de decisão, também representam oportunidades relevantes de investigação.

Adicionalmente, futuras pesquisas podem explorar a integração desses sistemas com políticas públicas e programas governamentais, como a Operação Carro-Pipa, avaliando de forma quantitativa os impactos do monitoramento remoto na eficiência logística, na redução de custos operacionais e na melhoria do acesso à água em regiões de escassez hídrica.

Referências Bibliográficas

[(ASA) 2025] (ASA), A. S. B. *Dashboard de volume de cisternas – Projeto P1MC*. 2025. Acesso em: 20 out. 2025. Disponível em: <<https://asabrasil.org.br/projeto/p1mc/>>. 2

[ASA Brasil 2025] ASA Brasil. *Cisternas com placas de energia solar reduzem custos e aumentam capacidade de produção agroecológica no Piauí*. 2025. ASA Brasil. [S.l.], 23 maio 2025. Disponível em: <<https://asabrasil.org.br/2025/05/23/cisternas-com-placas-de-energia-solar-reduzem-custos-e-aumentam-capacidade-de-producao-agroecologica>>. Acesso em: 27 nov. 2025. xiii, 13

[Azevedo e Moraes 2016] AZEVEDO, H.; MORAIS, R. D. *Avaliação do Programa um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC): eficácia, eficiência e efetividade nos territórios do Rio Grande do Norte (2003/2015)*. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21474>>. 2

[Boppana, Madhu e Vaibhav 2023] BOPPANA, L.; MADHU, K.; VAIBHAV, C. P. R. Aquaculture water monitoring system using lorawan. In: *2023 IEEE 11th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. [S.l.]: IEEE, 2023. p. 1095–1099. ISBN 979-8-3503-2614-7. xiii, 8, 9, 11, 13, 22, 23, 25, 26

[Chinnusamy et al. 2018] CHINNUSAMY, S. et al. *IoT ENABLED MONITORING AND CONTROL OF WATER DISTRIBUTION NETWORK*. [S.l.], 2018. xiii, 11, 12, 15, 22

[Chittesh e Sathiyapriya 2025] CHITTESH; SATHIYAPRIYA, P. Ai-iot based smart water management system for smart city and rural development. *2025 International Conference on Emerging Technologies in Engineering Applications (ICETEA)*, IEEE, p. 1–5, 6 2025. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/11100005/>>. 13, 15, 22

[Faricha et al. 2019] FARICHA, A. et al. Water monitoring prototype using internet of things technology. *2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation, ICAMIMIA 2019 - Proceeding*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., p. 141–144, 10 2019. 11, 13, 14, 22, 23, 25

[Folha de Pernambuco 2024] Folha de Pernambuco. *Articulação Semiárido Brasileiro comemora 20 anos da criação e ampliação do programa*. 2024. Acesso em: 20 out. 2025. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/articulacao-semiarido-brasileiro-comemora-20-anos-da-criacao-e/301010/>>. 2

[Goncalves 2023] GONCALVES, J. J. P. Universidade estadual da paraíba campus vii-governador antônio mariz centro de ciências exatas e sociais aplicadas curso de bacharelado em computação josé jefferson pires gonçalves proposta de sistema de gerenciamento de cisternas utilizando sensoriamento e internet das coisas patos-pb 2023. 6 2023. Vv. 7, 8, 11, 13, 22, 23, 24, 26

[Havriliuc *et al.* 2024] HAVRILIUC, S. *et al.* Expanding iot connectivity by using 2.4 ghz lora technology. *2024 17th International Conference on Development and Application Systems, DAS 2024 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., p. 87–90, 2024. 8, 22

[HiveMQ 2025] HiveMQ. *HiveMQ*. 2025. HiveMQ. Disponível em: <<https://www.hivemq.com/>>. Acesso em: 27 nov. 2025. 14

[Instituto Nacional do Semiárido (INSA) 2024] Instituto Nacional do Semiárido (INSA). *Delimitação do Semiárido Brasileiro*. 2024. Campina Grande: INSA. Disponível em: <<https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2025. 1

[Luna *et al.* 2011] LUNA, C. F. *et al.* Impacto do uso da água de cisternas na ocorrência de episódios diarreicos na população rural do agreste central de pernambuco, brasil. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, Instituto de Medicina Integral Prof. Fernando Figueira, v. 11, p. 283–292, 2011. ISSN 1519-3829. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbsmi/a/NSzHWYjCZGj3WH6pnf5kgGS/?format=html&lang=pt>>. 3

[Maia, Cunha e Cunha 2024] MAIA, K. de F.; CUNHA, L. H.; CUNHA, P. H. Carros-pipa, compras governamentais e economia da água no semiárido brasileiro. *Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas*, v. 44, p. 134–153, 12 2024. ISSN 2358-8705. xiv, 3

[Moher *et al.* 2016] MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (prisma-p) 2015 statement. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, Asociacion Espanola de Dietistas-Nutricionistas, v. 20, p. 148–160, 1 2016. ISSN 21731292. Disponível em: <<https://link.springer.com/articles/10.1186/2046-4053-4-1>><https://link.springer.com/article/10.1186/2046-4053-4-1>>. 16

[Morais *et al.* 2025] MORAIS, G. C. *et al.* Iot system for monitoring and controlling cisterns. In: *2025 IEEE Latin Conference on IoT (LCIoT)*. [S.l.]: IEEE, 2025. p. 121–124. ISBN 979-8-3315-1118-0. xiii, 9, 11, 14, 15, 22, 27

[Mukhopadhyay *et al.* 2021] MUKHOPADHYAY, S. C. *et al.* Artificial intelligence-based sensors for next generation iot applications: A review. *IEEE Sensors Journal*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 21, p. 24920–24932, 11 2021. ISSN 15581748. 22

[Nascimento e Cichaczewski 2021] NASCIMENTO, J. F. do; CICHACZEWSKI, E. Internet das coisas (iot) aplicada ao monitoramento do nível de água em reservatórios domésticos. *Caderno Progressus*, v. 1, p. 34–48, 9 2021. Disponível em: <<https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/article/view/1989>>. 6, 7, 10, 22, 23, 24, 27

[Perumal, Sulaiman e Leong 2015] PERUMAL, T.; SULAIMAN, M. N.; LEONG, C. Y. Internet of things (iot) enabled water monitoring system. In: *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*. [S.l.]: IEEE, 2015. p. 86–87. ISBN 978-1-4799-8751-1. xiii, 6, 7, 10, 11, 13, 22, 23, 24, 27

[Sadowski e Spachos 2020] SADOWSKI, S.; SPACHOS, P. Wireless technologies for smart agricultural monitoring using internet of things devices with energy harvesting capabilities. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 172, p. 105338, 5 2020. ISSN 01681699. 9, 22

[Sharma e Muhuri 2023] SHARMA, A.; MUHURI, S. LoRAWAN: A boon for the remote region IoT applications. In: *2023 International Conference on Modeling, Simulation & Intelligent Computing (MoSICom)*. [S.l.]: IEEE, 2023. p. 209–212. ISBN 979-8-3503-9341-5. xiv, 8, 10, 11, 13, 22, 23

[Silva 2023] SILVA, F. R. dos S. Sys [mv]-sistema de monitoramento volumétrico em cisternas usando IoT para otimização do combate à seca. 2023. 7, 8, 22, 24

[Targino *et al.* 2021] TARGINO, I. F. *et al.* Sistema de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, p. 665–680, 5 2021. ISSN 2179-6858. 22, 25, 27

[Telegram Messenger LLP 2013] Telegram Messenger LLP. *Creating your Telegram Application*. 2013. Telegram Messenger LLP. [S.l.]. Seção introdutória da documentação sobre como obter api_id e usar a API do Telegram. Disponível em: <<https://core.telegram.org/api>>. Acesso em: 27 nov. 2025. 14

[ThingSpeak 2010] ThingSpeak. *IoT*. 2010. MathWorks. [S.l.]. Plataforma de análise e visualização de dados de IoT com integração MATLAB. Disponível em: <<https://thingspeak.mathworks.com/>>. Acesso em: 27 nov. 2025. 14

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
	R. Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de conclusão de curso

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso
Assinado por:	Victor Rafael
Tipo do Documento:	Projeto
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Victor Rafael de Sousa Farias, ALUNO (202021210028) DE TECNOLOGIA EM TELEMÁTICA - CAMPINA GRANDE, em 27/01/2026 09:10:17.

Este documento foi armazenado no SUAP em 27/01/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1743570
Código de Autenticação: 68f1f8dc5e

