



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JUCICLEBER FRANCISCO DA SILVA CASTRO

DM 33/2024

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA UTILIZANDO
TECNOLOGIA LORA**

BELÉM – PARÁ
2024

JUCICLEBER FRANCISCO DA SILVA CASTRO

DM 33/2024

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA UTILIZANDO
TECNOLOGIA LORA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção de Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl
Albuquerque Costa

Coorientador: Prof. Dr. Gilvan Soares Borges

BELÉM – PA

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C355s Castro, Jucicleber Francisco da Silva.
SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA
UTILIZANDO TECNOLOGIA LORA / Jucicleber Francisco da
Silva Castro. — 2024.
73 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque
Costa

Coorientador(a): Prof. Dr. Gilvan Soares Borges
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, Belém, 2024.

1. IoT. 2. LoRa. 3. perda de água. 4. monitoramento. 5.
protótipo. I. Título.

CDD 384

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

“SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA UTILIZANDO TECNOLOGIA LORA”

AUTOR: JUCICLEBER FRANCISCO DA SILVA CASTRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM: 17/12/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
(Orientador – PPGEE/ITEC/UFPA)

Prof. Dr. Gilvan Soares Borges
(Coorientador – PPGEE/ITEC/UFPA)

Prof. Dr. Fabrício José Brito Barros
(Avaliador Interno – PPGEE/ITEC/UFPA)

Dr. Victor Henrique Rodrigues Cardoso
(Avaliador Externo – PESQUISADOR/UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

Este trabalho é dedicado aos profissionais da ciência que entendem ser a ciência um instrumento de transformação da sociedade em um mundo mais humano, fraterno e justo. Onde a evolução tecnológica deva estar a serviço da humanidade como facilitadora da vida das pessoas numa perfeita harmonia com a sustentabilidade ambiental da Mãe Terra.

AGRADECIMENTOS

Neste momento de felicidade, quero lembrar aqui de pessoas, instituições ou atitudes que em forma de ação, motivação ou inspiração, contribuíram com a chegada neste momento de celebração deste trabalho científico coletivo.

Coletivo sim, na maneira mais justa da palavra, pois ninguém se desenvolve sozinho. Assim, desde nossos primeiros passos de existência há sempre alguém a nos estender à mão.

No meu desenvolvimento, desde o nascimento, há pessoas essenciais em meu caminhar entre elas minha Mãe Domingas e meus irmãos Jucicleide, Jucicléia e José Juciclei, que nunca deixaram me faltar apoio e motivação nessa luta.

Na Universidade Federal do Pará, da graduação nos anos 90, depois de intervalo longo preenchido por atividades profissionais no mercado, hoje concluo o Mestrado com muita gratidão, sendo nossa UFPA a grande responsável por tudo que sou hoje profissionalmente e o que serei ainda num futuro próximo.

A vida acadêmica nos propicia não apenas encontro com conhecimento científico, mas também a construção de muitas pontes de amizade com solidez e permitam-me aqui manifestar minha profunda gratidão aos Mestres que me formaram aqui no PPGEE: Fabrício José Brito Barros, Jasmine Priscylla de Araújo, Aldebaro Klautau, Miercio de Alcântara Neto e João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa.

Meus colegas de Mestrado, onde pude desenvolver sinergias e também desfrutar de suas generosidades acadêmicas e muito companheirismo recíproco, agradeço a cada um deles nas pessoas de: Artur Machado, Camila Novaes, Cleverson Veloso Nahum, Joel Alison, Caio Matheus Cardoso.

As Amizades que a Vida me presenteou também tiveram um papel decisivo na conclusão deste trabalho, verdadeiros irmãos e irmãs de alma se transformaram em Mecenas no decorrer deste Mestrado, não tenho palavras para dimensionar minha Gratidão a(o): Ismael Souza, José Ronaldo Serra Alves, Raphaela Chaves, Job Miranda de Moura, Telma Silva, Jocinildo Batista Moura, Valéria Oliveira, Sérgio Cardoso de Oliveira, Joanis Oliveira, Sérgio Serra, Cristina Cardoso Serra, José Wellington Ferreira, Jucicléia Castro, Nelcirema Pureza Ferreira, Ely Almeida, Paulo Bezerra, Fabíola Bezerra, Fineias Nelluty, Fabíola Nelluty, Ruben Bemerguy, Márcia Danieli, Elson Silva, Hellen Costa, Enimara Almeida, Carlos Balieiro, Marco Antônio Franco Tavares e Luciana Tavares, Roger Normando, Valéria Normando, Marcus Pantoja e Nazaré Pantoja, Jefferson Matias, Fábio Seguins, Joel Borges e Jefferson Leite.

Os companheiros de produção científica através dos artigos nos Congressos da ABES e SBRHidro têm importância determinante nessa caminhada, meu abraço de gratidão a João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa, Marcus Pantoja da Silva e Alex Sanches Macedo.

Lembro aqui de minha visita aqui na UFPA em fevereiro de 2019 onde reencontrei o Amigo Professor João Weyl depois de um longo período. Desde aí suas mãos generosas não me largaram e hoje posso registrar aqui que nos momentos mais difíceis, onde a desistência me rondava forte, o Professor João teimava em me resgatar do perigo dela. Isso é impagável!

Aos membros da banca examinadora pelas valorosas e transformadoras contribuições dos professores Fabrício José Brito Barros, Victor Rodrigues, Gilvan Borges e João Weyl.

Minha amada companheira de vida, Ely Almeida, nunca descansou enquanto não me via produzir alguma coisa para este trabalho, a ela o meu amor e gratidão.

Minha eterna gratidão ao Grandioso Deus, que na visão da maioria das pessoas aqui citadas, é o nosso Grande Criador!

“A utopia é, provavelmente, um dispositivo social necessário para gerar esforços sobre-humanos sem os quais nenhuma grande revolução é alcançada.” (Eric Hobsbawm)

RESUMO

A discussão sobre o uso racional da água ganhou força mundial nos últimos anos. A Organização das Nações Unidas (ONU) trata o tema com a devida prioridade trazendo-o em seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6). O Brasil, por sua vez, esforça-se em aderir a este contexto com a implantação do novo marco regulatório do setor de saneamento, promulgado em 2020. Mesmo com a merecida importância dada ao saneamento nos últimos anos, há a necessidade de investimentos de recursos à área para que se consiga ter o alcance social adequado de água para todos, onde é latente a ausência dessas políticas em regiões isoladas e socialmente mais excluídas. Tecnicamente, dentro deste cenário, é possível vislumbrar a Internet das Coisas (IoT) como um importante diferencial a ser usado como tecnologia social de inclusão através da aplicação de redes de área ampla de baixa potência (LPWAN), tendo a tecnologia LoRa como destaque das mais promissoras para construir redes de comunicação voltadas à aplicações IoT. O presente trabalho visa ir ao encontro dessa demanda através de uma proposta de sensoriamento de vazão de água utilizando redes LoRa com posterior estudo de caso em comunidades isoladas para trabalhos futuros. Esta proposta de sistema de monitoramento do fluxo de água se baseia numa arquitetura que envolve a instalação de um hidrômetro digital ultrassônico em um ponto de captação de água para coleta dos dados e monitoramento em tempo real. Os testes de bancada foram realizados a partir da simulação da leitura de vazão de um hidrômetro com o propósito inicial de realizar a comunicação com o módulo LoRa-ESP32-Wi-Fi v2. Com os dados obtidos, foi possível transmiti-los via protocolo MQTT para um servidor broker que alimenta um *dashboard* desenvolvido utilizando o Node-RED para as análises de monitoramentos de consumo de água, facilitando a identificação de vazamentos e o desenvolvimento de estratégias para redução de perdas, quando da implementação do protótipo.

Palavras-chave: IoT, LoRa, perda de água, monitoramento, protótipo.

ABSTRACT

The discussion on the rational use of water has gained worldwide momentum in recent years. The United Nations (UN) treats the issue with due priority, including it in its Sustainable Development Goals (SDG 6). Brazil, in turn, is striving to adhere to this context with the implementation of the new regulatory framework for the sanitation sector, enacted in 2020. Despite the well-deserved importance given to sanitation in recent years, there is a need to invest resources in the area in order to achieve the adequate social reach of water for all, where the absence of these policies in isolated and socially excluded regions is latent. Technologically, within this scenario, it is possible to envision the Internet of Things (IoT) as an important differentiator to be used as a social inclusion technology through the application of low power wide area networks (LPWAN), with LoRa technology standing out as one of the most promising for building communication networks aimed at IoT applications. This work aims to meet this demand through a proposal for water flow sensing using LoRa networks, as a subsequent case study in isolated communities in future work. This proposal for a water flow monitoring system is based on an architecture involving the installation of a digital ultrasonic hydrometer at a water collection point for data collection and real-time monitoring. The bench tests involving the installation of the hydrometer were carried out with the initial aim of communicating with the LoRa-ESP32-Wi-Fi v2 module. With the data collected, it was possible to transmit it to a broker server using MQTT protocol that is consumer for a dashboard that was build using a Node-RED for water consumption monitoring analysis, making it easier to identify leaks and develop strategies to reduce losses when implementing the prototype.

Keywords: IoT, LoRa, water loss, monitoring, prototype.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Classificação de Hidrômetros.....	30
Figura 2 -	Arquitetura LoRaWAN.....	40
Figura 3 -	Arquitetura geral de um sistema IoT.....	43
Figura 4 -	Arquitetura geral do sistema de monitoramento proposto.....	48
Figura 5 -	Saída da Interface de Pulsos do Hidrômetro Hydrus 1.3.....	49
Figura 6 -	Parte do protótipo em bancada - pré instalação.....	50
Figura 7 -	Pinagem do <i>ESP 32-LoRa IoT</i>	51
Figura 8 -	Visualização dos Dados de Projeto com <i>IBM Watson IoT</i>	52
Figura 9 -	Protótipo do sistema de monitoramento de vazão de água instalado.....	53
Figura 10 -	Protótipo de integração do sistema de monitoramento de vazão de água.....	54
Figura 11 -	Fluxo de Dados no Node-RED.....	55
Figura 12 -	Fluxograma de etapa configuração da linguagem Arduíno IDE para ESP32.....	56
Figura 13 -	Fluxograma da etapa de programação do ESP 32 Wi-Fi LoRa v2.....	57
Figura 14 -	Fluxograma da fase de configuração do ambiente de desenvolvimento com o Hidrômetro Hydrus 1.3.....	59
Figura 15 -	Vazão de água ao longo do dia.....	60
Figura 16 -	Dashboard do consumo de água e vazão de água ao longo do dia.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre trabalhos correlatos e esta pesquisa.....	25
Tabela 2 - Contribuições e limitações referentes a protótipos de hidrômetros estudados.....	35
Tabela 3 - Frequências tecnologia LoRa em Regiões.....	38
Tabela 4 - Materiais e custo de aquisição.....	48
Tabela 5 - Características da Saída de Pulso.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	3rd Generation Partnership Project, Projeto de Parceria de Terceira Geração
ADR	Adaptive Data Rate, Taxa de Dados Adaptativa
AMQP	Advanced Messaging Queue Protocol, protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens
AMR	Automatic Meter Reading, Leitura Automática de Medição
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	Application Programming Interface, Interface de Programação de Aplicativo
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CoAP	Constrained Application Protocol
CSS	Chirp Spread Spectrum, Espalhamento de Espectro por Chirp
dB	Decibel
dBm	Decibel-miliwatt
DDS	Data Distribution Service, Serviço de Distribuição de Dados
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
Hz	Hertz
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEQ	Indoor Environment Quality
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	Internet of Things, Internet das Coisas
ISM	Industrial, Scientific, and Medical - Industrial, Científico e Médico
JSON	JavaScript Object Notation
LoRa	Long Range, Longo Alcance
LoRaWAN	Long-Range Wide-Area Network, Rede de Longo Alcance de Área Ampla
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network, Redes de Área Ampla e Baixa Potência
LTE-M	Long Term Evolution Machine-Type Communication
LWMS	Lora Water Monitoring System, Sistema de Monitoramento de Qualidade de Água baseado em LoRa
M2M	Machine- to-Machine

M-Bus	Meter Bus, Barramento de Medição
MCU	Microcontroller Unit, Unidade de Microcontrolador
MHz	MegaHertz
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport, Transporte de Telemetria com Filas de Mensagens
NB-IoT	Narrowband Internet of Things, Banda Estreita para Internet das Coisas
ODS 6	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6
OLED	Organic Light-Emitting Diode
OMG	Object Management Group
ONU	Organização das Nações Unidas
OSI	Open Systems Interconetion, Interconexão de Sistemas Abertos
PC	Personal Computer, Computador Pessoal
QoS	Quality of Service, Qualidade de Serviço
REST	Representational State Transfer, Transferência de Estado Representacional
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDK	Software Development Kit
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNB	Ultra- Narrow-Band
URL	Uniform Resource Locator, Localizador Uniforme de Recursos
USB	Universal Serial Bus, Barramento Serial Universal
WAN	Wide Area Network, Rede de Área Ampla
Wi-Fi	Wireless Fidelity, Fidelidade sem Fio
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Contextualização.....	17
1.2	Motivação.....	19
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos.....	19
1.4	Estrutura do Documento.....	20
2	TRABALHOS CORRELATOS.....	21
2.1	Considerações iniciais.....	21
2.2	Descrição dos trabalhos correlatos.....	21
2.3	Comparativo entre este trabalho e os correlatos.....	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
3.1	Considerações Iniciais.....	27
3.2	Medidores de Consumo de Água.....	27
3.2.1	Hidrômetros.....	27
3.2.1.1	Estudos Relacionados a Protótipos de Hidrômetros.....	31
3.2.1.2	Projeto de Hidrômetro Baseado em um Sensor Resistivo de Filme Fino.....	31
3.2.1.3	Sistema de Monitoramento de Vazamentos em um Modelo de Tubulação em Escala.....	32
3.2.1.4	Protótipo de Hidrômetro Digital com Comunicação Remota para Uso Residencial.....	32
3.2.1.5	Sistema de Baixo Custo para Monitoramento do Consumo de Água.....	33
3.2.1.6	Sistema com um Medidor de Água Inteligente Autoalimentado.....	33
3.2.2	Sistema de Comunicação <i>Wi-Fi</i>	35
3.2.3	Sistema de Comunicação <i>Low Power Wide Area Network (LPWAN)</i>	36
3.2.3.1	<i>LoRa (Long Range)</i>	37
3.3	Long Range Wide Area Network (LORAWAN).....	39
3.3.1	Protocolos de Comunicação <i>IoT</i> para Integração de Dispositivos.....	41
3.3.1.1	Protocolo MQTT (<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>).....	43
3.4	Plataformas IOT de armazenamento em nuvem (<i>Cloud Storage IOT Platforms</i>).....	44

3.4.1	Plataforma IBM Watson IoT.....	44
3.4.2	Plataforma Azure da Microsoft.....	45
3.5	Node-RED.....	45
3.5.1	Integração Node-RED e MQTT.....	46
4	DESCRIÇÃO DA SISTEMA PROPOSTO.....	47
4.1	Arquitetura do sistema.....	47
4.2	Hidrômetro usado na experiência.....	48
4.3	ESP32 LoRa.....	50
4.4	IBM Watson IoT Platform.....	51
4.5	Apresentação dos dados.....	52
5	RESULTADOS.....	53
5.1	Implementação do protótipo.....	53
5.1.1	Resultado da Implementação IBM's Watson IoT.....	54
5.1.2	Resultado da Implementação Microsoft Azure.....	54
5.1.3	Integração <i>Node-RED</i> e <i>MQTT</i>	54
5.1.4	O fluxo de dados NODE-RED.....	55
5.1.5	Carregando os módulos ESP 32 WI-FI LORA V2.....	55
5.1.6	Integrando com os módulos ESP 32 WI-FI LORA V2 com a rede WI-FI provedora e o hidrômetro HYDRUS 1.3.....	58
5.2	Simulando os dados da leitura do hidrômetro HYDRUS 1.3 com o módulo ESP 32 WI-FI LORA V2 integrado ao MQTT e NODE-RED..	59
6	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	66
	APÊNDICE A.....	73
	APÊNDICE B.....	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A dificuldade em se ter acesso ao saneamento básico adequado e à água limpa tem se tornado um fator impactante em todos os aspectos da humanidade. Os maiores efeitos desse problema são sentidos por países economicamente menos desenvolvidos e comunidades marginalizadas.

Considerando este cenário, a Organização das Nações Unidas (ONU) trata o tema com extrema atenção no contexto global. Tanto é que o aborda em sua agenda global nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), que trazem como diretriz a garantia da disponibilidade e do manejo sustentável da água e do saneamento para todos (Stankovic; Hasan Beigi; Neftenov, 2020).

Estima-se que, muito provavelmente em 2030, o planeta terá de enfrentar um déficit hídrico de 40%, caso não sejam tomadas ações efetivas para combater o desperdício de água no mundo (2030 Water Resources Group, 2009).

Portanto, as perdas nos sistemas de distribuição de água são preocupantes. Elas contribuem diretamente para a projeção negativa e dificultam o acesso das pessoas à água.. De acordo com o “Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil de 2024 (SNIS-2022)”, tem-se no Brasil o índice de perdas de água em 37,78% enquanto no Estado do Amapá 71,14% e na região Norte em 46,94% (Instituto; Brasil, 2024).

Tal cenário reforça mais a necessidade da presença forte de investimentos na cobertura de atendimento, assim como em tecnologias inovadoras que possam melhorar a qualidade do serviço e facilitar a fiscalização.

Diversos países estão implementando iniciativas voltadas à gestão eficiente da água. Nos Estados Unidos, por exemplo, a Internet das Coisas é usada para monitorar o consumo residencial. Essa tecnologia melhora a comunicação entre concessionárias, possibilita cobranças mais precisas e aumenta a conscientização sobre o uso da água (Stankovic; Hasan Beigi; Neftenov, 2020).

No Brasil, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, desde 2018, implementa em sua rede de distribuição de água medidores digitais do consumo de água denominados “hidrômetros inteligentes” devido suas características de conectividade agregadas ao hardware e pela possibilidade de permitir aos clientes atendidos os seus próprios

monitoramentos do consumo de água diário por meio de um aplicativo para *smartphones* (Custódio, 2022).

O território brasileiro, apesar de sua vasta extensão, ainda possui 15,57% de sua população vivendo em áreas rurais (Brasil, 2019), totalizando aproximadamente 29,54 milhões de habitantes na área rural do país, além disso, em regiões de diversidades geográficas como a Amazônia, a implementação de políticas de saneamento acompanhada de tecnologias de comunicação tem evidências de imensa dificuldade, tornando desafiador a implementação de ambas.

A Internet das Coisas (IoT) é uma aplicação interdisciplinar que conecta dispositivos de sensoriamento e controle. Essa tecnologia tem o potencial de transformar os serviços básicos de saneamento.

A utilização de sistemas de automação também se mostra incluída como alternativa auxiliadora na medição de parâmetros qualitativos da água como pH, temperatura e turbidez, minimizando esforços, custos e tempos de resposta ao possibilitar o monitorar o comportamento destes parâmetros da água em tempo real (Targino *et al.*, 2021).

Em diversas regiões distantes pode -se utilizar tecnologias inovadoras no auxílio da monitorização da água através de dispositivos que integrassem sensores capazes de supervisionar os mesmos aspectos químicos e físicos da água, de maneira análoga a experiência descrita em Murphy *et al.*, (2015), realizando a transmissão desses dados para centros de análises, com mínima intervenção humana na região controlada de análise.

Como solução sugestiva a essa demanda, a aplicação conceitual das *Low Power Wide Area (LPWANs)*, referenciada em Chen *et al.*, (2021), Custódio, (2022), onde houve a integração de vários sensores de qualidade da água, tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance (Long Range - LoRa) e serviços de nuvem de código aberto para o desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento da Qualidade da Água, torna-se uma opção de grande relevância acadêmica, mercadológica e sócio ambiental.

É necessário aprofundar estudos de caso sobre a aplicação dessa inovação destacada por Chen *et al.* (2021) e Custódio (2022). Esses estudos devem considerar a integração de diferentes módulos de hardware, incluindo hidrômetros digitais e outros dispositivos. O objetivo é supervisionar remotamente o acesso à água em comunidades isoladas e menos favorecidas, analisando sua vazão. Esse campo de pesquisa precisa avançar.

A tecnologia LoRa, um tipo de rede LPWAN segundo Chen *et al.* (2021), tem a vantagem de ser uma rede autoconstruída podendo ser implementada pelo próprio usuário sem a necessidade da infraestrutura da rede de telecomunicações de uma operadora e é apropriada

para ser implantada numa área mais ampla. Este diferencial favorável da LoRa melhoraria as restrições de aplicação minimizando os custos de comunicação que requerem transmissão de dados da estação base do Provedor de Serviços de Internet (ISP).

A presente pesquisa propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto do fluxo de água, utilizando um hidrômetro ultrassônico digital integrado com tecnologia LoRa. Essa solução visa, não apenas combater perdas no consumo de água em aplicações futuras, mas também estimular uma cultura de uso racional dos recursos hídricos à posteriori.

1.2 Motivação

O uso da *IoT* vem ganhando espaço significativo em aplicações relacionadas ao monitoramento da qualidade da água. Ao encontro desse avanço há um espaço a ser ocupado de aplicações em comunidades rurais isoladas, onde a presença de redes comunicação tem as fragilidades advindas de carência em investimentos tanto em infraestrutura de telecomunicações como no próprio saneamento básico.

Diante deste cenário, a presente pesquisa propõe uma alternativa capaz de ir em direção à solução do problema da dificuldade de comunicação em comunidades isoladas, facilitando a aplicação de sensoriamento de vazão de água utilizando a tecnologia LoRa.

1.3 Objetivos

Os objetivos desta pesquisa são apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor a implementação de um sistema de monitoramento remoto da vazão de água utilizando comunicação sem fio *LoRa* aplicada à *IoT*.

1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar estudos teóricos necessários de desempenho dos principais tipos de medidores de água, assim como protótipos desenvolvidos em laboratórios de pesquisa que servirão de ponto de partida à proposta futura de construção de um hidrômetro digital de arquitetura aberta de baixo custo.

Desenvolver um protótipo de um sistema de medição de vazão de água utilizando um hidrômetro digital cujos valores de vazão serão adquiridos por um microcontrolador ESP32 que enviará o sinal para um *gateway* por meio de uma rede *LoRa*.

Elaborar um *dashboard* de monitoramento de vazão utilizando o NodeRED que gera uma interface responsiva podendo ser acessado em qualquer dispositivo com acesso à Internet.

1.4 Estrutura do Documento

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. Este capítulo 1 trouxe uma contextualização geral sobre o acesso à água tratada no mundo, a preocupação com um possível déficit de água para consumo no futuro e algumas possibilidades de uso de tecnologias LoRa e Internet das Coisas aplicadas ao monitoramento da água visando o combate do desperdício de água.

O segundo capítulo destaca os trabalhos correlatos que inspiraram o desenvolvimento desta pesquisa.

No terceiro capítulo apresentam-se as principais tecnologias implementadas neste trabalho, assim como fundamenta teoricamente os conceitos que envolvem cada parte deste sistema de sensoriamento de vazão de água para comunidades isoladas.

A descrição do sistema proposto e os materiais usados neste protótipo são os destaques do quarto capítulo, com a descrição de cada elemento de hardware e software utilizados no desenvolvimento da implementação da pesquisa.

O capítulo 5 mostra os resultados e análises relacionados à implementação.

Concluindo, o capítulo 6 destaca as considerações conclusivas referentes à dissertação e as sugestões de melhorias para trabalhos futuros.

2 TRABALHOS CORRELATOS

2.1 Considerações iniciais

No presente capítulo, são expostos os estudos correlacionados dos últimos 06 (seis) anos identificados em correlação com esta pesquisa. Apresentam-se doze estudos que propõem o uso do sensoriamento usando *LoRa*, bem como trabalhos relacionados a medição do consumo de água através de hidrômetros, sistemas de comunicação e armazenamento de dados em nuvem usando a plataforma IBM Watson IoT, além do uso da integração do protocolo MQTT à ferramenta Node-RED. As pesquisas estão organizadas em ordem cronológica crescente e pelo sobrenome do autor principal, demonstrando a relevância e a diversidade de abordagens sobre o tema.

2.2 Descrição dos trabalhos correlatos

O artigo de Chanthakit e Rattanapoka (2018) descreveu a implementação de um sistema de monitoramento da qualidade do ar utilizando o protocolo MQTT integrado ao Node-RED. O dispositivo experimental, baseado no hardware ESP8266 NodeMCU com conectividade Wi-Fi, conectou-se a sensores que medem temperatura, umidade, concentração de CO, ozônio (O₃) e partículas PM_{2,5}.

O firmware capturava e enviava os dados para um servidor MQTT Broker, e o Node-RED os encaminhava para um painel de monitoramento exibido em uma interface web responsiva com medidores e gráficos. O sistema também enviava alertas via Line Notify quando os valores ultrapassavam limites pré-estabelecidos.

Numa abordagem quanto ao armazenamento de dados em nuvem, o artigo de Marques e Pitarma (2019), apresentou um sistema de supervisão em tempo real de temperatura e umidade concebido na arquitetura de internet das coisas denominada *iTemp+*. O sistema incorporou um protótipo físico para aquisição de dados e utilizou a IBM Watson IoT para armazenamento de dados e consulta.

Marques e Pitarma (2019), demonstrou que *IBM Watson IoT Platform* disponibilizou integração de dados, segurança, métodos, coleta de dados, visualização, análise, gerenciamento de dispositivos, inclusive funcionalidades de inteligência artificial. Os resultados obtidos revelaram que a plataforma IBM Watson ofereceu vários recursos aprimorados para gerenciamento e análise de dispositivos e pôde ser usado como uma abordagem relevante para

fornecer supervisão IEQ (*Indoor Environment Quality*), uma espécie de monitoramento da qualidade ambiental interna.

Versando sobre uma plataforma de interface entre dispositivos físicos e virtuais para armazenamento de dados, Braga *et al.* (2020), implementou um protótipo capaz de estabelecer uma interoperacionalidade entre componentes de hardware e software.

O modelo do sistema foi baseado na arquitetura IoT conectada na tecnologia IBM Watson, onde interpretou textos enviados pelo usuário sendo possível observar o que estava sendo otimizado e facilitar o gerenciamento ambiental de uma produção de leite.

Essa plataforma permitiu a utilização de uma interface que garantisse aos usuários uma melhor visualização das operações e condições ambientais como temperatura, umidade, nível de monóxido de carbono e luminosidade, detectados através de sensores em tempo real (Braga *et al.*, 2020).

Ademais, Vendemiatti (2020) desenvolveu um medidor remoto e automático de parâmetros de utilização de água para gerar dados que permitissem detectar variações em padrões de consumo e a ocorrência de vazamentos com maior celeridade. Para isso, foram utilizados sensores de vazão e pressão, conectados através de um circuito de condicionamento de sinais a um micro controlador com conectividade *Wi-Fi*, que por sua vez realizou a leitura dos sensores e enviou os valores a um servidor de armazenamento.

O sistema desenvolvido por Vendemiatti (2020), teve validação com equipamento de recirculação de água, e em seguida foi instalado em pontos consumidores à coleta de dados reais de consumo. A arquitetura do sistema usado por Vendemiatti (2020), foi composta por hardware de sensores, circuito de condicionamento de sinais, micro controlador, assim como software de servidor e banco de dados.

Indo ao encontro da necessidade de garantir o fornecimento de água potável às pessoas nas cidades e aldeias, Pasika e Gandla (2020), apresentaram um Sistema Monitoramento da Qualidade da Água (*Water Quality Monitoring*) como um método econômico e eficiente de sistema de monitoramento da qualidade da água potável utilizando a tecnologia IoT.

No trabalho proposto por Pasika e Gandla (2020), o sistema consistiu em vários sensores para medir vários parâmetros, como valor de pH, turbidez da água, nível de água no tanque, temperatura e umidade do ambiente ao redor. E, também, uma Unidade de Microcontrolador (MCU) em interface com esses sensores e processamento adicional foi realizada em computador pessoal (PC). Os dados obtidos foram enviados à nuvem usando a plataforma IoT ThinkSpeak que permitiu a monitorização da qualidade da água em tempo real.

Chen et al. (2021) propuseram um sistema automatizado de monitoramento da qualidade da água para aumentar o alcance da comunicação e reduzir a carga de trabalho dos agricultores na aquicultura tradicional. Contudo, a distância de comunicação entre dispositivos e a falta de recursos para monitoramento remoto e transmissão de dados desafiou sua implementação em grandes fazendas de peixes.

Almejando superar essas limitações, Chen et al. (2021) desenvolveram um Sistema de Monitoramento de Qualidade de Água baseado em LoRa (Lora Water Monitoring System - LWMS), que integrou sensores de qualidade de água, tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance e serviços de nuvem de código aberto. Os sensores integrados mediram pH, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, nível de água do viveiro de peixes, temperatura do ar e umidade ao redor da piscicultura.

Nessa experiência, Chen et al. (2021) utilizaram o módulo iL-LoRa 1272 como módulo de comunicação de longo alcance integrado ao Arduino Mega 2560 como microcontrolador para integrar os sensores e o hardware iL-LoRa 1272. Esse LWMS foi implantado em um viveiro de peixes para experimentos, e os resultados demonstraram que o dispositivo proposto foi capaz de monitorar a qualidade da água do viveiro em longas distâncias.

A automação como ferramenta auxiliar nas medições de parâmetros qualitativos da água inspira Targino *et al.* (2021) a desenvolverem um sistema de baixo custo para monitoramento da qualidade da água que acompanha em tempo real as variações de parâmetros da água como pH, turbidez e temperatura da água. O protótipo foi desenvolvido usando componentes sensoriais e controladores Arduino utilizando a rede *Wi-Fi* como comunicação.

Em busca de uma proposta adequada à leitura e envio de dados em um sistema de irrigação na área rural, Silveira *et al.* (2021) apresentaram uma solução para aplicações na denominada agricultura inteligente: um novo sistema de comutação de potência LoRaWAN de baixo custo.

O objetivo de Silveira *et al.* (2021), foi reduzir os custos de mão de obra e melhorar o consumo de água na irrigação. A metodologia proposta foi dividida em duas etapas: a implementação dos dispositivos IoT com os módulos de arquitetura proprietária LoRaWAN e LoRa ESP32 de duas empresas do mercado, e posteriormente o estudo e análise dos parâmetros da rede da arquitetura LoRaWAN para diferentes cenários da chamada agricultura inteligente.

Os resultados do trabalho de Silveira *et al.* (2021), mostraram um protótipo de longo alcance e baixo custo aliado à viabilidade em usar as tecnologias empregadas para aplicações *Smart Farm* (agricultura inteligente) em um alcance de até 1,1 km do dispositivo de gateway para este cenário.

Um sistema de monitoramento de temperatura industrial baseado em IoT foi implementado em Macheso *et al.* (2021). O projeto técnico deste sistema foi baseado no hardware NodeMCU ESP8266, utilizando o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) à comunicação e a Node-RED para gerenciamento de dados. O NodeMCU ESP8266 foi o responsável em exibir os dados dos sensores de temperatura usando o protocolo MQTT em fábricas inteligentes, sendo o MQTT reconhecido pela literatura referenciada neste trabalho como um dos protocolos de comunicação pela internet mais leves disponíveis.

Por fim, abordando estudos referentes a hidrômetros, Santos (2022) enfatizou que nos últimos anos, a conectividade se tornou uma característica essencial para dispositivos que buscam oferecer ganhos em inteligência e produtividade.

No entanto, conforme Santos (2022), alguns dispositivos ainda não conseguiram se integrarem às redes de dados devidas suas características construtivas, como é o caso do hidrômetro convencional. A leitura deste dispositivo ainda é obtida de forma manual, o que gera um alto custo para as empresas de saneamento, que precisam coletar e alimentar os sistemas de faturamento mensalmente.

Por isso, o trabalho de Santos (2022) apresentou um protótipo para automatizar o processo de leitura do hidrômetro. Utilizando um microcontrolador e uma câmera para obter imagens periódicas do medidor, o hardware experimental aplicou técnicas computacionais de tratamento de imagem para apurar e enviar o consumo do medidor de consumo de água a um ponto de coleta de dados distante utilizando a tecnologia de comunicação LoRa.

2.3 Comparativo entre este trabalho e os correlatos

A comparação da presente pesquisa com trabalhos relacionados é apresentada na Tabela 1, em que a coluna "Dissertação" representa a pesquisa em questão. Vale ressaltar que nos 10 (dez) trabalhos correlatos tiveram os temas monitoramento e sensores presentes.

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos correlatos e esta pesquisa

(continua)

Correlatos	LoRa	Monitoramento	Sensor(es)	IBM Watson IoT Platform	Node-RED/MQTT
(Marques; Pitarma, 2019)		X	X	X	
(Braga et al., 2020)		X	X	X	
(Vendemiatti, 2020)	X	X	X		
(Pasika; Gandla, 2020)		X	X		

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos correlatos e esta pesquisa

Correlatos	LoRa	Monitoramento	Sensor(es)	(conclusão)	
				IBM Watson IoT Platform	Node-RED/MQTT
(Chen et al., 2021)	X	X	X		
Targino et al., 2021)		X	X		
(Silveira et al., 2021)	X	X	X		
(Santos, 2022)	X	X	X		
(Chantha; Ratt, 2018)	X	X	X		X
(Macheso et al., 2021)	X	X	X		X
Dissertação	X	X	X	X	X

Fonte: O autor.

De acordo com o mostrado na Tabela 1, apenas 20% dos trabalhos relacionados utilizam a *IBM Watson IoT Platform* como ferramenta de armazenamento de dados em nuvem, porém, isso será mais bem justificado no Capítulo 4 deste trabalho, assim como protocolo de comunicação MQTT é estudado também em 20% dos trabalhos correlatos apresentados e a integração do protocolo MQTT com a ferramenta Node-RED em constando também em 20%. O tema LoRa está presente em 60% da totalidade das pesquisas.

Este capítulo apresentou 10 (dez) pesquisas que compartilham pontos em comum. Cada pesquisa foi brevemente descrita e, por fim, foi elaborada uma tabela comparando essas publicações ao trabalho atual, bem como descrevendo o percentual contributivo de cada tema na totalidade dos artigos correlatos. Observou-se também a complementaridade dos temas analisados na Tabela 1.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo é apresentado o embasamento teórico de todos os componentes do sistema de monitoramento de vazão de água proposto, incluindo os hidrômetros. Assim como são apresentadas as tecnologias de comunicação sem fio utilizadas como *Wi-Fi*, *LPWAN* (Redes de Área Ampla e Baixa Potência), incluindo *LoRa* e *LoRaWAN*.

Além disso, descreve a arquitetura geral e os protocolos de sistemas de Internet das Coisas (*IoT*) e as plataformas de armazenamento em nuvem, destacando a integração do *Node-RED* e *MQTT* à aplicação proposta.

3.2 Medidores de Consumo de Água

A etapa de medição do consumo de água é fundamental tanto para os usuários do sistema de abastecimento de água quanto para os detentores da concessão do serviço. Através de uma medição precisa se tem a garantia que os consumidores paguem somente pelo consumo efetivo.

Um dos objetivos específicos do presente trabalho é também sugerir uma proposta de modelo de medidor digital open source, logo, explana-se aqui, além da teoria clássica dos medidores de consumo de água, algumas soluções acadêmicas referentes ao tema.

3.2.1 Hidrômetros

A definição de Tsutiya (2006), diz que hidrômetros são dispositivos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pela rede distribuidora a uma instalação predial. Sua formação consta geralmente de uma câmara de medição, um sistema de transmissão, e uma unidade de conversão/totalização que registra num mostrador os volumes escoados através do mesmo.

De acordo com Santos (2022), os hidrômetros se dividem em duas classes: industriais e residenciais. Os residenciais, amplamente conhecidos, são pequenos e de funcionamento simplificado.

Quanto aos industriais, por sua vez, por serem utilizados para medição e controle de grandes fluxos de água são mais robustos e de constituição mais complexa. Como o propósito desta pesquisa é a medição de consumo residencial, será dada maior ênfase aqui aos hidrômetros residenciais conforme a Figura 1.

Em conformidade com Crainic (2012a), existe a classificação dos hidrômetros quanto à existência ou não de parte mecânica para medição do fluxo. Para hidrômetros considerados mecânicos, onde existe a presença de parte mecânica à medição do fluxo, existem dois métodos principais de medição de vazão em uso, deslocamento positivo ou volumétrico e velocidade, com subtecnologias dentro de cada uma delas.

Projetos de deslocamento positivo ou volumétrico incluem pistão oscilante ou embolo rotativo e medidores de disco de nutação. Esses medidores têm a funcionalidade baseada em câmaras de volume definido que se enchem e esvaziam continuamente com o fluxo de água. O movimento da peça móvel da câmara é transmitido a um sistema de conversão, totalização e indicação.

Possuem como vantagens a alta sensibilidade a baixas vazões, menores erros em escoamentos reduzidos, sendo indicados para rigoroso combate à fugas e desperdícios em instalações domiciliares. Eles tornam desvantajosos em função da possibilidade de travamento da peça móvel por acúmulo de partículas além do custo elevado em relação aos hidrômetros de velocidade.

As arquiteturas baseadas em velocidade incluem medidores a jato e de turbina (Crainic, 2012a).

Esses hidrômetros de velocidade ou velocimétricos, também podem ser chamados de taquimétricos ou inferenciais, convertem a velocidade da água em rotações de uma turbina ou hélice, medindo o volume escoado com base nessa velocidade (Tsutiya, 2006).

Os hidrômetros velocimétricos podem ser de rotor com pás, com jato único ou múltiplos, ou de hélice, usados para maiores vazões, como os hidrômetros Woltmann, utilizados em locais com alta demanda de água. Os hidrômetros Woltmann podem ter a turbina em posição horizontal, proporcionando melhor precisão em altas vazões, ou vertical, garantindo precisão em baixas vazões (Tsutiya, 2006).

Quanto aos medidores não mecânicos considerados hidrômetros residenciais neste trabalho são o hidrômetro eletromagnético, o medidor de água ultrassônico e medidor de água com oscilador fluídico, conforme definições contidas em Crainic, (2012b).

O hidrômetro eletromagnético funciona com base na lei de Faraday, onde a tensão induzida em um condutor movendo-se perpendicularmente a um campo magnético é proporcional à sua velocidade. Este princípio é aplicado a um fluido condutor para medir a vazão (Çengel; Cimbala, 2015).

Existem dois tipos de hidrômetros eletromagnéticos: de escoamento total e de inserção. O primeiro utiliza uma bobina magnética ao redor do tubo e eletrodos que medem a diferença

de potencial, proporcional à velocidade do fluido. O segundo confina o campo magnético na ponta de uma haste inserida no escoamento, funcionando de maneira semelhante. Ambos requerem calibração cuidadosa para medir a velocidade de escoamento (Çengel; Cimbala, 2015).

Quanto aos hidrômetros ultrassônicos, utilizam transdutores para calcular a vazão e o consumo de água medindo sinais enviados em direções opostas e a temperatura da água (Crainic, 2012b). Eles operam gerando ondas sonoras através de um transdutor e medindo a propagação dessas ondas pelo fluido em movimento.

Existem dois tipos principais de medidores de vazão ultrassônicos: por tempo de trânsito e por efeito Doppler (Çengel; Cimbala, 2015).

O hidrômetro ultrassônico por tempo de trânsito mede a diferença no tempo de percurso das ondas sonoras transmitidas a montante e jusante (Çengel; Cimbala, 2015).

Já o medidor ultrassônico por efeito Doppler usa um transdutor piezoelétrico que transmite ondas sonoras e analisa as ondas refletidas pelas impurezas no fluido para determinar a velocidade de escoamento. A variação na frequência das ondas refletidas, proporcional à velocidade do escoamento, é usada para calcular a vazão e o volume total de escoamento (Çengel; Cimbala, 2015).

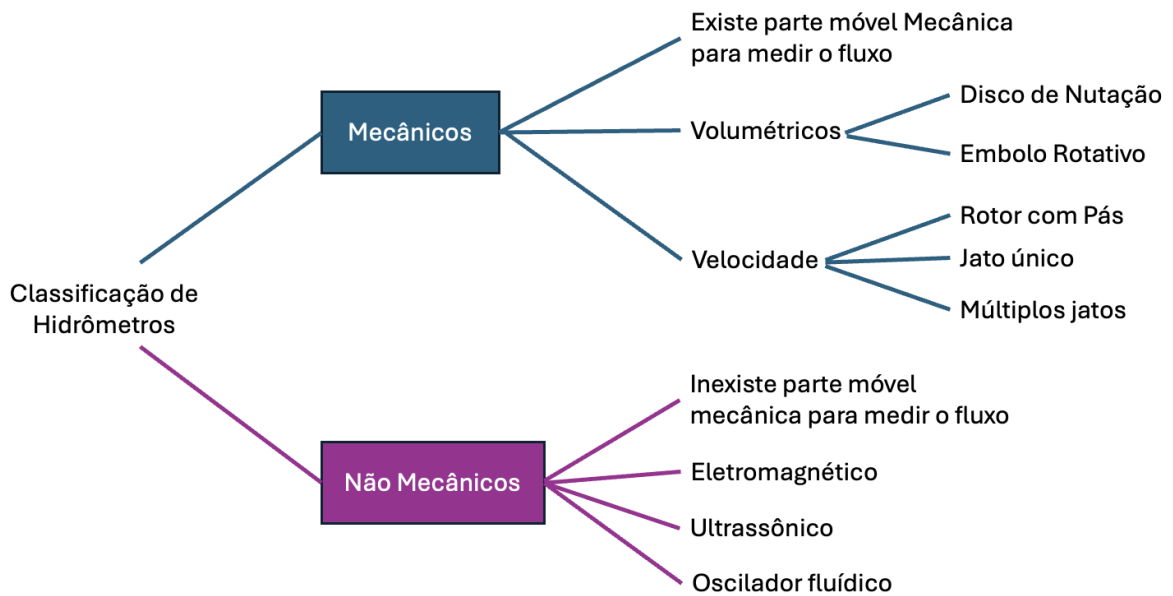
O hidrômetro utilizado nesta pesquisa é do tipo não mecânico ultrassônico, cujas características funcionais estão descritas no capítulo 4.

Finalizando a classe dos medidores não mecânicos, o hidrômetro oscilador fluídico funciona direcionando o fluxo para uma parede, onde ele se fixa e entra em um canal de realimentação.

Quando o fluido sai desse canal, ele desloca o jato principal para o outro lado do difusor, reiniciando o processo continuamente. O período desse ciclo é inversamente proporcional à velocidade do fluxo, fazendo com que a frequência de oscilação seja proporcional à taxa de fluxo (Baker, 2016).

O fenômeno, conhecido como “efeito Coanda”, ocorre quando um jato de fluido adere a uma parede próxima. No medidor de oscilador fluídico, o fluxo se liga a uma das paredes, e uma pequena porção é realimentada para uma porta de controle, desviando o fluxo para a parede oposta, onde o processo se repete (Crainic, 2012b).

Figura 1 – Classificação de Hidrômetros



Fonte: Crainic, (2012a) adaptado.

Uma comparação das vantagens e desvantagens entre os medidores de vazão de água mecânicos e não mecânicos (os denominados medidores de estado sólido) puderam ser extraídos das referências citadas no parágrafo anterior e são mostradas abaixo:

- Mecânico:
 - I. Vantagem: Tecnologia comprovada, amplamente aceita e confiável pela indústria; A tecnologia evoluiu e melhorou sua aplicação ao longo de mais de 100 anos.
 - II. Desvantagem: Limitações de desempenho de baixo fluxo. A precisão depende de tolerâncias estreitas que estão sujeitas a desgaste na câmara de medição. Partículas na água podem causar problemas. Cálcio na água pode causar problemas. Pode ser necessária manutenção em ocorrências de falhas devido à presença partículas sólidas.
 - III. Necessitam de adaptação para a implementação de sistemas de automação.
- Não Mecânico (estado sólido):
 - I. Vantagem: Sem partes móveis para desgastar. As partículas não fazem com que os medidores travem temporariamente ou fiquem parados. Sem necessidade de manutenção devido a partículas residuais sólidas. Melhor precisão em baixo fluxo. Melhor durabilidade em alto fluxo.

Embora sejam econômicos, hidrômetros mecânicos perdem precisão com o tempo, o que pode aumentar os custos e causar perdas de receita (CRAINIC, 2012b). Hidrômetros não

mecânicos, como eletromagnéticos, ultrassônicos e de oscilador fluídico, superam essas limitações (CRAINIC, 2012b).

3.2.1.1 Estudos Relacionados a Protótipos de Hidrômetros

Numa etapa de execução de um objetivo específico deste trabalho, consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica, utilizando artigos científicos relacionados ao tema hidrômetros e consultas a ferramentas de busca, como Google, e às plataformas IEEE, Elsevier, Scielo e MDPI Sensors.

Durante essa investigação, foram identificados diversos estudos e trabalhos voltados ao desenvolvimento de protótipos de hidrômetros. Apresentam-se então alguns hidrômetros implementados experimentalmente nos últimos cinco anos e suas contribuições na produção científica:

3.2.1.2 Projeto de Hidrômetro Baseado em um Sensor Resistivo de Filme Fino

Barbosa (2022) apresentou um projeto de hidrômetro baseado em um sensor resistivo de filme fino para medição de consumo de água em unidades autônomas (condomíniais). O estudo avaliou a viabilidade de um sensor resistivo de filme fino (*bend* sensor) em sistemas de medição individualizada de água, com diferentes revestimentos e comprimentos.

A proposta de Barbosa (2022), visou desenvolver um hidrômetro utilizando as válvulas de controle de fluxo já presentes em instalações hidráulicas condomíniais, evitando obras significativas em prédios antigos com medição coletiva de consumo de água.

O trabalho abordou a caracterização eletromecânica e térmica do sensor, realizou simulação computacional pelo software de engenharia *Ansys*, analisou o circuito eletrônico pelo simulador de circuitos eletrônicos *LTspice*, implementou o treinamento de uma rede neural artificial e as estimativas de volume por pulsos trapezoidais.

Os resultados da implementação de Barbosa (2022), indicaram que o sensor revestido com poliéster apresentou melhor desempenho para o hidrômetro proposto, demonstrando, segundo Barbosa, (2022), a viabilidade do *bend* sensor como transdutor para o medidor volumétrico, podendo ser facilmente integrado em componentes hidráulicos, como válvulas de controle de fluxo por exemplo.

Porém, observou-se que o estudo focou apenas o hidrômetro, não se preocupando com a conectividade em relação à Internet das Coisas (IoT).

3.2.1.3 Sistema de Monitoramento de Vazamentos em um Modelo de Tubulação em Escala

Carvalho e Junho (2022) implementaram um sistema de monitoramento de vazamentos em um modelo de tubulação de escala reduzida para controle do fluxo de água. Através de um protótipo em escala, foram analisados parâmetros e comportamentos da vazão antes e depois de um vazamento.

Um módulo principal, baseado em Arduíno, recebeu dados dos módulos sensores e os encaminhou para um sistema central. Essa aplicação forneceu informações ao usuário por meio de gráficos, os quais destacaram o consumo de água em pontos monitorados. Isso teve o propósito de conscientizar o usuário sobre o consumo de água em sua residência, oferecendo suporte à implementação de medidas que objetivassem a economia desse recurso (Carvalho; Junho, 2022).

A arquitetura de hardware do protótipo de Carvalho e Junho (2022), consistiu de utilizar um cabo USB conectando o Arduíno a um computador e, através do Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduíno (IDE) foi possível carregar a programação baseada na linguagem C/C++ e começar a utilizar suas funcionalidades.

Após a etapa de programação, conforme Carvalho e Junho (2022), o Arduíno pôde ter sua funcionalidade de forma independente, desempenhando inúmeras funções às quais foi programado, desde que estivesse conectado a uma fonte de energia. Após a conexão de 2 sensores de fluxo no Arduíno e conseqüentemente no computador, foi utilizada uma união PVC 1/2 polegada no tubo.

Em relação à proposta de Barbosa, (2022) , já se percebeu em Carvalho e Junho (2022), o incremento de dispositivos de aquisição e processamento de dados utilizando Arduíno e sensores de fluxo, porém, sem a integração com a Internet das Coisas (IoT).

3.2.1.4 Protótipo de Hidrômetro Digital com Comunicação Remota para Uso Residencial

Oliveira e Souza (2021), executaram as fases do desenvolvimento de um protótipo de hidrômetro digital com comunicação remota para uso residencial. Durante o processo, foram conduzidas pesquisas abordando a comunicação LoRa, diferentes tipos de medidores de vazão e métodos de calibração. Essas investigações foram a base para a criação do protótipo, que passou por testes após sua concepção.

Ao ser instalado em uma residência de forma experimental, o protótipo possibilitou o monitoramento remoto do consumo de água. Segundo Oliveira e Souza (2021), os resultados

dos testes revelaram que o desempenho do protótipo apresentou viabilidade técnica para aplicação posterior numa rede de abastecimento de água, demonstrando uma precisão de 92%.

Observou-se no protótipo de Oliveira e Souza (2021), a preocupação com a comunicação de longa distância, possibilitando o uso da tecnologia LoRa. Porém, ainda não se considerou a aplicação de sistema de armazenamento de dados em nuvem e utilização de protocolo de comunicação MQTT da internet das coisas.

3.2.1.5 Sistema de Baixo Custo para Monitoramento do Consumo de Água

Américo e Izidoro (2022) propuseram um sistema de baixo custo para monitoramento do consumo de água que consistiu na elaboração de um sistema eletrônico destinado a monitorar o consumo de água em diferentes contextos, como residências e empresas.

Esse projeto de Américo e Izidoro (2022), foi fundamentado nos princípios de sustentabilidade e Internet das Coisas e tentou buscar identificar eventuais vazamentos ou desvios de água nas tubulações. Essa detecção foi realizada por meio da medição do consumo, efetuada por um sensor de fluxo. Os dados foram então transmitidos via *Wi-Fi* e disponibilizados em uma aplicação móvel, proporcionando ao usuário facilidade de acesso ao sistema de supervisão.

Utilizou-se neste protótipo um sensor de efeito hall, um controlador ESP 32, comunicação *Wi-Fi* e um servidor web. Portanto, mesmo com o avanço na escolha do microcontrolador ESP 32 em relação ao Arduíno da implementação de Carvalho e Junho (2022), ainda não esteve presente nesse trabalho de Américo e Izidoro (2022), uma integração com plataformas de armazenamento de dados em nuvem e protocolo de comunicação MQTT.

3.2.1.6 Sistema com um Medidor de Água Inteligente Autoalimentado

Li e Chong (2019) implementaram o projeto de um sistema com um medidor de água inteligente autoalimentado, onde abordaram a importância da gestão interativa das redes de abastecimento de água no conceito de cidades inteligentes, destacando o papel essencial dos medidores.

A denominação de medidor inteligente vem das características de processamento e conectividade à internet das coisas e que vão o encontro também da concepção de cidades inteligentes ou do inglês *smart cities*, podendo também ser chamado de *smart meter* ou *smart hydrometer*.

Através de sua implementação, Li e Chong (2019), fizeram uma análise comparativa dos modelos totalmente mecânicos – explanados também aqui nesta pesquisa, com os hidrômetros eletromecânicos ou totalmente eletrônicos, especialmente aqueles que utilizam a leitura automática de medidores (AMR – *Automatic Meter Reading*), que são os mais adequados às demandas aplicativas no conceito das cidades inteligentes.

O foco principal foi apresentar um projeto e implementação de um hidrômetro inteligente autoalimentado, baseado em um gerador de turbina hidráulica. O dispositivo não apenas detectaria o fluxo de água por meio de processamento adaptativo de sinal, mas também geraria eletricidade para garantir o funcionamento contínuo do medidor.

A experiência detalhou as considerações de design e a integração de um transceptor sem fio no medidor, permitindo a transmissão em tempo real das informações sobre o fluxo de água. Além disso, destacou-se o desenvolvimento de um aplicativo móvel para facilitar o monitoramento do consumo de água pelos usuários.

O protótipo do medidor inteligente de Li e Chong (2019), apresentou três limitações. Primeiramente, a dificuldade em detectar pequenos fluxos de água, prejudicando a competição com medidores mecânicos tradicionais. Uma solução proposta foi adotar um mecanismo de medição diferente.

Em segundo lugar, o grande fluxo de água representou outro desafio devido à saturação do ímã e ao escorregamento da turbina, no qual o fluxo de água escapou ao redor da turbina e não contribuiu mais à velocidade de rotação da turbina. Assim, foi difícil medir com precisão o fluxo de água acima de um determinado limite. Ímãs com campo magnético mais intenso poderiam ser escolhidos para mitigar esta situação.

Por fim, o curto alcance do módulo Bluetooth limitou a comunicação entre o medidor inteligente e seu nó coletor, sugerindo a consideração de uma tecnologia sem fio com maior alcance como a tecnologia LoRa, apresentada aqui neste trabalho dissertativo. Portanto, observou-se, também, a ausência do uso da integração com protocolo de comunicação MQTT da Internet das Coisas e plataformas de armazenamento em nuvem.

Uma melhor visualização das contribuições e limitações de cada um dos protótipos de hidrômetros apresentados aqui, pode ser observada na Tabela 2, onde a primeira coluna representa o autor principal de cada projeto e as duas colunas subsequentes dizem respeito as contribuições e limitações, respectivamente.

Tabela 2 – Contribuições e limitações referentes a protótipos de hidrômetros estudados

Autor Principal	Contribuições	Limitações
(BARBOSA, 2022)	Bend sensor como transdutor para medidor volumétrico e fácil integração em componentes hidráulicos.	Ausência de conectividade.
(CARVALHO; JUNHO, 2022)	Presença de dispositivos de aquisição e processamento de dados utilizando Arduino e sensores de fluxo.	Inexistência de integração com a Internet da Coisas (IoT).
(OLIVEIRA; SOUZA; DE, 2021)	Preocupação com a comunicação de longa distância, possibilitando o uso da tecnologia LoRa.	Desprovido de aplicação de sistema de armazenamento de dados em nuvem e utilização de protocolo de comunicação MQTT da internet das coisas.
(AMÉRICO; IZIDORO, 2022)	Avanço na escolha do microcontrolador ESP 32 em relação ao Arduino.	Falta de aplicação de sistema de armazenamento de dados em nuvem e utilização de protocolo de comunicação MQTT da internet das coisas.
(LI; CHONG, 2019)	Inovação em implementar o conceito de medidor inteligente.	Dificuldade de detecção de pequenos fluxos de água; fragilidade em medir grandes fluxos de água devido a saturação do ímã e ao escorregamento da turbina; alcance limitado e supressão do uso de integração com protocolo de comunicação MQTT da Internet das Coisas e plataformas de armazenamento de dados em nuvem.

Fonte: Autor

3.2.2 Sistema de Comunicação *Wi-Fi*

A tecnologia *Wi-Fi*, abreviação de Wireless Fidelity, é construída com base no protocolo de comunicação definido pelo padrão IEEE 802.11, possibilitando a comunicação entre dispositivos e a internet em modo de wireless, eliminando a necessidade de conexões físicas.

Com mais de duas décadas, o Wi-Fi é amplamente utilizado como uma das principais infraestruturas para comunicação sem fio e é o principal meio de acesso à transferência de dados na internet (*Wi-Fi Alliance*, 2020).

As tecnologias sem fio migraram gradualmente para frequências mais elevadas conforme mostrado em Stallings (2016). Frequências mais altas permitem o suporte de maiores taxas de dados e desempenho, porém requerem maior potência, são mais afetados por obstáculos e têm menor alcance efetivo de cobertura. A rede sem fio Wi-Fi opera em diversas faixas de frequência de rádio, incluindo 2,4 GHz, 5 GHz e, mais recentemente, nas faixas de 6 GHz e 60 GHz.

Além disso, utiliza várias técnicas de modulação que possibilitam a transmissão de dados em altas velocidades (Wi-Fi Alliance, 2020). Uma rede Wi-Fi forma uma topologia em estrela, significando que existe um hub central e outros nós se conectando ao hub central para se comunicar dentro da rede Wi-Fi ou com o mundo exterior se o hub central estiver conectado a um roteador ou for ele próprio um roteador.

ONER (2021) considera a tecnologia Wi-Fi como sendo um “bom e antigo amigo” tanto que em seu conteúdo sugere projetos de automação residencial e industrial IoT usando microcontrolador ESP32 e dispositivos Wi-Fi de baixo custo. O capítulo 4 deste trabalho mostrará uma proposta de implementação dessa natureza como sendo o objeto de pesquisa em questão.

3.2.3 Sistema de Comunicação *Low Power Wide Area Network* (LPWAN)

Em conformidade com Foubert e Mitton (2020), uma LPWAN faz parte de uma família de tecnologias de comunicação de dados sem fio com desenvolvimento para a transferência de forma econômica e eficiente de dados em extensas áreas geográficas, principalmente quando se tratam de aplicações IoT.

Essas tecnologias possibilitam que os dispositivos enviem e recebam dados com confiabilidade e baixo consumo de energia, porém sem a necessidade de altas taxas de transferência de dados (Foubert; Mitton, 2020).

Conforme Ogbodo; Abu-Mahfouz; Kurien (2022), dentre as principais tecnologias da LPWAN estão LoRa, Sigfox, NB-IoT e LTE-M.

Além do baixo consumo de energia e capacidade de cobertura em longa distância, a LPWAN apresenta também a vantagem da escalabilidade para suportar a grandeza de milhões de dispositivos IoT simultaneamente. Podem ser classificadas em redes que utilizam espectro licenciado, como NB-IoT e LTE-M, gerenciadas por operadoras de telecomunicações, e redes que usam espectro não licenciado, como LoRa e Sigfox, que podem ser implementadas sem licenças (Ogbodo; Abu-Mahfouz; Kurien, 2022).

O NB-IoT e o LTE-M são tecnologias baseadas no padrão 3GPP (do inglês 3rd Generation Partnership Project) que utilizam redes celulares existentes para disponibilizar conectividade de longo alcance a dispositivos IoT.

O NB-IoT é mais adequado para aplicações que não exijam elevadas taxas de transferência de dados, com menor largura de banda e latência mais alta; enquanto que, o LTE-M oferece maior largura de banda e menor latência, sendo mais apropriado para aplicações que requerem comunicação mais célere em tempo real (Olatinwo; Abu- Mahfouz; Hancke, 2019).

Tanto a tecnologia NB-IoT quanto o LTE-M não fazem parte do escopo da dissertação, porém, contribuem como uma possibilidade de estudos futuros de viabilidade em monitoramento de água por parte do autor.

Quanto às tecnologias que utilizam banda não licenciada, a LoRa utiliza a modulação por espalhamento de espectro por chirp (da sigla inglesa Chirp Spread Spectrum - CSS) para comunicação a longa distância e possui uma largura de banda maior e menor latência, tornando-o adequado para aplicações em tempo real (Foubert; Mitton, 2020).

Por outro lado, o Sigfox é baseado na modulação por chaveamento binário de fase (Binary Phase Shift Keying - BPSK) sobre um portador de banda ultra estreita (do inglês Ultra-Narrow-Band - UNB), sendo mais apropriado para aplicações que não exigem comunicação em tempo real (Foubert; Mitton, 2020).

Quanto à arquitetura dessas tecnologias de uso de espectro não licenciado, a LoRa é uma rede descentralizada e aberta, enquanto o Sigfox é centralizado e gerenciado por uma única empresa. O protocolo de comunicação também difere, com LoRa usando um protocolo bidirecional e Sigfox sendo unidirecional.

Portanto, LoRa é mais adequada para aplicações que requerem comunicação em tempo real, enquanto Sigfox é apropriado para aplicações que não exigem essa característica (Foubert; Mitton, 2020).

3.2.3.1 LoRa (*Long Range*)

É uma tecnologia de rádio frequência que possibilita comunicações a longas distâncias (numa ordem de grandeza de alguns quilômetros) com baixo consumo de energia elétrica. O nome LoRa é acrônimo de *Long Range*, nomenclatura adequada ao seu modo de funcionamento (Bertoleti, 2019).

Foi desenvolvida pela Semtech e é promovida pela LoRa Alliance. Esse padrão foi especificamente concebido para atender às necessidades de aplicações na Internet das Coisas

(IoT), visando oferecer uma solução padronizada para redes sem fio com custos reduzidos de implementação e manutenção (Janssen *et al.*, 2020).

A LoRa apresenta vantagens significativas além da capacidade de transmitir dados a longas distâncias, superando obstáculos e áreas de sombra devido ao seu espectro de frequência baixo. Sua eficiência energética permite que dispositivos LoRa operem por períodos prolongados com baterias pequenas (Seneviratne, 2019).

Além disso, sua flexibilidade na topologia de rede permite a utilização em redes ponto-a-ponto ou multipontos, tornando-o excelente para interconectar dispositivos de maneira rápida e fácil em diversas aplicações (Seneviratne, 2019; Tran *et al.*, 2022).

De acordo com Bertoleti (2019), outras características vantajosas da tecnologia são o custo do rádio LoRa, que comparando com soluções da mesma ordem de grandeza de alcance físico da transmissão, apresenta melhor relação custo benefício.

Além disso, o rádio LoRa possui de nativamente uma grande imunidade à interferências, sendo um diferencial em se tratando de ambientes urbanos, pois trabalha na faixa de frequência abaixo de GigaHertz conforme descrito em Alliance (2021), diferentemente da maioria dos dispositivos eletrônicos, os quais trabalham em sua maioria acima da frequência de 1GHz como por exemplo 2,4 GHz e 5GHz.

A tecnologia LoRa encontra aplicações globais, adaptando suas especificações conforme a região de implementação. Em termos de frequência de operação, utiliza frequências sub- GigaHertz, a tabela 3 mostra as principais regiões do planeta e suas respectivas bandas LoRa.

Tabela 3 – Frequências tecnologia LoRa em Regiões

Região do Planeta	Banda de Frequência
Estados Unidos e Américas	de 902 MHz a 928MHz
Europa	de 863 MHz até 870 MHz
China	de 779 MHz até 787 MHz

Fonte: Bertoleti, (2019).

No Brasil, a faixa de frequência ISM (*Industrial, Scientific, and Medical* - Industrial, Científico e Médico) destinada à tecnologia LoRa abrange de 902 a 928 MHz, conforme as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) em 2017. Essa faixa é compartilhada com outros sistemas de comunicação, como *Wi-Fi* e Bluetooth, embora cada tipo de sistema esteja sujeito a limitações específicas para eliminar eventuais interferências.

Ainda sobre o uso espectral da tecnologia LoRa, a LoRa Alliance desempenha o papel de supervisionar e disseminar informações relativas às frequências disponíveis e regulamentações específicas para cada país e região.

Neste contexto, o presente trabalho utilizou as diretrizes estabelecidas pelas especificações AU 915-928, as quais englobam a faixa de 915 a 928 MHz, conforme detalhado no documento de parâmetros regionais *LoRaWAN* (Alliance, 2021).

3.3 Long Range Wide Area Network (*LORAWAN*)

Na visão de Bertoleti (2019), apesar das notáveis vantagens na rede LoRa como as descritas na seção anterior, como o baixo consumo de energia, sinal mais imune às interferências de frequências acima de 1 GHz e eficiência econômica, a *LoRa* significa de forma bem simples uma tecnologia de rádio enlace.

A fim de abordar questões de escalabilidade, organização da rede, gerenciamento de custos, dimensionamento, eficiência energética e cobertura, a LoRa necessita de protocolos de comunicação que estabeleçam as regras para a transmissão de dados.

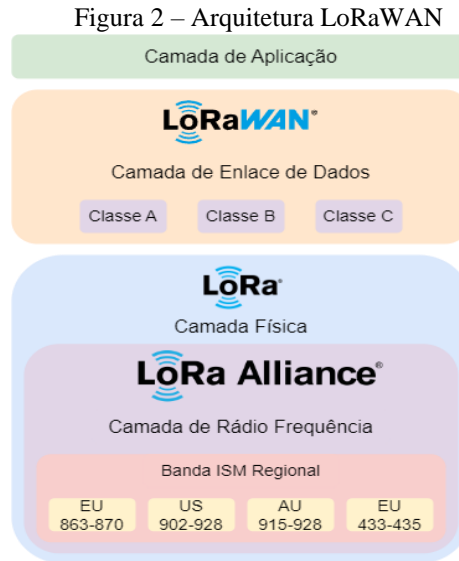
Para enfrentar esse desafio, foi desenvolvido o protocolo *LoRaWAN* (em tradução: Rede de Área Ampla de Longo Alcance), composto por três componentes principais: dispositivos finais (endnodes), gateways e a rede de servidores (Almuhaya *et al.*, 2022).

A *LoRaWAN* representa um padrão de código aberto que viabiliza a criação de uma rede abrangente, abordando aspectos como endereçamento de dispositivos, gateways e mecanismos anti-colisão de pacotes, entre outros requisitos essenciais para o funcionamento eficaz de uma rede.

Em resumo, o protocolo *LoRaWAN* detalha as particularidades operacionais, medidas de segurança, qualidade de serviço e otimizações de potência com o objetivo de prolongar a vida útil das baterias dos módulos (Bertoleti, 2019).

Em se tratando do modelo de Interconexão de Sistemas Abertos (OSI – Open Systems Interconnection), a Figura 2 mostra que estrutura LoRa integra a camada física, responsável pela modulação e comunicação sem fio, com a camada de radiofrequência, que estabelece as faixas de frequência para a operação da tecnologia.

No que diz respeito à camada de enlace, estão incorporadas as classes do protocolo *LoRaWAN*, juntamente com o próprio protocolo *LoRaWAN*. Por outro lado, a camada de aplicação engloba todas as possíveis aplicações finais, além do protocolo *LoRaWAN* (Semtech, 2020).



Fonte: (Machado, 2022).

É relevante que se tenha a percepção da viabilidade do emprego da tecnologia LoRa sem a utilização do protocolo LoRaWAN, aproveitando as informações na camada de aplicação (Berto; Napoletano; Savi, 2021).

Na topologia LoRaWAN, os end-nodes atuam como sensores ou atuadores, coletando e transmitindo dados para a rede. Esses dispositivos enviam sinais de rádio para os gateways, que funcionam como intermediários, recebendo e transmitindo as informações para a rede de servidores. A rede de servidores, por sua vez, gerencia os gateways, encaminha os dados para os servidores de aplicação e cuida da segurança e autenticação dos dispositivos (Almuhaya *et al.*, 2022).

O protocolo LoRaWAN oferece três classes de dispositivos finais, cada uma com requisitos distintos de energia e latência, permitindo a personalização de acordo com as necessidades específicas da aplicação (Almuhaya *et al.*, 2022):

Classe A: Mais comuns em aplicações de IoT, minimizando o consumo de energia. Podem enviar dados para a rede, mas só recebem dados dos gateways em janelas de recepção curtas após a transmissão, entrando em modo de economia de energia em seguida

Classe B: São dispositivos mais avançados que permitem a sincronização de tempo com a rede. Podem ser programados para receber dados em janelas de recepção específicas, aumentando o consumo de energia em comparação com a Classe A.

Classe C: A classe mais avançada, permitindo receber dados da rede a qualquer momento, desde que não estejam transmitindo. Adequada para aplicações que demandam comunicação bidirecional constante, mas com o maior consumo de energia.

A escolha da classe de dispositivo adequado depende dos requisitos de comunicação bidirecional, tempo de resposta da aplicação e do consumo de energia desejado.

O protocolo LoRaWAN emprega um esquema de criptografia de ponta a ponta objetivando garantir a segurança dos dados transmitidos. Esse método assegura que apenas o end-node e o servidor de aplicação possam ler e interpretar os dados, sendo criptografados no end-node antes de serem transmitidos pela rede LoRaWAN (Loukil *et al.*, 2022).

Além da criptografia, outros mecanismos de segurança, como autenticação por chave compartilhada, são utilizados para preservar a integridade e autenticidade dos dados transmitidos (Loukil *et al.*, 2022).

Originalmente concebido para dispositivos IoT estáticos, a LoRaWAN enfrentou desafios ao adaptar-se à mobilidade crescente dos dispositivos. A implementação bem-sucedida da mobilidade em LoRaWAN requer soluções para o consumo de energia, considerando que dispositivos móveis demandam mais energia do que os fixos.

Para isso, estratégias como o uso de múltiplos gateways para cobertura ampliada e a otimização do consumo de energia tornam-se imprescindíveis nesse contexto (Mojamed, 2021). Porém, o estudo da mobilidade em LoRaWAN não é aplicável neste trabalho.

Em síntese, a LoRaWAN utiliza a tecnologia de rádio LoRa para estabelecer uma infraestrutura de rede, onde a transmissão ocorre por meio desse canal específico. No que diz respeito aos custos, o LoRaWAN se diferencia do LoRa puro, pois, além do hardware associado aos rádios LoRa, requer a utilização de um gateway LoRaWAN. Este último, por sua vez, atualmente não apresenta preços tão acessíveis (Bertoleti, 2019).

3.3.1 Protocolos de Comunicação *IoT* para Integração de Dispositivos

Um protocolo de comunicação pode ser entendido como sendo um conjunto de regras e convenções que define a maneira como dispositivos se comunicam em uma rede, especificando os formatos de dados, as sequências de mensagens, os procedimentos de detecção de erros, os métodos de controle de acesso além de outros aspectos essenciais para garantir a comunicação eficiente e confiável entre sistemas interconectados (Bonaventure *et al.*, 2011).

A Internet das Coisas (IoT) é um termo usado na prática de se conectar objetos físicos à internet por meio da construção de uma rede de coisas interconectadas na vida cotidiana através do uso de dispositivos de computação embarcados heterogêneos que utilizam a rede para negociar dados e recursos (Quamara; Gupta; Yamaguchi, 2019).

Ao usuário Internet das Coisas (IoT) é disponibilizada a liberdade de incorporar diversos dispositivos à rede, permitindo o acesso e a obtenção de dados desses variados aparelhos. Com o rápido crescimento da quantidade de dispositivos IoT em operação, a quantidade de dados provenientes dessas fontes distintas também está em ascensão (Sharma; Pandey; Pradhan, 2022).

Até o ano de 2022, Sharma; Pandey; Pradhan (2022) estimavam que existiam aproximadamente 20,8 bilhões de dispositivos ativos conectados à internet. Esse aumento tende a continuar causando impacto significativo à quantidade global de dados. No entanto, processar esses dados utilizando protocolos tradicionais, como HTTP/HTTPS (do inglês *Hypertext Transfer Protocol* e *Hypertext Transfer Protocol Secure*), torna-se altamente desafiador para aplicativos IoT.

Logo, há uma necessidade evidente de uma classe mais eficiente de protocolo de dados, conforme defendido por Al-Fuqaha *et al.* (2015). Cada aplicação apresenta requisitos específicos, que podem ser categorizados em quatro áreas: (i) consumo reduzido de bateria, (ii) alta largura de banda, (iii) segurança robusta e (iv) baixa latência.

Com isso, diversos protocolos foram desenvolvidos para atender a esses requisitos, sendo a escolha do protocolo determinada pelas necessidades específicas de cada aplicação (Sharma; Pandey; Pradhan, 2022).

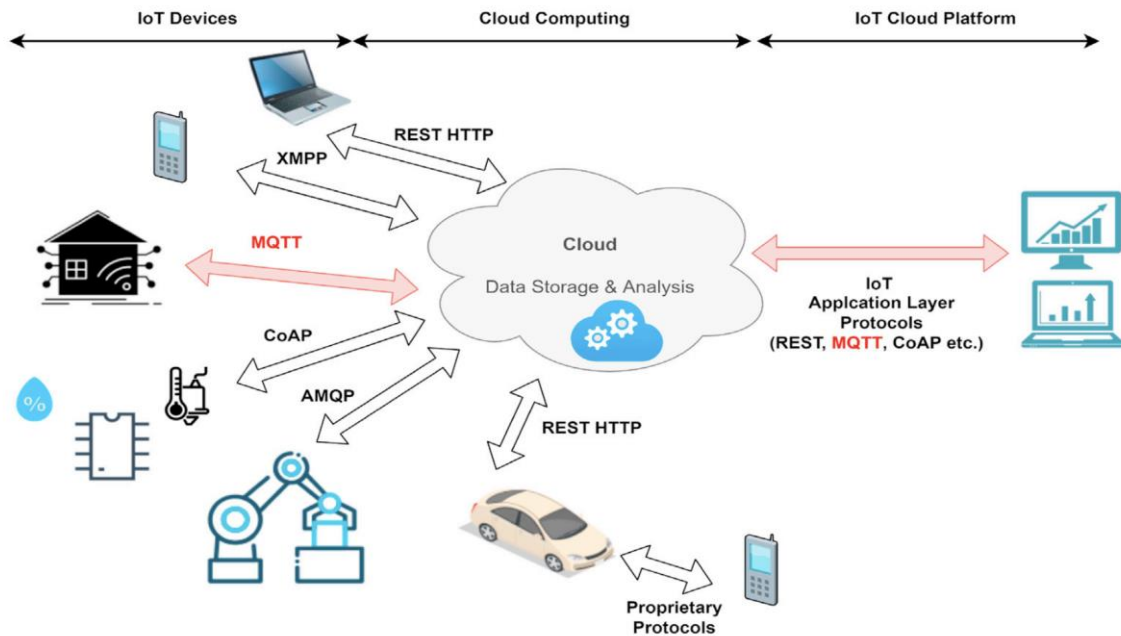
Dentre esses protocolos, destacam-se o Transferência de Estado Representacional (REST), *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), Protocolo Constrained Application (CoAP), Protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens (AMQP), Serviço de Distribuição de Dados (DDS), Protocolo de Mensagens Extensíveis e Presença (XMPP) e o *WebSocket Protocol* (Bayilmis *et al.*, 2022).

Para melhor compreensão da topologia de uma rede IoT, é apresentada na Figura 9 abaixo uma estrutura global de um sistema que compõe a rede IoT mencionada em Bayilmis *et al.*, (2022). O exemplo de um aplicativo IoT representado na Figura 9 opera utilizando o protocolo MQTT, e a comunicação correspondente é destacada em tonalidade vermelha.

Um aplicativo que faz uso de tecnologias IoT consiste em três componentes essenciais: (i) Dispositivos IoT empregados em aplicações, (ii) Protocolos de comunicação IoT em execução na camada de aplicação, responsáveis por estabelecer conexões com a Internet (nuvem), e (iii) Sistemas dedicados ao armazenamento e processamento de extensas quantidades de dados provenientes dos dispositivos IoT, incluindo bancos de dados distribuídos e sistemas de armazenamento em nuvem (Bayilmis *et al.*, 2022).

Além disso, são integradas plataformas em nuvem destinadas à supervisão, análise e gestão de diferentes formatos de dados gerados pelo ecossistema IoT.

Figura 3 – Arquitetura geral de um sistema IoT



Fonte: Bayilmis *et al.*, (2022).

3.3.1.1 Protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)

O MQTT, abreviação de *Message Queuing Telemetry Transport*, destaca-se como um protocolo de conectividade direcionado a ambientes Máquina para Máquina (M2M – Machine-to-Machine) e Internet das Coisas (IoT).

Trata-se de uma solução eficiente e leve para troca de mensagens leves, adotando um modelo publish-subscribe gerenciado por um elemento intermediário denominado broker, que desempenha o gerenciamento eficiente de troca de mensagens garantindo a entrega das mensagens aos dispositivos corretos. Este protocolo opera sobre o conjunto de protocolos TCP/IP, assegurando uma comunicação robusta e confiável (Hillar, 2017).

Diversos aplicativos fazem uso do MQTT, incluindo áreas como saúde, monitoramento, medição de energia e notificações no *Facebook*. Assim, reforçando, o protocolo MQTT é considerado um sistema de mensagens ideal para comunicações IoT (Internet das Coisas) e M2M (Máquina para Máquina). Ele tem a capacidade de oferecer roteamento eficiente para dispositivos pequenos, de baixo custo, com baixo consumo de energia e limitada capacidade de memória, especialmente em redes vulneráveis e com baixa largura de banda (Al-Fuqaha *et al.*, 2015).

3.4 Plataformas IOT de armazenamento em nuvem (*Cloud Storage IOT Platforms*)

De acordo com Oner (2021), a computação em nuvem oferece suporte essencial à Internet das Coisas (IoT), possibilitando a realização de diversas funções por meio de hardware adequado em redes locais.

Esse suporte permite a coleta de dados, o compartilhamento entre nós de rede, a interação entre usuários por meio de switches físicos e displays dos dispositivos, além da adição de novos recursos baseados em informações coletadas por sensores da rede local.

A escolha da plataforma adequada à implementação de uma solução IoT não é uma tarefa das mais fáceis devido à grande variedade de plataformas de Internet das Coisas (IoT).

Contudo, Barros *et al.* (2022) realizou um estudo sistemático onde foi mapeado diferentes perspectivas em plataformas IoT e seus elementos de software. Dos 50 artigos analisados, destacam-se as principais plataformas mais estudadas como sendo: AWS IoT, Azure IoT, Watson IoT, PTC ThingWorx e Google IoT.

Pela pesquisa de Barros *et al.* (2022), observou-se que essas plataformas se distinguem pelas capacidades de interoperabilidade, segurança, suporte ao desenvolvedor, gerenciamento de dados, dispositivos e gestão de serviços. Também é observado a necessidade de uma Interface de Programação de Aplicações (API, sigla em inglês de Application Programming Interface) comum nas plataformas IoT.

3.4.1 Plataforma IBM Watson IoT

Em conformidade com Fortino *et al.*, (2022), o IBM Watson é um sistema computacional que a princípio foi concebido para responder perguntas, utilizando tecnologias avançadas como recuperação de informação, representação de conhecimento, raciocínio avançado e aprendizado de máquina.

Atualmente, o Watson oferece um conjunto de ferramentas e soluções de negócios para facilitar a adoção da inteligência artificial (IA), reduzindo custos e obstáculos. Uma dessas ferramentas é a Plataforma Watson IoT, que oferece serviços gerenciados em nuvem para registro de dispositivos, conectividade, controle, visualização, armazenamento e análise de dados e monitoramento de ativos (Fortino *et al.*, 2022).

A IBM Watson IoT alcança diversas áreas de aplicação, incluindo saúde, automação comercial, publicidade, avaliação de riscos, manufatura inteligente, agricultura inteligente e edifícios inteligentes.

Destaca-se também por integrar suporte a ferramentas de simulação e oferecer suporte total ao blockchain - recurso suportado para a troca segura de dados na IoT, aproveitando as Interfaces de Programação de Aplicativos (APIs) cognitivas do Watson no contexto da Inteligência Artificial na Internet das Coisas (IoT) (Fortino *et al.*, 2022).

3.4.2 Plataforma Azure da Microsoft

Em conformidade com Fortino *et al.*, (2022), a Microsoft Azure é uma plataforma de computação em nuvem da Microsoft projetada para desenvolver, testar, implantar e controlar aplicativos e serviços por meio de data centers gerenciados pela Microsoft, oferecendo, também, serviços semelhantes ao IBM Watson e Amazon AWS.

O Azure IoT, um conjunto de serviços em nuvem Azure, conecta, monitora e controla dispositivos IoT. As soluções IoT incluem dispositivos IoT e serviços de back-end que se comunicam na nuvem.

O Azure IoT Central facilita a criação de soluções IoT, enquanto o Azure IoT Edge move o processamento de dados para dispositivos de borda. O Azure Digital Twins permite a criação de modelos virtuais de coisas físicas (Fortino *et al.*, 2022).

O ambiente do Azure IoT ainda se destaca por sua flexibilidade, integração com diversos setores e suporte a uma variedade de dispositivos. Recursos como IoT Plug and Play simplificam o desenvolvimento, enquanto o Device Update assegura atualizações eficientes e seguras.

A análise avançada é facilitada pelo Azure Digital Twins e Azure Time Series Insights Gen2. A segurança também é uma prioridade, tendo o Azure IoT Hub e Azure Sphere garantindo comunicação segura em diversas camadas de proteção para dispositivos, sistemas operacionais e serviços em nuvem (Oner, 2021).

3.5 Node-RED

Node-RED é uma ferramenta visual de automação e integração baseada em Node.js, um ambiente de desenvolvimento em linguagem JavaScript (Ferencz; Domokos, 2019). Desenvolvido pela IBM, é utilizado para criar sistemas IoT, conectando APIs, dispositivos de hardware e serviços web (<https://nodered.org/features>).

Com o objetivo supracitado de possibilitar a integração fácil de dispositivos, sistemas e serviços, oferecendo flexibilidade na construção de soluções. O software permite análise de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões com base nos dados recebidos. Além

disso, possibilita a criação de *dashboards* interativos para visualização compreensível dos dados (<https://nodered.org/features>).

A Node-RED pode ser integrada às plataformas de armazenamento em nuvem, possibilitando o envio de dados processados e complementando as capacidades de análise e armazenamento.

Destaca-se, ainda, a utilização do Node.js no Node-RED, cujo painel NodeRed representa a interface gráfica do usuário do sistema, incluindo um medidor e um gráfico, proporcionando uma visão abrangente e unificada dos dados coletados e processados.

Essa combinação realça a sinergia entre as plataformas de armazenamento em nuvem e o Node-RED para projetos IoT, desde a coleta e análise de dados até a criação de *dashboards* interativos.

3.5.1 Integração Node-RED e MQTT

A integração Node-RED e MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é usada para facilitar a comunicação entre dispositivos IoT. O MQTT é um protocolo de mensagens leves e eficiente (Hillar, 2017), projetado para comunicações entre dispositivos com largura de banda limitada, como é comum em ambientes IoT.

A Node-RED oferece suporte nativo ao MQTT, permitindo a criação de fluxos que envolvam a subscrição e publicação de mensagens MQTT. Essa integração permite a conexão de dispositivos IoT que usam o protocolo MQTT e crie fluxos de automação visualmente, facilitando a interação e o gerenciamento de dados entre esses dispositivos como pode ser visualizado no trabalho de Chanthakit e Rattanapoka, (2018).

Ao integrar o Node-RED ao MQTT, é possível criar fluxos que coletam, processam e distribuem dados entre os dispositivos IoT de maneira eficiente, tornando o desenvolvimento e a automação de projetos IoT mais acessíveis e visualmente compreensíveis.

Essa combinação é comumente utilizada em aplicações IoT para facilitar a troca de informações entre dispositivos conectados de forma eficaz como observado na experiência de Macheso *et al.*, (2021).

Neste capítulo de referencial teórico, foram apresentadas as tecnologias utilizadas para o contexto da pesquisa. Além disso, foi oferecida uma visão geral de como essas tecnologias são utilizadas, oferecendo ao leitor que recorrer à leitura deste trabalho, várias possibilidades de aplicações.

4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

Nesta seção será apresentada a descrição do sistema proposto, além da abordagem metodológica do trabalho desenvolvido através dos materiais e métodos utilizados.

4.1 Arquitetura do sistema

O sistema proposto possui os seguintes requisitos que foram levados em consideração para escolha do hardware e software utilizados para a sua implementação.

1. Leitura pretendida do consumo de água a cada 1 hora para verificar o consumo e identificação de funcionamento fora da normalidade;
2. Utilização do protocolo de comunicação LoRa entre o ponto de coleta e o ponto de concentração com o objetivo de minimizar o gasto energético e maximizar a distância de transmissão entre os pontos;
3. Utilização de mecanismos que possibilitassem que o sistema entre em modo de baixa energia quando não estivesse executando medições e envio de informações.

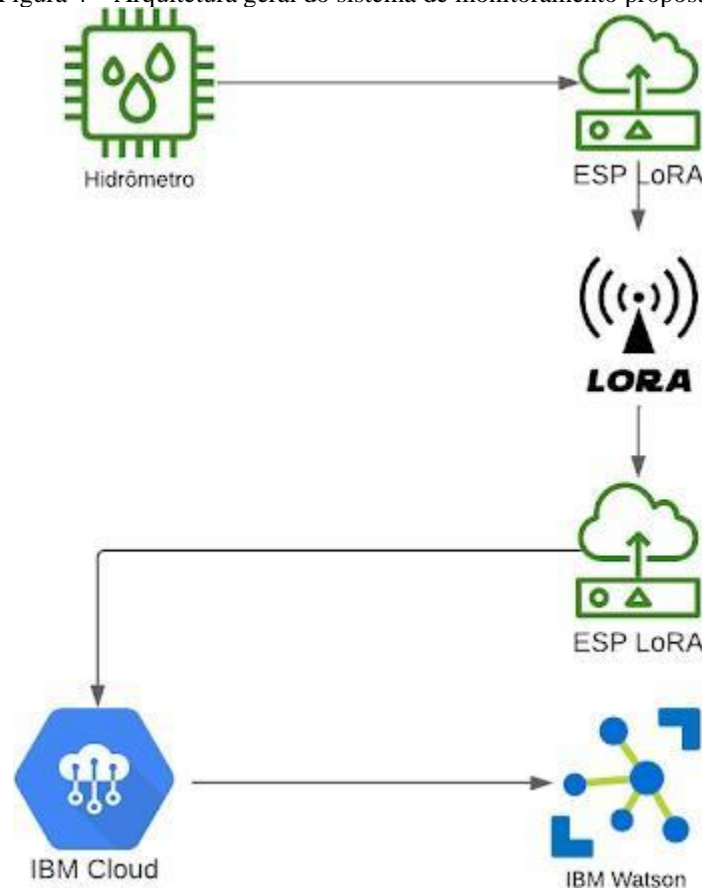
A tabela 4 descreve o material utilizado, sua quantidade e seu custo de aquisição individual. A aquisição dos dados de vazão (l/s) foi realizada por um hidrômetro digital que possui o módulo interno cuja bateria tem duração de mais de 20 anos, permitindo que ele atuasse por um longo período de tempo sem intervenção humana.

O hidrômetro possui várias interfaces de comunicação, entre elas uma que utiliza pulsos para indicar a vazão. Após a leitura de vazão, o hidrômetro dispararia um pulso que seria lido pelo módulo ESP 32 LoRa que iria decodificá-lo e, em seguida, iria inserir informação sobre o hidrômetro que está realizando a leitura.

A Figura 4 representa a arquitetura do sistema que foi composto de um hidrômetro que realizou a leitura, em seguida o sinal seria enviado pelo hidrômetro e lido pelo ESP 32 LoRa que iria processar o sinal e enviá-lo, via rede de comunicação LoRa, para um outro ESP LoRa que denotado aqui de concentrador, pois nele havia a responsabilidade por receber sinais de outros hidrômetros, dado que a solução arquitetada é escalável para vários pontos de coleta.

No entanto, neste trabalho o protótipo foi limitado a apenas um ponto de coleta. Assim, o concentrador iria comunicar-se via internet com o IBM Watson IoT que iria receber os dados e processá-los para que sejam exibidos de forma amigável.

Figura 4 – Arquitetura geral do sistema de monitoramento proposto



Fonte: Autor.

Tabela 4 – Materiais e custo de aquisição

Equipamento	Quantidade	Características	Total
Hidrômetro digital	1	Possui capacidade de leitura de volume de fluxo e interface de comunicação	R\$ 1.150,00
Módulo LoRa com ESP32 V2 Heltec	2	Microcontrolador ESP32 com módulo LoRa integrado	R\$ 300,00

Fonte: Autor.

4.2 Hidrômetro usado na experiência

O hidrômetro utilizado modelo Hydrus versão 1.3 realizou a medição de vazão utilizando o princípio ultrassônico e possui várias interfaces de comunicação disponíveis: óptica, rádio 434 MHz, M-Bus e pulso. Para o projeto, optou-se pela leitura de pulso por estar disponível de forma direta do tipo coletor aberto sem a necessidade de sensores adicionais, tornando o projeto menos oneroso.

De acordo com o manual do Medidor Ultrassônico *Hydrus*, o gráfico de pulsos do hidrômetro Hydrus 1.3 representa a quantidade de água medida ao longo do tempo. Cada pulso gerado pelo hidrômetro indica um volume específico de água, normalmente em litros. No caso do Hydrus, com uma interface de pulso de coletor aberto, os pulsos são transmitidos como sinais elétricos que podem ser facilmente interpretados por sistemas de monitoramento.

Cada transição de 0 para 1 no gráfico indica um pulso gerado, correspondente a um volume de água medido. O volume pode ser configurado no próprio hidrômetro onde cada pulso indica volumes de 0,1, 10, 19, 100, litros. A tabela 5 contém as características gerais da interface de pulso do Hidrômetro utilizado

Tabela 5 – Características da Saída de Pulso

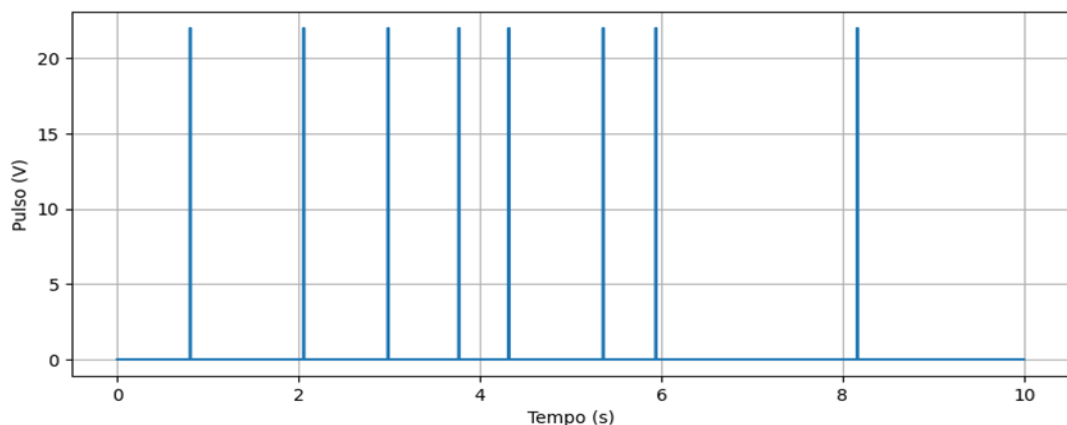
Características da Saída de Pulso	
Frequência Máxima (Hz)	10
V_{in} - Tensão Máxima de Entrada (V)	24
Corrente de entrada (mA)	27
V_{drop} - Queda Máxima de Tensão na Saída Ativa (V/mA)	02/27
Duração mínima do pulso (ms)	250 (operando em 4 Hz)

Fonte: Autor.

Sendo a queda máxima de tensão na saída ativa de (V/mA - 02/27), isso significa que a queda de tensão na saída ativa é de 2V para 27 mA de corrente, dessa forma, a tensão de saída pode ser calculada como $V_{out} = V_{in} - V_{drop}$ onde V_{in} é 24 V e V_{drop} é 2 V, desse modo, $V_{out} = 24 - 2 = 22V$.

Na Figura 5, há um exemplo construído a partir das especificações contidas no Manual do Medidor Ultrassônico Hydrus que mostra um trem de pulsos representando a saída da interface de pulsos do hidrômetro.

Figura 5 – Saída da Interface de Pulsos do Hidrômetro Hydrus 1.3

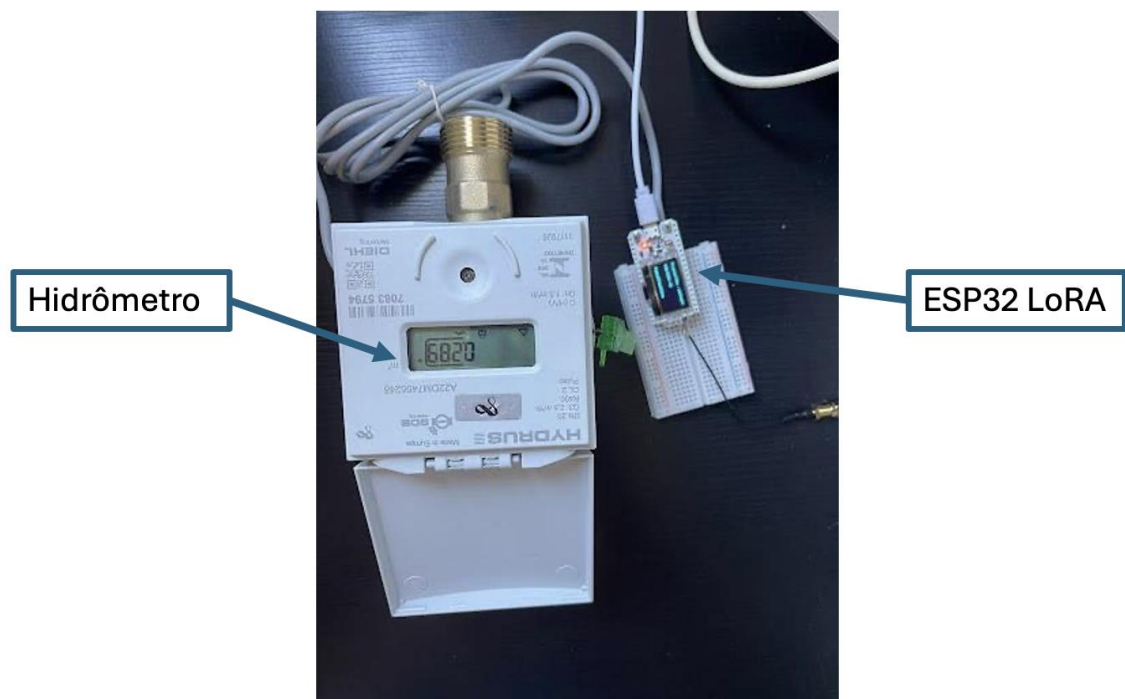


Fonte: Autor

Em relação à alimentação, o hidrômetro Hydrus 1.3 utiliza duas baterias de Lítio que permitem um funcionamento por mais de 20 anos sem a necessidade de troca.

Para o protótipo, será realizada uma medição por segundo da vazão lida pelo hidrômetro. Na figura 6 é apresentada uma parte do protótipo desenvolvido para o sistema de monitoramento montado em uma bancada, sem conexão com a rede de distribuição de água. Em outro local distante 200 metros foi montado o sistema com o concentrador. A distância teórica de transmissão em condições ideais é de até 5 km.

Figura 6 - Parte do protótipo em bancada - pré instalação

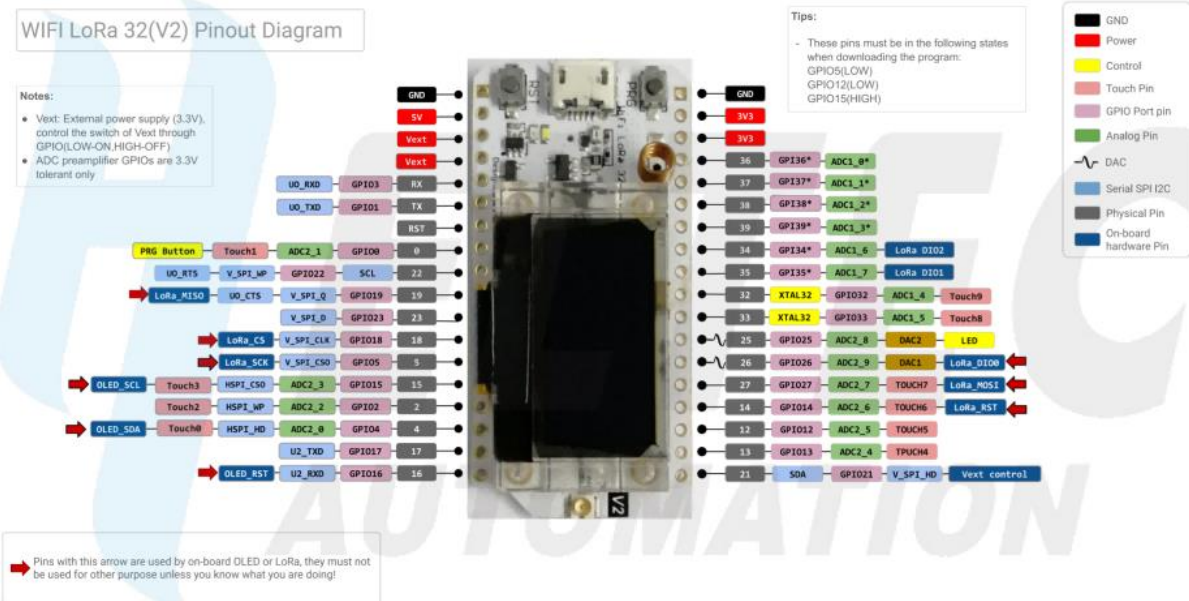


Fonte: Autor.

4.3 ESP32 LoRa

O ESP32 LoRa V2 Heltec com Display OLED, Bluetooth e Wi-Fi é um módulo microcontrolado com capacidade de conexão a uma rede de comunicação a distância LoRa 863 a 928 MHz. Este módulo é capaz de disponibilizar um circuito de gerenciamento de carga e descarga de baterias de 3,7V até 1000 mAh. O módulo ESP LoRa tem um baixo consumo de energia, por exemplo, quando conectada a uma bateria de lítio e em modo *deep sleep*, o consumo pode cair até 15 μ A, se tornando uma excelente opção para equipamentos que ficaram anos sem manutenção da bateria. A Figura 7 ilustra a função de cada pino do dispositivo.

Figura 7 – Pinagem do ESP 32-LoRa IoT



Fonte: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32v2/#Description>

A placa também possui um display OLED 0.96" com resolução 128x64 ideal para desenvolvimento de projetos para mostrar informações em tempo real ao usuário, no projeto os displays estão sendo utilizados apenas para verificação do funcionamento do dispositivo.

4.4 IBM Watson IoT Platform

A plataforma Watson é uma tecnologia destinada aos serviços cognitivos da IBM, otimizando negócios de várias empresas. Dessa forma, essa plataforma é responsável pela inovação no gerenciamento de ativos por meio do controle, conectividade, visualização e armazenamento de dados (Braga *et al.*, 2020).

O IBM Watson IoT Platform é um serviço hospedado em nuvem totalmente gerenciado que fornece recursos de gerenciamento de dispositivos, bem como coleta e gerenciamento de dados em um formato de série temporal. Sua escolha proporcionaria várias opções de aplicativos IoT como serviços de armazenamento, regras, serviços de análise, análise de fluxo, aprendizado de máquina, visualização e aplicativos de usuário (Web ou móvel).

Para o projeto, foi utilizada a versão gratuita que permitiria o gerenciamento de até 500 dispositivos, fluxo de dados de até 200 MB por mês, 10 dispositivos conectados por segundo, 128 e KB por mensagem.

4.5 Apresentação dos dados

Utilizando o IBM Watson IoT, foi desenvolvida uma interface para visualização dos dados de projeto referentes ao consumo instantâneo e consumo ao longo do tempo a qual está demonstrada na Figura 8, a ferramenta possui uma interface de comunicação com o ESP32 LoRa. Os dados são recebidos e em seguida são exibidos. São apresentados dados de consumo instantâneo e dados de consumo temporal simulados aleatoriamente que são informações importantes para o monitoramento pretendido.

Figura 8 – Visualização dos Dados de Projeto com *IBM Watson IoT*



Fonte: Autor.

5 RESULTADOS

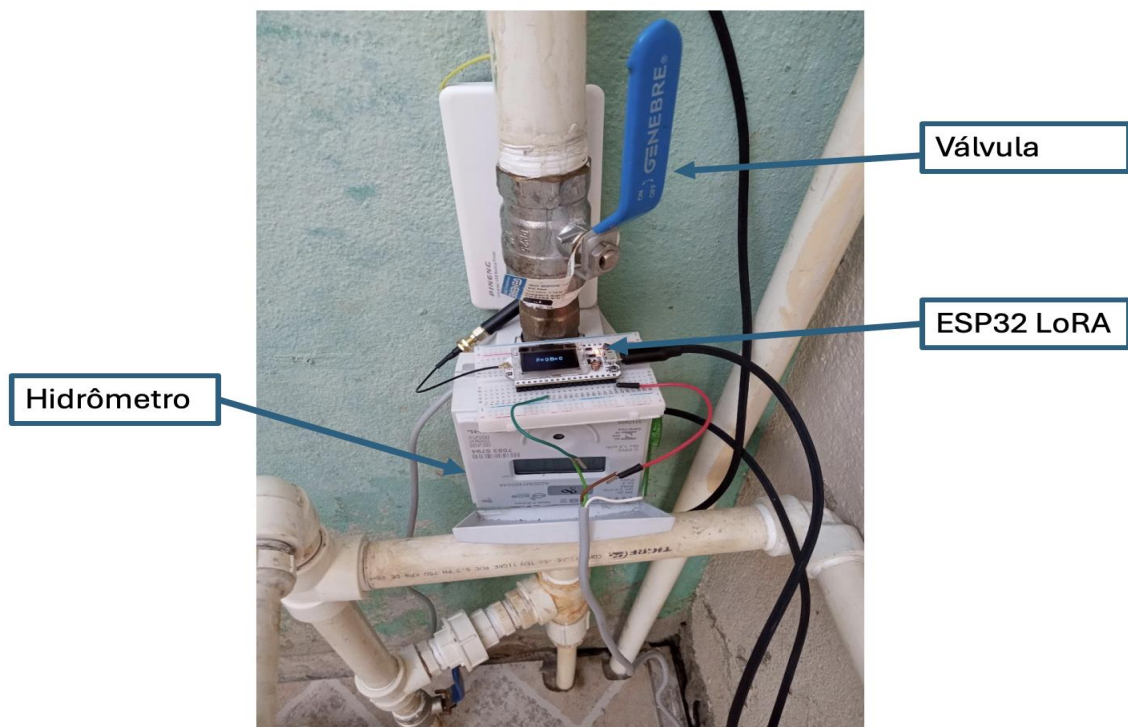
Este capítulo será destinado para análise e discussão dos resultados obtidos.

5.1 Implementação do protótipo

A figura 9 representa um protótipo do sistema de monitoramento de vazão de água baseado em MQTT e Node-RED apresentado aqui neste trabalho, no qual um hidrômetro Hydrus versão 1.3 está conectado a um módulo ESP32 LoRa Wi-Fi versão fabricante Heltech para publicar os dados do medidor digital de água, que se comporta como um sensor de vazão, para um Broker MQTT. A razão da escolha para a conexão estar neste cenário (Node-RED) e MQTT é descrita no item 5.1.1. A razão da escolha para a conexão estar neste cenário (Node-RED) e MQTT é descrita no item 5.1.1.

O cenário de testes escolhido foi uma residência situada à Avenida Teresa Maciel Tavares, número 621 no bairro do Muca na cidade de Macapá. A razão da escolha deste local se deu em função da quantidade de moradores ser de 07 (sete) pessoas, o local possuir rede Wi-Fi com qualidade adequada, além do que o sistema de abastecimento de água ser isolado e, portanto, semelhante ao da comunidade de Curralinho. O protótipo foi instalado na saída do reservatório da água para a distribuição do líquido por todas as partes hidráulicas da residência.

Figura 9 – Protótipo do sistema de monitoramento de vazão de água instalado



Fonte: Autor.

5.1.1 Resultado da Implementação IBM's Watson IoT

A escolha da plataforma IBM 's Watson IoT se deu, além da gratuidade inicial da hospedagem, também pela capacidade de analisar dados e possibilidade de criação. Porém, o resultado da implementação não obteve sucesso.

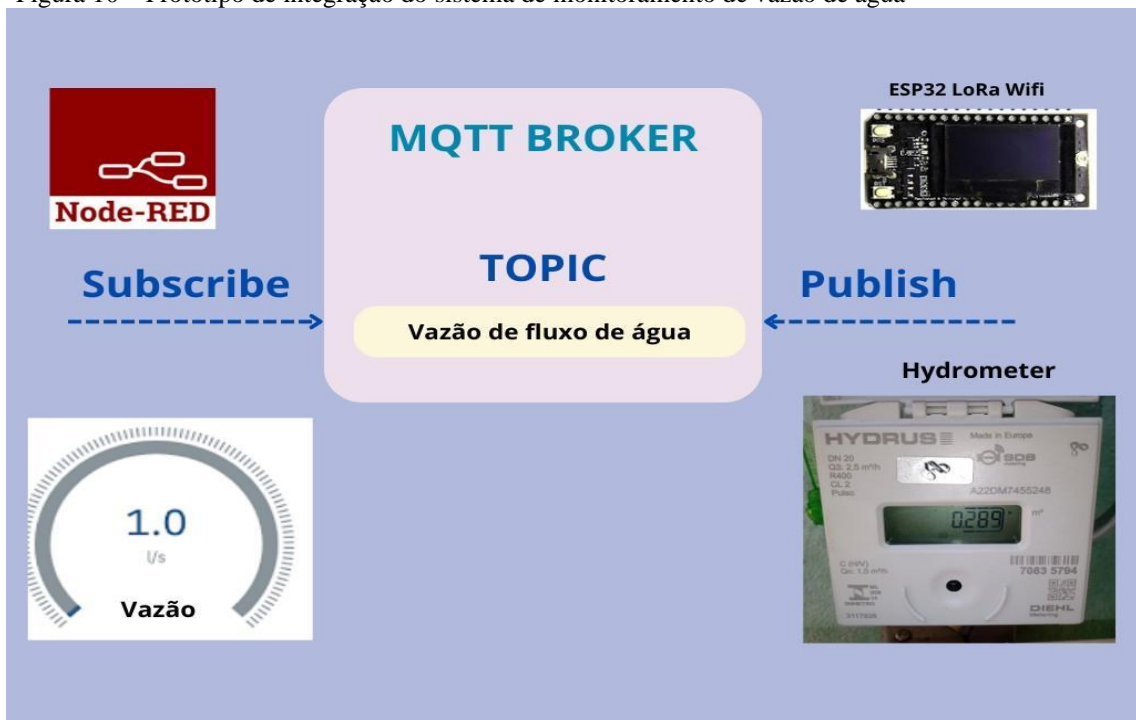
5.1.2 Resultado da Implementação Microsoft Azure

Após a inviabilidade da implementação da plataforma IBM's Watson IoT, tentou-se contratação de hospedagem via plataforma Microsoft Azure, porém, o resultado deste cenário também não se atingiu sucesso.

5.1.3 Integração *Node-RED* e *MQTT*

Considerando o insucesso nos resultados das implementões tanto da IBM's Watson IoT e Microsoft Azure conforme itens 5.1.1 e 5.1.2, buscou-se encontrar uma solução que contemplasse concomitante gratuidade, análise de dados e criação de *dashboards*. Os trabalhos de Chanthakit; Rattanapoka (2018) e Macheso *et al.* (2021), referendaram a decisão tomada à escolha pela integração do protocolo MQTT com a ferramenta visual de análise de dados e criação de *dashboards Node-RED*. A Figura 10 ilustra a integração.

Figura 10 – Protótipo de integração do sistema de monitoramento de vazão de água



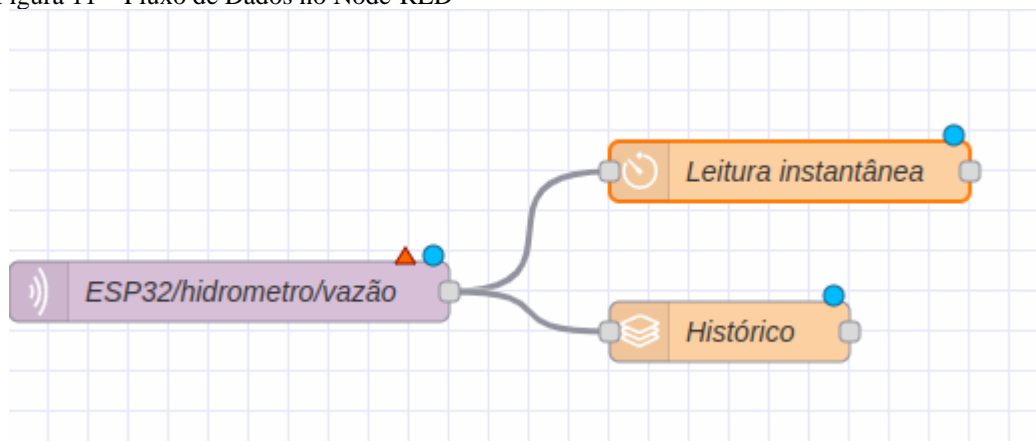
Fonte: Autor.

A partir da proposta de integração descrita na Figura 10, o próximo passo foi configurar a integração de cada elemento presente no protótipo conforme itens subsequentes.

5.1.4 O fluxo de dados NODE-RED

Considerando a *Node-RED* ser uma ferramenta de automação visual de análise de dados e criação de dashboard que possibilita a criação de fluxos de dados conectando diversos dispositivos, APIs e serviços, seguiu-se o procedimento de identificar os componentes básicos do sistema, que são o módulo ESP32 LoRa Wi-Fi v2, o hidrômetro e a *dashboard* para posterior configuração dos nodes e implantação, conforme a figura 11. A Node-RED é uma ferramenta também autoinstrutiva e pode ser acessada gratuitamente no site: www.node-red.org. A Figura 11 ilustra a simplicidade na construção do fluxo de dados utilizando a ferramenta *Node-RED*.

Figura 11 – Fluxo de Dados no Node-RED



Fonte: Autor.

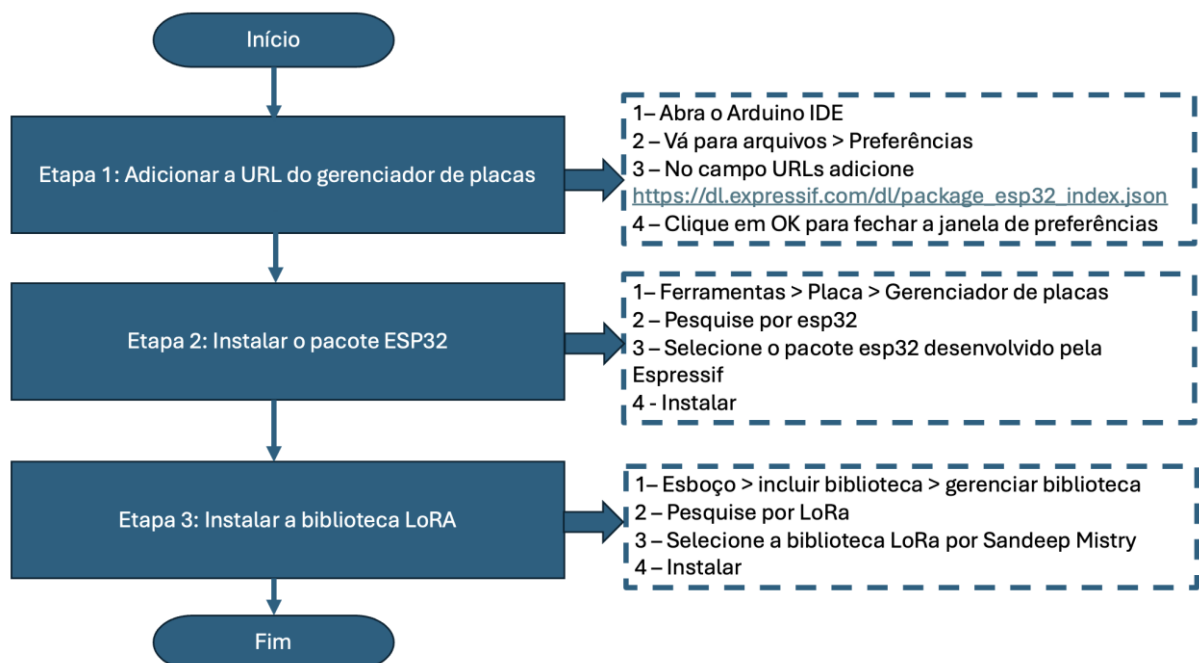
5.1.5 Carregando os módulos ESP 32 WI-FI LORA V2

O ESP 32 pode ser programado por várias formas, com destaque para a forma completa via SDK Oficial da Espressif Systems, em linguagem C (Bertoleti, 2019). O carregamento dos módulos ESP 32 Wifi LoRa v2 foi seguido conforme a orientação do manual do fabricante. No presente trabalho foi utilizada a linguagem C do Arduíno IDE e a configuração seguiu os passos segundo as instruções da plataforma (mais informações podem ser encontradas no site: www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/resources). Os scripts relacionados à implementação da configuração de carregamento do ESP 32 Wifi LoRa v2 estão disponíveis no Apêndice A deste documento de dissertação.

Este fluxograma da Figura 12 mostra os passos que foram necessários para configurar o Arduino IDE para ESP32. As etapas são divididas em três partes correspondentes a primeira fase:

- Etapa 1: Consistiu em adicionar a URL do gerenciador de placas para que o Arduino IDE possa encontrar o pacote ESP32.
- Etapa 2: Constituiu em instalar o pacote ESP32, o qual fornece suporte para as placas ESP32.
- Etapa 3: Compreendeu instalar a biblioteca LoRa, a qual é necessária para usar o protocolo LoRa com o ESP32.

Figura 12 – Fluxograma de etapa configuração da linguagem Arduino IDE para ESP32



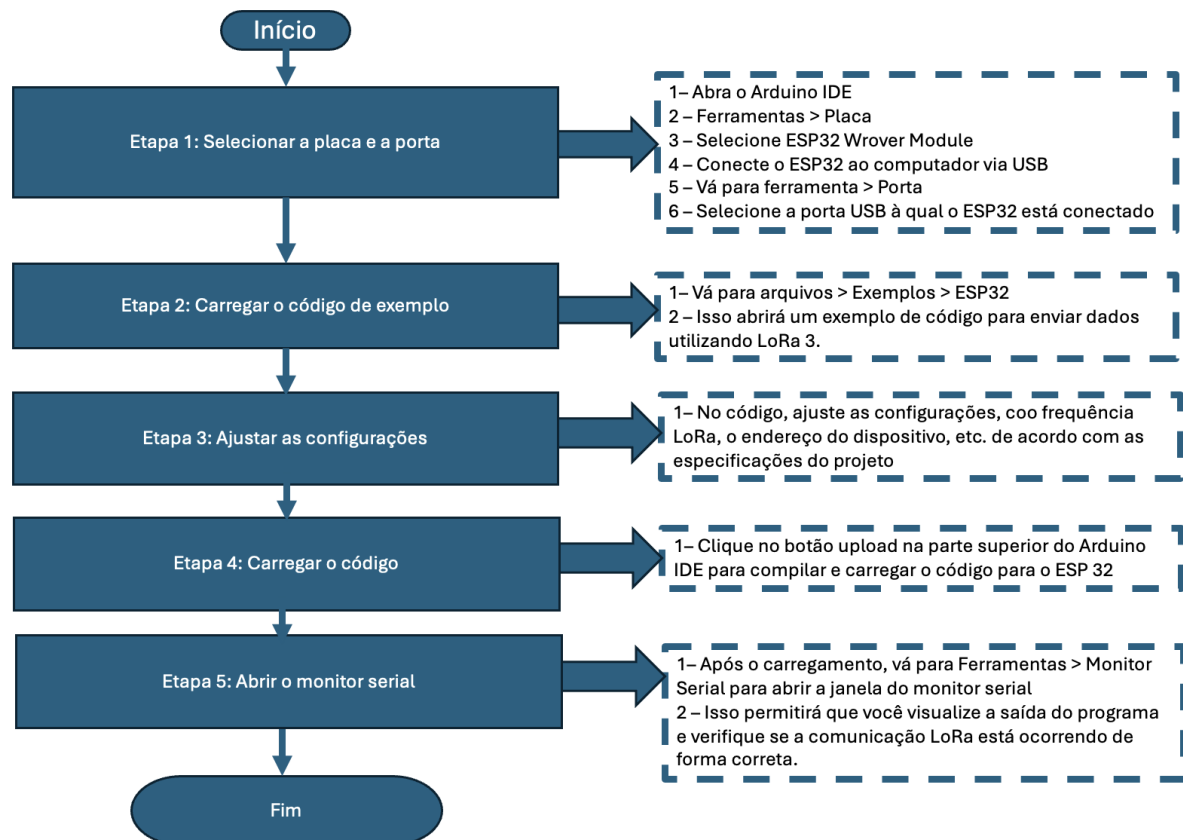
Fonte: Autor.

A segunda fase apresentou-se em programar o ESP 32 Wi-Fi LoRa v2, onde é sequenciada pelo fluxograma da Figura 13. Este fluxograma mostra os passos necessários que foram usados para programar o ESP 32 Wi-Fi LoRa v2. As etapas são divididas em cinco fases. Os scripts relacionados à implementação da configuração de programação do ESP 32 Wifi LoRa v2 estão disponíveis no Apêndice A deste documento de dissertação.

- Etapa 1: Abrangeu selecionar a placa e a porta para que o Arduino IDE ‘entenda’ qual hardware está sendo usado.
- Etapa 2: Abarcou integrar e carregar o código de exemplo para enviar dados usando a comunicação LoRa.

- Etapa 3: Consta em ajustar as configurações do código para atender às necessidades do projeto.
- Etapa 4: Correspondeu em carregar o código para o ESP32.
- Etapa 5: Concluiu com a abertura do monitor serial para visualizar a saída do programa e verificar se a comunicação LoRa estava ocorrendo conforme o esperado.

Figura 13 – Fluxograma da etapa de programação do ESP 32 Wi-Fi LoRa v2



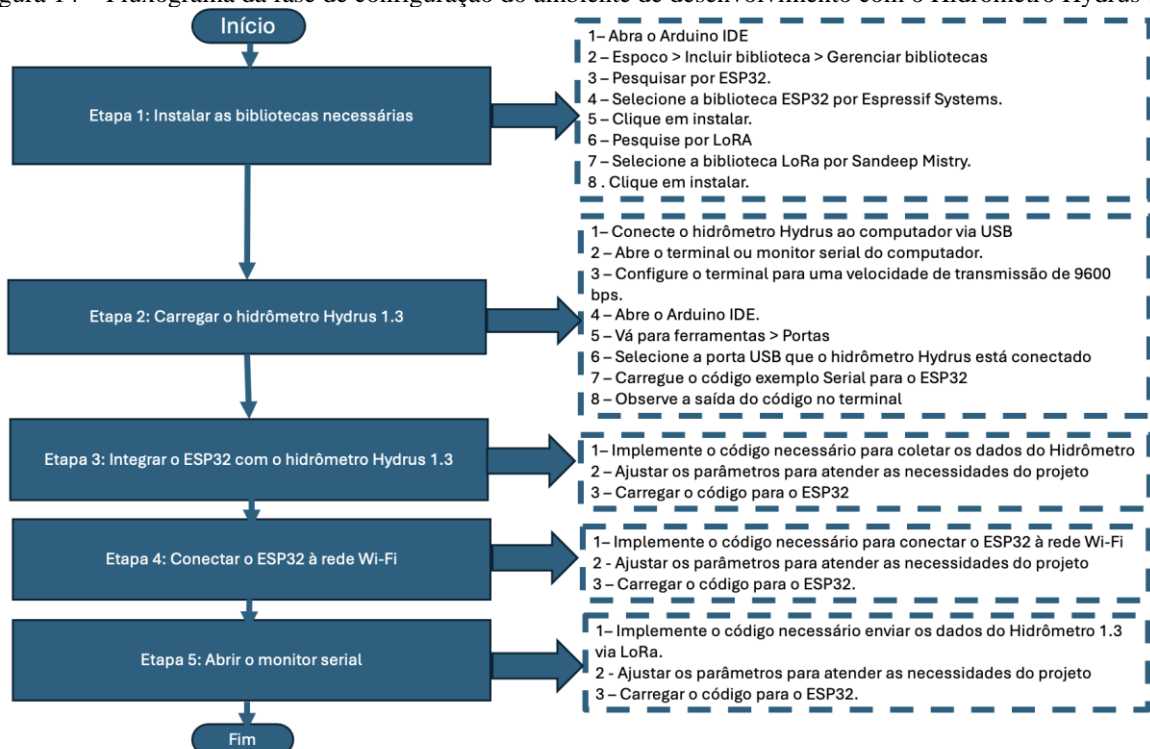
Fonte: Autor.

5.1.6 Integrando com os módulos ESP 32 WI-FI LORA V2 com a rede WI-FI provedora e o hidrômetro HYDRUS 1.3

Esta integração é a terceira fase e mostra os passos que foram necessários para configurar o ambiente de desenvolvimento para o projeto com o uso do hidrômetro. As etapas são divididas em cinco partes mostradas na Figura 14. Os scripts relacionados à implementação da configuração do ambiente de desenvolvimento do ESP 32 WiFi LoRa v2 estão disponíveis no Apêndice A deste documento de dissertação.

- Etapa 1: Relacionada à instalação das bibliotecas necessárias para o ESP 32 e à comunicação LoRa.
- Etapa 2: Associada à conexão do hidrômetro Hydrus 1.3 ao computador e verificação se a comunicação serial estaria funcionando.
- Etapa 3: Correspondente á implementação do código necessário para coletar os dados do hidrômetro Hydrus 1.3.
- Etapa 4: Equivalente à implementação do código necessário para conectar o ESP 32 à rede Wi-Fi.
- Etapa 5: Compatível à implementação do código necessário para enviar os dados do hidrômetro Hydrus 1.3 via canal de comunicação LoRa. Nesta etapa 5, desenvolveu-se um código para o ESP32 capaz de coletar os dados do hidrômetro Hydrus 1.3 (no caso deste protótipo, leitura de vazão) e tentou-se enviá-los via LoRa para uma estação base ou gateway (no caso deste protótipo um computador). O resultado deste cenário foi NOK.

Figura 14 – Fluxograma da fase de configuração do ambiente de desenvolvimento com o Hidrômetro Hydrus 1.3



Fonte: Autor.

5.2 Simulando os dados da leitura do hidrômetro HYDRUS 1.3 com o módulo ESP 32 WI-FI LORA V2 integrado ao MQTT e NODE-RED

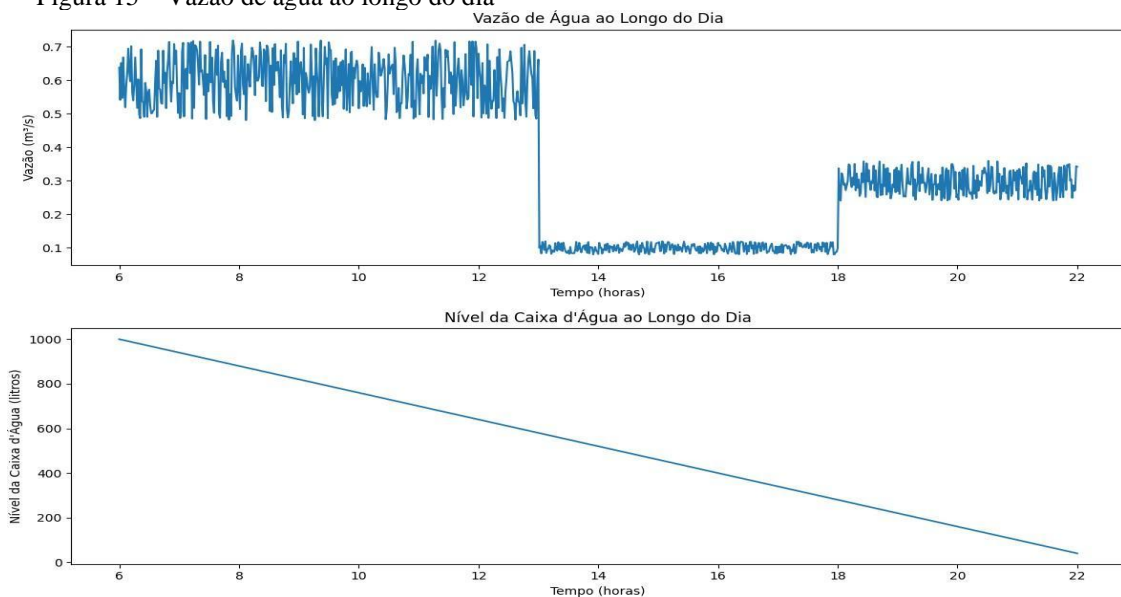
Considerando o resultado de insucesso no cenário de teste MQTT/Node-RED + Hidrômetro Hydrus 1.3, decidiu-se inicialmente simular os dados da leitura visual do hidrômetro.

A arquitetura do sistema englobou dois módulos ESP 32 *Wi-Fi LoRa v2* fabricante *Heltec* que estabeleceram uma comunicação por meio de um canal de rede LoRa. O primeiro desses módulos, denominado emissor, desempenhou uma função fundamental ao simular a geração de pulsos, representando o consumo de água da residência descrita no capítulo 5.

Para proporcionar uma visualização abrangente dos dados, foi desenvolvido um *dashboard* (painel) intuitivo utilizando o *Node-RED* conforme mostrado na Figura 16. Vale ressaltar que a ferramenta *Node-RED* pode ser executada em um servidor, permitindo assim que os dados possam ser acessados de qualquer dispositivo com acesso à Internet. O script que implementa o dashboard no Node-RED está disponível no Apêndice B deste documento.

Portanto, essa arquitetura aprimorada com a integração MQTT/Node-RED potencializa-se numa ferramenta diferencial aplicável à gestão consciente e sustentável dos recursos hídricos em ambientes residenciais e principalmente na comunidade escolhida para a implementação deste projeto.

Figura 15 – Vazão de água ao longo do dia



Fonte: Autor.

Figura 16 – Dashboard do consumo de água e vazão de água ao longo do dia



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÕES

O objetivo desta dissertação foi propor a implementação de um sistema de monitoramento de vazão de água utilizando tecnologia LoRa. Um protótipo utilizando um medidor de vazão digital integrado a um módulo de hardware ESP32 LoRa Wi-Fi foi implementado, no entanto, devido problemas de leitura dos dados do hidrômetro digital, optou-se pela simulação dos dados de vazão.

À luz das pesquisas correlatas apresentadas no capítulo 2, este trabalho contribui com o uso inovador da tecnologia de comunicação LoRa que permite a transmissão de dados de vazão de água de um hidrômetro, superando limitações de conectividade. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de um painel interativo na ferramenta Node-RED para monitorar e visualizar esses dados em tempo real, melhorando a gestão e a compreensão das informações coletadas.

A pesquisa também apresenta a análise de recentes desenvolvimentos e modelagem de hidrômetros, com aplicações em sistema de monitoramento de vazamento e consumo de água. Nesses trabalhos, observou-se a ausência de conceitos e integração de plataformas e ferramentas de Internet das Coisas (IoT) como a *MQTT* e *Node-RED* e plataformas de armazenamento em nuvem, o que também estimulou a contribuição do presente trabalho.

O protótipo foi desenvolvido para operar em um único ponto de coleta. Dessa forma, o concentrador se comunica via protocolo MQTT com *dashboard* desenvolvido com o Node-RED, que recebe e processa os dados, exibindo-os de forma amigável. Para este projeto, optou-se pela leitura de pulso do hidrômetro, pois está disponível de forma direta do tipo coletor aberto, sem a necessidade de sensores adicionais, tornando o projeto mais econômico.

Foram apresentados os resultados obtidos com a implementação do protótipo em uma residência com sete moradores, com rede *Wi-Fi* de qualidade adequada e sistema isolado de abastecimento de água (poço artesiano), portanto num cenário semelhante ao de uma comunidade isolada.

Considerando que a parte correspondente à interface serial do hidrômetro ficou prejudicada por falha de fábrica, decidiu-se simular num primeiro momento os dados a partir da leitura visual do hidrômetro.

Essa primeira simulação gerou dois gráficos onde o primeiro gráfico mostrou que a taxa de vazão matinal representa 60% do consumo diário, seguida por uma redução de 60%, à tarde e um aumento de 10%, à noite, com variações aleatórias para simular flutuações. O segundo gráfico correlacionou o consumo com o nível do reservatório, proporcionando insights valiosos para a gestão eficiente de recursos hídricos.

Uma segunda simulação foi realizada entre 6:00 e 21:30, com pulsos de 10 litros gerados aleatoriamente, exceto entre 13:15 e 18:00, refletindo baixo consumo. Esses pulsos foram convertidos em metros cúbicos por segundo e transmitidos via LoRa ao módulo receptor ESP32 LoRa, que enviou os dados pelo protocolo MQTT.

Desse modo, apesar da impossibilidade de integração do hidrômetro constatada na etapa 5 do item 5.1.6, foi implementada com êxito a integração de tecnologias de hardware ESP 32 LoRa Wi-Fi v2 com protocolo de comunicação MQTT associada à ferramenta de análise de dados e criação de dashboard Node-RED.

O ESP32 se consolidou como uma solução mais compacta e barata em relação ao uso de módulos separados integrados como Arduíno somado ao módulo LoRa e ao módulo Wi-Fi. Essa integração facilitou a simulação do sistema mesmo com a ausência do hidrômetro.

O sistema, a partir de melhorias tanto de software quanto de hardware, potencializa-se em se transformar numa importante ferramenta de controle social na fiscalização das concessionárias quanto às leituras transparentes do consumo de água, a partir da continuidade deste relevante projeto.

6.1 Contribuições da dissertação

O Presente trabalho tem como contribuições:

Um sistema de monitoramento remoto da vazão de água utilizado comunicação LoRa integrada a tecnologia *IoT*, de modo a ser aplicado à posteriori em comunidades isoladas, ambiente típico de várias comunidades da Amazônia.

Disponibilização de scripts de integração da solução.

Estimular o uso da aplicação de ferramentas gráficas de análise de dados e criação de *dashboard* de uso simples como a Node-RED integrada ao protocolo de comunicação MQTT.

Oferecer um horizonte para que a academia possa produzir mais soluções economicamente viáveis a partir do uso de *hardwares* compactos como o ESP32 LoRa em monitoramentos de qualidade da água e, posteriormente, em trabalhos futuros, auxiliar a população a fiscalizar não apenas seu próprio consumo de água, mas também ajudar a monitorar a prestação do serviço pelas concessionárias.

6.1.1 Futuros Trabalhos

Os próximos trabalhos podem ser elencados conforme abaixo: Implementação do protótipo do Sistema de Monitoramento de Vazão de Água na Comunidade de Curralinho em Macapá-AP.

Implementação de um sistema de alerta que notificaria automaticamente os usuários em casos de consumo excessivo, permitindo a pronta identificação de possíveis vazamentos ou desperdícios. Essa funcionalidade adicionada reforçaria a capacidade do sistema em não apenas monitorar, mas também reagir proativamente a situações anômalas.

Viabilização de outras análises da qualidade da água no próprio protótipo em questão como turbidez, pH, etc. Executar testes de uma proposta de hidrômetro inteligente (*Smart Hydrometer*) de arquitetura aberta e de baixo custo incorporando todos os elementos do protótipo para que posteriormente seja apresentada ao Instituto de Metrologia (INMETRO) e Agência Reguladora (Agência Nacional das Águas – ANA) como sugestão de uso por parte do consumidor na fiscalização de seu consumo.

6.1.2 Publicações do Autor

No período acadêmico foram publicados como primeiro autor os seguintes trabalhos:

- Título: “Projeto de um Sistema de Monitoramento de Vazão de Água Utilizando Redes LoRa em Comunidades Isoladas da Amazônia”. Apresentado durante o 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado em Belo Horizonte-MG, no período de 21 a 24 de maio de 2023 (Castro; Costa; Silva, 2023b).
- Título: "Projeto de um Sistema de Monitoramento de Vazão de Água Utilizando Redes LoRa em Comunidades Isoladas da Amazônia ". Apresentado no Capítulo 4 do Livro E-Book intitulado "Fundamentos da engenharia sanitária e ambiental"5a Edição - Volume 5 - Ano 2023 (Castro; Costa; Silva; Macedo, 2023a).
- Título: “Projeto de um Sistema de Monitoramento de vazão de água utilizando redes LoRa em comunidades isoladas”. Apresentado durante XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, realizado em Aracaju-SE, no período de 19 a 24 de novembro de 2023 (Castro; Costa; Silva; Macedo, 2023).

REFERÊNCIAS

- 2030 **Water Resources Group**. [S.l.:s.n], 2009. Disponível em: <https://planet-water.org/>. Acesso em: 03 out.2023.
- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE communications surveys & tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
- ALLIANCE, L. **Lorawan regional parameters**. [S.l.:s.n], 2021.
- ALMUHAYA, M. A. et al. A survey on lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions. **Electronics, MDPI**, v. 11, n. 1, p. 164, 2022.
- BAKER, R. C. **Flow Measurement Handbook Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications**: industrial designs, operating principles, performance, and applications. [S.l.]: Cambridge University Press, 2016.
- BARBOSA, C. R. H. **Projeto de hidrômetro baseado em um sensor resistivo de filme fino para medição de consumo de água em unidades autônomas**. 2022. 185f. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2022.
- BARROS, T. G. F. et al. The anatomy of iot platforms—a systematic multivocal mapping study. **IEEE Access, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**, v. 10, p. 72758–72772, 2022.
- BAYILMIS, C. et al. Survey on communication protocols and performance evaluations for internet of things. **Digital Communications and Networks, Elsevier**, v. 8, n. 6, p. 1094–1104, 2022.
- BERTO, R.; NAPOLETANO, P.; SAVI, M. A lora-based mesh network for peer-to-peer long-range communication. **Sensors, MDPI**, v. 21, n. 13, p. 4314, 2021.
- BERTOLETTI, P. **Projetos com ESP 32 e LoRa**. [S.l.]: Instituto Newton C. Braga - NCB, 2019.
- BONAVENTURE, O. et al. **Computer Networking: principles, protocols and practice**. [S.l.]: Saylor foundation Washington, 2011.
- BRAGA, L. M. et al. **Plataforma watson para internet das coisas**. Passo Fundo:EdUPF, 2020.
- BRASIL. Organização das Nações Unidas - Brasil. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: ONU Brasil, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/publicacoes>. Acesso em: 03 out.2023.

CARVALHO, W. da S.; JUNHO, R. d. B. C. Monitoramento de vazamentos em um modelo de tubulação de escala reduzida para controle do fluxo de água. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 1, 2022.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos-3**. [S.l.]: Amgh, 2015.

CHANTHAKIT, S.; RATTANAPOKA, C. Mqtt based air quality monitoring system using node mcu and node-red. *In: Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.

CHEN, S.-T. et al. Design and development of a LoRa based Water Quality Monitoring System. *In: International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*. [S.l.]: IEEE, 2021.

CRAINIC, M. S. A short history of residential water meters part i: Mechanical water meters with moving parts. *In: Installation for Buildings and Ambiental Comfort Conference*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 27–35.

CRAINIC, M. S. A short history of residential water meters part ii: Water meters with no moving parts. *In: Installation for Buildings and Ambiental Comfort Conference*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 36–43.

CUSTÓDIO, C. A. G. **O saneamento básico e a internet das coisas**: os díspares avanços na cidade de São Paulo. 2022. 148F. Dissertação (Mestrado) - Programa de Estudos Pós-Graduados em Tecnologias da Inteligência e Design Digital. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucsp.br/jspui/handle/handle/26095>. Acesso em: 15 out. 2023.

ESPRESSIF SYSTEM. **Página inicial da Espressif System**. [S.l.]: Espressif System, 2023. Disponível em: www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/resources Acesso em: 12 dez. 2023.

FERENCZ, K.; DOMOKOS, J. Using node-red platform in an industrial environment. **XXXV. Jubileumi Kandó Konferencia**, Budapest, p. 52–63, 2019.

FORTINO, G. et al. Iot platforms and security: An analysis of the leading industrial/commercial solutions. **Sensors, MDPI AG**, v. 22, n. 6, p. 2196, mar. 2022.

FOUBERT, B.; MITTON, N. Long-range wireless radio technologies: a survey. **Future internet, MDPI**, v. 12, n. 1, p. 13, 2020.

HELTEC AUTOMATION. Pinagem do ESP 32-LoRa IoT. **Heltec Automation**, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32v2/#Description>. Acesso em: 03 out.2023.

HIDRUS. **Manual do Medidor Ultrassônico Hydrus**. [S.l.]: Hidrus, 2023. Disponível em: <https://www.hidrometer.com.br/> Acesso em: 11 jul.2023.

HILLAR, G. C. **MQTT Essentials**: a lightweight iot protocol. [S.l.]: Packt Publishing, 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento**. [S.l.]: Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 15 jul.2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>. Acesso em: 15 dez. 2023.

JANSSEN, T. et al. Lora 2.4 GHz communication link and range. **Sensors, MDPI**, v. 20, n. 16, p. 4366, 2020.

LI, X. J.; CHONG, P. H. J. Design and implementation of a self-powered smart water meter. **Sensors, MDPI**, v. 19, n. 19, p. 4177, 2019.

LOUKIL, S. et al. Analysis of lorawan 1.0 and 1.1 protocols security mechanisms. **Sensors, MDPI**, v. 22, n. 10, p. 3717, 2022.

MACHADO, Artur Andrade. **Desenvolvimento de Controles Fuzzy Adaptativos em Tempo Real para Otimização do Canal LoRa Utilizando 915 MHz em Situações de Mobilidade**. 2023. 106f. Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

MACHESO, P. S. et al. Industrial temperature monitor based on nodemcu esp8266, mqtt and node-red. *In: International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*. [S.l:s.n], 2021. p. 740–743.

MARQUES, G.; PITARMA, R. Environmental quality supervision for enhanced living environments and laboratory activity support using IBM watson internet of things platform. *In: Lecture Notes in Computer Science*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. p. 680–691.

MOJAMED, M. A. On the use of lorawan for mobile internet of things: the impact of mobility. **Applied System Innovation, MDPI**, v. 5, n. 1, p. 5, 2021.

MURPHY, K. *et al.* A low-cost autonomous optical sensor for water quality monitoring. **Talanta, Elsevier BV**, v. 132, p. 520–527, jan.2015.

NODE-RED. **Página inicial da Node-RED**. [S.l.]: Node – Red, 2023. Disponível em: www.node-red.org . Acesso em: 12 set. 2023.

OGBODO, E. U.; ABU-MAHFOUZ, A. M.; KURIEN, A. M. A survey on 5g and lpwan-iot for improved smart cities and remote area applications: from the aspect of architecture and security. **Sensors, MDPI**, v. 22, n. 16, p. 6313, 2022.

OLATINWO, D. D.; ABU-MAHFOUZ, A.; HANCKE, G. A survey on lpwan technologies in wban for remote health-care monitoring. **Sensors, MDPI**, v. 19, n. 23, p. 5268, 2019.

OLIVEIRA, A. H. D.; SOUZA, I. H. D.; DE, F. C. **Desenvolvimento de um hidrômetro digital para a classe residencial com comunicação remota de longo alcance**. [S.l:s.n], 2021.

ONER, V. O. **Developing IoT Projects with ESP32: automate your home or business with inexpensive wi-fi devices.** [S.l.]: Packt Publishing, Limited, 2021. ISBN 9781838641160.

PASIKA, S.; GANDLA, S. T. Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. **Heliyon, Elsevier BV**, v. 6, n. 7, p. e04096, jul. 2020.

QUAMARA, M.; GUPTA, B. B.; YAMAGUCHI, S. Mqtt-driven remote temperature monitoring system for iot-based smart homes. *In: IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*. [S.l.:s.n], 2019. p. 968–970.

SANTOS, R. B. **Monitoramento de hidrômetro utilizando tecnologia LoRa para comunicação.** 2022. 158f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

SEMTECH. **LoRa® and LoRaWAN®: a technical overview.** [S.l.]: Semtech, 2020.

Disponível em:

https://loradevelopers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf. Acesso em: 03 out.2023.

SENEVIRATNE, Pradeeka. Introduction to LoRa and LoRaWAN. Beginning LoRa Radio Networks with Arduino. **Build Long Range, Low Power Wireless IoT Networks**, p. 1-22, 2019.

SHARMA, P.; PANDEY, I.; PRADHAN, P. M. Hardware implementation and comparison of iot data protocol for home automation application. *In: IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*. [S.l.], 2022. p. 1–6.

SILVEIRA, J. D. F. et al. A new low-cost LoRaWAN power switch for smart farm applications. *In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. [S.l.]: IEEE, 2021.

STALLINGS, William. **Network security essentials: applications and standards.** [S.l.]: Pearson, 2016.

STANKOVIC, M.; HASANBEIGI, A.; NEFTENOV, N. **Use of 4IR Technologies in Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean.** [S.l.:s.n], 2020.

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

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: EdPUC, 2006.

VENDEMIATTI, C. **Sistema remoto para monitoramento do consumo de água em tempo real.** São Paulo: EdUnesp, 2020.

APÊNDICE A

Scripts que executam as funções de emissor e receptor do ESP32 LoRa Wi-Fi v2.

Emissor:

```
#include <heltec.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
const int litrosPorPulso = 10; // Cada pulso representa 10 litros de água
```

```
const float fatorConversaoLitrosParaMetrosCubicos = 0.001; // 1 litro = 0.001 metros cúbicos
```

```
const int intervaloGeracaoConsumo = 5000; // Intervalo de geração de consumo em milissegundos (5 segundos)
```

```
unsigned long ultimoGeracaoConsumo = 0;
```

```
void sendPacket(float metrosCubicosConsumidos);
```

```
float gerarConsumoAleatorio();
```

```
float simularConsumoHorario();
```

```
void setup() {
```

```
  Heltec.begin(true /*Display Enable*/, true /*LoRa Enable*/, true /*Serial Enable*/,
  true /*PABOOST Enable*/);
```

```
  Heltec.display->init();
```

```
  Heltec.display->flipScreenVertically();
```

```
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
```

```
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_CENTER);
```

```
}
```

```
float gerarConsumoAleatorio() {
```

```
  // Gera um consumo aleatório entre 50 e 300 litros
```

```
  return random(50, 301) * fatorConversaoLitrosParaMetrosCubicos;
```

```
}
```

```
float simularConsumoHorario() {
```

```
  unsigned long tempoAtual = millis();
```

```

int hora = (tempoAtual / 3600000) % 24; // Obtém a hora atual em formato de 24 horas

// Simula o consumo de água com base no horário
if ((hora >= 6 && hora < 13) || (hora >= 17 && hora < 20)) {
    // Durante 06:00 AM - 13:00 PM e 17:00 PM - 20:00 PM
    return litrosPorPulso * fatorConversaoLitrosParaMetrosCubicos; // Simula um pulso de
consumo
} else {
    return 0; // Fora dos horários de consumo
}
}

void sendPacket(float metrosCubicosConsumidos) {
    Heltec.display->clear();
    Heltec.display->drawString(64, 20, "Enviando: " + String(metrosCubicosConsumidos, 4) + "
m^3");
    Heltec.display->display();

    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(String(metrosCubicosConsumidos, 4)); // Imprime com 4 casas decimais
    LoRa.endPacket();
}

void loop() {
    unsigned long tempoAtual = millis();

    // Verifica se é hora de gerar um novo valor de consumo e enviar os dados
    if (tempoAtual - ultimoGeracaoConsumo >= intervaloGeracaoConsumo) {
        float metrosCubicosConsumidos = gerarConsumoAleatorio() + simularConsumoHora+o();
        sendPacket(metrosCubicosConsumidos);

        // Atualiza o tempo da última geração de consumo
        ultimoGeracaoConsumo = tempoAtual;
    }
}

```

```
// Aqui você pode adicionar outras lógicas ou eventos relacionados ao seu sistema
// ...
```

```
delay(1000);}


```

Receptor:

```
#include <heltec.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include <PubSubClient.h>
```

```
const char* ssid = "122905VCT0";
```

```
const char* password = "51344459234";
```

```
const char* mqttServer = "broker.hivemq.com";
```

```
const int mqttPort = 1883; // Porta padrão para MQTT inseguro
```

```
//const char* mqttUser = "nomeusuario";
```

```
//const char* mqttPassword = "senhausuario";
```

```
WiFiClient wifiClient;
```

```
PubSubClient mqttClient(wifiClient);
```

```
void setup() {
```

```
  Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*LoRa Enable*/, true /*Serial Enable*/,
true /*PABOOST Enable*/);
```

```
  Heltec.display->init();
```

```
  Heltec.display->flipScreenVertically();
```

```
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
```

```
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_CENTER);
```

```
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```

    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
}
Serial.println("Connected to WiFi");

mqttClient.setServer(mqttServer, mqttPort);
mqttClient.setCallback(callback);
}

void loop() {
    if (!mqttClient.connected()) {
        Heltec.display->clear();
        Heltec.display->drawString(64, 20, "Tentando conectar...");
    Heltec.display->display();
        reconnectMQTT();
    }
    mqttClient.loop();

    int packetSize = LoRa.parsePacket();

    if (packetSize) {
        String receivedData = "";

        while (LoRa.available()) {
            receivedData += (char)LoRa.read();
            Heltec.display->clear();
            Heltec.display->drawString(64, 20, "Recebido: " + receivedData);
            Heltec.display->display();
        }
        publishData(receivedData);
    }
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {

```

```
// Aqui você pode implementar um código para lidar com mensagens MQTT recebidas (caso necessário)
```

```
}
```

```
void reconnectMQTT() {
```

```
  while (!mqttClient.connected()) {
```

```
    Serial.println("Connecting to MQTT...");
```

```
    if (mqttClient.connect("HeltecClient", "", "")) {
```

```
  } else {
```

```
    Heltec.display->clear();
```

```
    Heltec.display->drawString(64, 20, "MQTT connection failed");
```

```
    Heltec.display->display();
```

```
    delay(1000);
```

```
  }
```

```
}
```

```
Serial.println("Connected to MQTT");
```

```
  Heltec.display->clear();
```

```
  Heltec.display->drawString(64, 20, "MQTT ok");
```

```
  Heltec.display->display();
```

```
}
```

```
void publishData(String data) {
```

```
  String topic = "teste/numero"; // Substitua pelo tópico MQTT adequado
```

```
  mqttClient.publish(topic.c_str(), data.c_str());
```

```
}
```

APÊNDICE B

Script que implementa o dashboard no Node-RED.

```
[
  {
    "id": "c6fb22d62b7d2e1a",
    "type": "ui_chart",
    "z": "243e28b2950bd650",
    "name": "",
    "group": "d0a99dd354cdc6c5",
    "order": 0,
    "width": 0,
    "height": 0,
    "label": "chart",
    "chartType": "line",
    "legend": "false",
    "xformat": "HH:mm:ss",
    "interpolate": "linear",
    "nodata": "",
    "dot": false,
    "ymin": "",
    "ymax": "",
    "removeOlder": 1,
    "removeOlderPoints": "",
    "removeOlderUnit": "3600",
    "cutout": 0,
    "useOneColor": false,
    "useUTC": false,
    "colors": [
      "#1f77b4",
      "#aec7e8",
      "#ff7f0e",
      "#2ca02c",
      "#98df8a",
```



```
    "#d62728",
    "#ff9896",
    "#9467bd",
    "#c5b0d5"
  ],
  "outputs": 1,
  "useDifferentColor": false,
  "className": "",
  "x": 670,
  "y": 200,
  "wires": [
    []
  ]
},
{
  "id": "d0a99dd354cdc6c5",
  "type": "ui_group",
  "name": "Default",
  "tab": "66a4909e509e4036",
  "order": 3,
  "disp": true,
  "width": "6",
  "collapse": false,
  "className": ""
},
{
  "id": "66a4909e509e4036",
  "type": "ui_tab",
  "name": "Tab 1",
  "icon": "dashboard",
  "order": 1
}
]
```