

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

GESIANE FERREIRA LEAL

WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos

Maringá

2019

GESIANE FERREIRA LEAL

WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Linnyer Beatrys Ruiz Aylon

Maringá
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

L435w Leal, Gesiane Ferreira
WaterManna: A IoT na gestão de recursos hídricos
/ Gesiane Ferreira Leal. -- Maringá, 2019.
67 f.: il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Linnyer Beatrys Ruiz
Aylon.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de
Informática, Programa de Pós-Graduação em Ciência da
Computação, 2019.

1. *Internet of Things* (IoT). 2. Internet das
coisas. 3. *Wireless Sensor Networks* (WSN). 4. *Long
Range* (Lora) - Tecnologia de comunicação. I. Aylon,
Linnyer Beatrys Ruiz, orient. II. Universidade
Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia.
Departamento de Informática. Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Computação. III. Título.

CDD 21.ed.004.21

FOLHA DE APROVAÇÃO

GESIANE FERREIRA LEAL

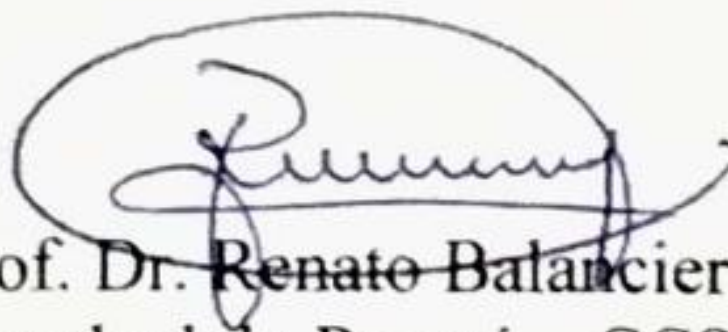
WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação pela Banca Examinadora composta pelos membros:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Linyer Beatrys Ruiz Aylon
Universidade Estadual de Maringá – DIN/UEM



Prof. Dr. Renato Balancieri
Universidade Estadual do Paraná – CCSA/UNESPAR



Dr. Ricardo Godoi Vieira
Avibras Indústria Aeroespacial S/A – Avibras

Aprovada em: 21 de outubro de 2019.

Local da defesa: Sala 102, Bloco C56, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me abençoado nesta caminhada, e as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha família, pelo carinho, apoio emocional e incentivo.

Ao meu esposo, pelo amor e parceria durante as revisões dos textos, nas sugestões de projetos, ajuda na manipulação das tubulações do protótipo e na paciência dos momentos de crises.

A Alice que nasceu no momento que eu mais precisava entender a razão de tudo.

A minha orientadora, Professora Dra. Linnyer Beatrys Ruiz Aylon, pelo apoio, comentários, sugestões no desenvolvimento da pesquisa, confiança, parceria e amizade. Agradeço, principalmente, por ela não desistir desta aluna muitas vezes perdida entre mestrado, trabalho e família, em diversas vezes, nem sempre nesta ordem.

Ao professor Paulo Gonçalves, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo apoio e conhecimento compartilhado sobre Lora, disponibilizando não só seu tempo, como equipamentos e dicas. Sinto que preciso me desculpar, também, por interromper nossa parceria em determinado momento por motivos familiares.

Aos demais professores das disciplinas que cursei, pelo apoio e conhecimento concedido a mim.

A Inês pelo ótimo trabalho, e, por sempre estar disponível para sanar as dúvidas sobre o programa do PCC, e não foram poucas dúvidas ao longo desses anos.

Aos colegas, pelas dicas e saídas nos momentos de desespero, mesmo as dicas do tipo "Não durma! rs".

A Me. Gabriela Marques pelas correções e sugestões na dissertação.

Ao Vinícius Martins e Janaina Ederli pela amizade, piadas, bobagens e dicas para continuar com o equilíbrio emocional necessário para a finalização deste trabalho.

A empresa Benner Saúde por permitir que eu compensasse as horas fora do horário de trabalho para assistir as aulas do mestrado.

A empresa Boa Compra pelo incentivo, isenção e permissão para assistir as aulas, estagiar e participar das orientações do mestrado, dentro do meu horário de trabalho.

Ao NPD-Núcleo de Processamento de Dados da UEM-Universidade Estadual de Maringá pelo incentivo, apoio e ajuda no período de defesa desta dissertação.

Ao órgão de fomento CNPq, pelo apoio financeiro concedido ao Laboratório Manna Research Team.

WaterManna: a IoT na gestão de recursos hídricos

RESUMO

Soluções de IoT, também conhecida como Internet das Coisas ou Internet of Things, estão sendo criadas em todo o mundo; já existem cidades, carros e casas inteligentes, aplicações que se sustentam através das redes de sensores sem fio (RSSF), resolvendo problemas através de implementações inteligentes. Uma nova geração de computação ubíqua, representa uma gama de oportunidades e grandes desafios, para empresas em diversos segmentos da indústria. Onde nós sensores presentes nos objetos inteligentes podem notificar através de serviços Web os sistemas de gerenciamento dos dados senso-reados. Este trabalho mostra as diversas tecnologias envolvidas para desenvolvimento de produtos e serviços IoT, buscando reconhecer barreiras e facilitadores que podem interferir no momento de criação destas soluções. Além disso, identifica elementos a serem considerados na elaboração destes serviços. Estudos como este permitem uma melhor compreensão das oportunidades geradas por IoT, bem como proposições para pesquisas futuras sobre o tema. Ademais, enumera as ferramentas que apoiam no planejamento das inovações deste contexto, elementos que ajudam a fomentar o surgimento de cada vez mais inovações IoT. A proposta desta pesquisa é desenvolver uma aplicação IoT que consiga detectar vazamentos na rede de água, identificando qual ou quais fatores de sensoriamento são indicativos para encontrar anomalias na rede de distribuição. Juntamente com a maiorias das funcionalidades utilizar-se de uma rede de comunicação entre os dispositivos que empregando a tecnologia LPWAN, identificando as principais vantagens e dificuldades desta tecnologia. Dos resultados, através de diversos cenários de simulações, no protótipo desenvolvido, identificou-se através de leituras no fluxo de água, se há vazamentos na rede de distribuição. Já as leituras de pressão se mantiveram inalteradas independentemente de vazamentos na rede de simulação ou não; indicando que o sensor utilizado para pressão não é adequado para identificação de rompimentos da rede. Das tecnologias utilizadas, a plataforma IBM Watson apesar de ter se mostrado robusta e adequada a aplicações IoT a versão gratuita há limitações de dados trafegados no mês. A tecnologia de comunicação Lora se mostrou relevantes para o gerenciamento de recursos hídricos; e; dos hardwares utilizados no protótipo, o ESP32 LoRa SX1276 se destacou com grande potencial no desenvolvimento de automações de IoT.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Redes de Sensores Sem Fio, RSSF, Lora, IoT

WaterManna: an IoT in water resource management

ABSTRACT

IoT solutions, also known as the Internet of Things, are being created around the world. There are cities, cars and smart homes applications that are supported through the wireless sensor networks (WSN), solving problems through smart implementations. A new generation of ubiquitous computing is a range of opportunities and great challenges for companies in several industry segments. Where sensors in smart objects can notify through Web services sensed data management systems.

This work shows the various technologies involved for the development of IoT products and services, seeking to recognize barriers and facilitators that can interfere with the moment of creation of these solutions. It identifies elements to be considered in the preparation of these services. Studies such as this provide a better understanding of the opportunities generated by IoT, as well as proposals for future research on the topic. In addition, it lists the tools that support innovations in planning this context, elements that help foster the emergence of increasingly IoT innovation.

The purpose of this research is to develop an IoT application that can detect leaks in the water grids, identifying which one or more factors are indicative for anomalies in the distribution of water. Along with the majority of the features used is a network of communication between the devices employing LPWAN technology, identifying the main advantages and difficulties of this technology.

The results through various scenario simulations, the developed prototype, it was identified by reading the water flow, leaks in the water grid. Since pressure readings remain unchanged regardless in the simulation with leaks and without leaks; indicating that the sensor used for pressure is not suitable for identification of network disruptions.

The technologies used, the IBM Watson platform despite having proved robust and suitable for IoT applications, but the free version there are data limitations trafficked in the month. The Lora communication technology proved relevant to the management of water resources; and; the hardware used in the prototype, the SX1276 ESP32 Lora stood out with great potential in the development of automation IoT.

Keywords: Internet of Things, Wireless Sensor Networks (WSN), Lora, IoT

LISTA DE FIGURAS

Figura - 2.1	Saneamento Básico	20
Figura - 2.2	Imagens meramente ilustrativas	21
Figura - 2.3	Modelo de Rede de Distribuição de Água	22
Figura - 3.1	Blocos básicos da IoT	25
Figura - 3.2	Exemplo de RSSF	26
Figura - 3.3	Arquitetura dos dispositivos	26
Figura - 3.4	Pilha da Arquitetura de rede LoRaWan	31
Figura - 3.5	Cenário IoT utilizando gateway	33
Figura - 3.6	Posição do gateway em IoT	33
Figura - 3.7	Protocolos de comunicação usados pelo gateway	34
Figura - 3.8	Arquitetura IoT	35
Figura - 3.9	Bluemix - MQTT	38
Figura - 3.10	Editor Node-RED	39
Figura - 3.11	Arquitetura Blynk - MQTT	40
Figura - 3.12	Aplicação Blynk do Projeto - MQTT	41
Figura - 3.13	A classificação dos domínios de hardware de IoT	41
Figura - 3.14	Módulo MB102 utilizado em conjunto com Lolin	43
Figura - 3.15	Dispositivo utilizado	44
Figura - 3.16	Sensor de Pressão - MPX5010DP	45
Figura - 3.17	Conexão do MPX5010DP	46
Figura - 3.18	Sensor de Fluxo - FS300A e YF-S102B	46
Figura - 3.19	Efeito Hall	47
Figura - 3.20	VHALL	47
Figura - 3.21	Solenóide	48
Figura - 4.1	Camadas da Arquitetura do projeto	50
Figura - 4.2	Código fonte do dispositivo para comunicação MQTT	51
Figura - 4.3	Protótipo	51
Figura - 4.4	Representação esquemática do protótipo	52
Figura - 4.5	Interface da aplicação	54
Figura - 4.6	Dados registrados no banco de dados	55
Figura - 4.7	JSON salvo no Cloundant	55
Figura - 4.8	Leituras de fluxo sem vazamentos na rede	56
Figura - 4.9	Leituras de fluxo com vazamentos em toda rede	57

Figura - 4.10	Leituras de fluxo com vazamentos em V1	57
Figura - 4.11	Leituras de fluxo com vazamentos em V2	58
Figura - 4.12	Leituras de fluxo com vazamentos em V3	59

LISTA DE TABELAS

Tabela - 3.1	Comparação entre as tecnologias de comunicação	27
Tabela - 3.2	Comparação tecnologias LPWAN	28
Tabela - 4.1	Tabela de custos associados ao protótipo	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADR: Adaptive Data Rate
BLE: Bluetooth Low Energy
CAD: Activity Detection
CoAP: Constrained Application Protocol
CSS: Spread Spectrum Chirp
EXI: Efficient XML Interchange
FEC: Forward Error Correction
FSK: Frequency Shift Keying
IoT: Internet of Things
IP: Internet Protocol
ISM: industrial, scientific and medical
LAN: Local Area Networks
Lora: Long Range
LPWAN: Low Power Wide Area Network
MAN: Metropolitan Area Networks
mca: metros de coluna d'água
MQTT: Message Queue Telemetry Transport
NFC: Near Field Communication
NS: Network Simulator
OWL: Web Ontology Language
PAN: Personal Area Networks
PnP: Plug and Play
REST: REpresentational State Transfer
RDF: Resource Description Framework
RFID: Radio-Frequency IDentification
RSSF: Rede de Sensores Sem Fio
RSSI: Received Signal Strength Indicator
SF: Spread Factor
SNR: Signal to Noise Ratio
SO: Sistemas Operacionais
SWGs: Smart Water Grids
URIs: Uniform Resource Identifiers
WAN: Wide Area Networks
WSN: Wireless Sensor Networks

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Motivação e justificativa	13
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	13
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.2	Contribuições	14
1.3	Trabalhos Relacionados	14
1.4	Metodologia	16
1.5	Organização do texto	17
2	Formulação do problema	19
3	Fundamentação Teórica	24
3.1	Rede de Sensores Sem Fio (RSSF)	25
3.2	Low Power Wide Area Network (LPWAN)	27
3.2.1	Narrow Band - IoT (NB-IoT)	29
3.2.2	SIGFOX	29
3.2.3	LoRa	29
3.2.4	Gateway	33
3.2.5	Arquitetura IoT	34
3.3	Ambiente de Desenvolvimento	36
3.3.1	Computação em Nuvem	36
3.3.2	Node-RED	38
3.3.3	Hardware	41
3.3.4	Unidades de processamento e comunicação	42
3.3.5	Sensores	44
4	Experimentos e Resultados	49
4.1	Planejamento e execução dos experimentos	49
4.2	Arquitetura do projeto	50
4.3	Protótipo Físico	51
4.4	Software	53
4.5	Análise dos Resultados	56
5	Conclusão	61
5.1	Principais Resultados e Contribuições	61

5.2	Desafios Superados	62
5.3	Trabalhos futuros	63

REFERÊNCIAS		64
--------------------	--	-----------

Introdução

De acordo com Santos et al. (2016), Internet of Things (IoT)¹ pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual.

Para se ter uma IoT, são necessários *objetos inteligentes conectados*, em que os 'objetos' (coisas) devem ser projetados com hardwares embutidos, e o termo 'inteligentes', por sua vez, exige uma programação de softwares com instruções para os hardwares, de modo que ofereça a inteligência aos objetos; por fim, 'conectados', utilizando-se de arquiteturas e modelos de comunicação para interagir entre outros objetos através da internet. Por exemplo, os objetos inteligentes podem ser lixeiras programadas para notificar através da rede se precisam ser coletadas ou não.

Formada por um ecossistema baseado em nós sensores de diversos formatos e diferentes engenharias, a IoT vale, sobretudo, pelo conjunto de informações geradas. As informações criadas pelos sensores são essenciais para os mecanismos de tomada de decisão e melhoria de eficiência de processos.

Entre tantos benefícios de IoT, o principal é a minimização de custos com a otimização e automatização de serviços em geral. Mostrando-se um mercado promissor, a IoT vem se tornando um conceito de interesse para grandes empresas, tais como Bosh, Cisco, Google, Apple e Microsoft, que já estão criando soluções e aplicações para atender às demandas atuais e futuras.

Com o principal objetivo de solucionar problemas em geral, a IoT mostra-se uma excelente escolha na administração de recursos naturais, como a água, por exemplo. A

¹Internet of Things ou Internet das coisas, a partir de então será substituída pela sigla IoT

água é um dos recursos naturais mais essenciais para a existência e sobrevivência de toda a vida neste planeta: usada para beber, para a culinária, para a higiene, na agricultura e na pecuária, todos os dias. Em suma, dela dependem todos os organismos vivos (Kang et al., 2017).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, em junho/2019, estima-se que 2,2 bilhões de pessoas não tinham acesso a água potável, e 3 bilhões não tinham acesso ao saneamento básico (Organization et al., 2019).

Os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostram que o índice médio de perdas na distribuição de água é de 36,7%, com variações de estado para estado, com casos que chegam a 70%. Reduzir perdas tem se mostrado o principal fator impulsionador das redes inteligentes no Brasil e no mundo, e isso vale para redes de distribuição de água (*smart water*), de luz (*smart grid*) e outros sistemas.

No saneamento básico há margem para investimentos em IoT, tendo em vista a preocupação de redução de custos, na manutenção e na distribuição da rede. Sendo assim, faz-se necessário desenvolver pesquisas e esforços na avaliação e monitoramento da qualidade e da perda de água tratada.

1.1 Motivação e justificativa

Estima-se que o maior custo na distribuição da água está na fase de tratamento, na qual são adicionados produtos para garantir a qualidade da água e o consumo de energia elétrica usada no bombeamento e tratamento de água para residências e indústrias.

A detecção rápida de um vazamento é importante para diminuir os prejuízos econômicos em relação às perdas da água já tratada, possibilitando a realocação dos recursos financeiros para criar novas redes de distribuição para regiões sem acesso.

Através da IoT seria possível a identificação imediata de problemas na rede de distribuição de água trazendo alguns benefícios. Dentre eles, destacam-se a prevenção de riscos à saúde da população, pois vazamentos permitem a entrada de agentes patógenos na rede de água já tratada, e o auxílio na gestão da escassez de água, uma vez que o percentual de água potável é baixo tendo em vista a demanda.

1.1.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral desta pesquisa é estudar os problemas relacionados ao desenvolvimento de *Internet of Things* (IoT), usando conceitos ligados à engenharia de computação

invisível e o desenvolvimento de uma solução para monitoração da qualidade da água considerando a rede de distribuição.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos desta pesquisa envolvem:

- Estudar recursos tecnológicos de hardware e software de suporte ao desenvolvimento de aplicações IoT, a fim de identificar seus potenciais;
- Desenvolver uma solução IoT como prova de conceito e contribuição para o avanço do estado da arte considerando os desafios propostos e o conjunto de tecnologias disponíveis, que consiga detectar vazamentos na rede de água, identificando qual ou quais fatores de sensoriamento são indicativos para encontrar anomalias na rede de distribuição;
- Examinar os aspectos relacionados ao desenvolvimento de uma rede de comunicação entre dispositivos que empregam a tecnologia de longo alcance com baixo consumo de energia, identificando as principais vantagens e dificuldades desta.

1.2 Contribuições

As contribuições deste trabalho envolveu o desenvolvimento de uma solução de IoT, que buscase as respostas para as questões em aberto sobre as decisões envolvidas com a definição de hardware e software, bem como, a utilização de um esquema de comunicação que apresente baixo consumo de energia e longo alcance.

1.3 Trabalhos Relacionados

Nos trabalhos de pesquisas encontrados referindo-se a recursos hídricos na tecnologia da informação propõe modelos de classificação adequados para classificar a qualidade da água com base em algoritmos de aprendizado de máquina (comparando o desempenho entre modelos de classificação e algoritmos). Foram encontrados, ainda, estudos e desenvolvimentos de diferentes modelos e métodos na análise e na avaliação da qualidade da água, bem como pesquisas sobre *big data*, a fim de identificar as características significativas que contribuíram para a classificação da qualidade da água, como é o caso do trabalho de Muhammad et al. (2015), entre outros artigos que o utilizam como referência.

Os trabalhos científicos que se destacaram no que tange a aplicações de IoT para detecção de vazamentos na rede de distribuição de água, foram os citados abaixo:

- No trabalho de Mounce et al. (2017), são utilizados dados reais do projeto SmartWater4Europe (Água Inteligente para a Europa - SW4EU), para adicionar funcionalidades no AURA-Alert: um sistema baseado em dados on-line para detecção de eventos e aplicado ao site de demonstração. Neste, são fornecidos detalhes da adaptação do sistema para detectores gerados automaticamente, filtragem de dados, treinamentos automatizados e exemplos de resultados.

O projeto SmartWater4Europe foi cofinanciado pela União Europeia (UE), para a demonstração, em grande escala, de tecnologias inovadoras de água inteligente em quatro locais da Europa, com o objetivo de fornecer locais de demonstração para tecnologias inovadoras de detecção, informação e comunicação para uma seleção de aplicações *Smart Water Network*: detecção de vazamentos, gerenciamento da qualidade da água, otimização de energia e interação com os clientes.

- Martins et al. (2017) desenvolveu uma análise da aplicação da tecnologia de Internet das Coisas (IoT) em plantas de saneamentos, observando os ganhos da aplicação para o processo, bem como o desenvolvimento de uma análise de risco, com avaliação qualitativa e quantitativa que validasse ou não a aplicação de uma arquitetura de IoT, tendo como base métodos existentes para análise de risco. Concluiu-se que a incorporação de novas tecnologias, a exemplo da Internet das Coisas, no que tange ao sistema de abastecimento de água, permitirá, em larga escala, que as empresas gestoras da *'utilities'*² obtenham dados durante todo o processo, os quais podem ser analisados e processados em tempo real, minimizando custos operacionais consideráveis. Sendo assim, a Internet das Coisas aparece como solução, fornecendo benefícios econômicos e comerciais, ao mesmo tempo em que auxilia a alavancar a sustentabilidade e conectividades mundiais.
- O trabalho de Lee et al. (2015) introduz uma metodologia esquemática para redes de água inteligentes (*Smart Water Grids - SWGs*) para uso em plataformas de gerenciamento de água, que integra tecnologia de informação e comunicação (TIC) em um único esquema de gerenciamento de água. Apresenta-se cinco áreas principais de pesquisa: (1) configuração de plataforma em redes de água; (2) garantia dos recursos hídricos água natural e manufaturada; (3) controle inteligente do fluxo de

²Consideram-se *utilities* a água, a eletricidade e o gás, ou seja, bens e serviços que são considerados essenciais a todas as pessoas

água, usando comunicação em infraestrutura de água; (4) melhoria no esquema de gerenciamento que lida com a minimização de riscos na infraestrutura de água; (5) eficiência energética na operação e manutenção da infraestrutura. Concluiu-se que a integração dessas cinco áreas no desenvolvimento de SWG pode fornecer às empresas gestoras uma visão do planejamento da infraestrutura hídrica e mostrou-se a importância das SWGs para as cidades inteligentes. Neste estudo, são citadas algumas cidades do mundo e o valor do investimento para estabelecer e ampliar este sistema de gestão inteligente de água, como, por exemplo, o Departamento de Rede de Abastecimento de Água (*Water Supply Network Department - PUB*) na Singapura, que planeja gastar US\$ 7 bilhões em projetos, como uma nova estrutura de dutos de 250km.

- No artigo de de Paula et al. (2019) apresenta o design e construção de uma solução de monitoramento de água baseada na IoT para medir e detectar vazamentos, alertar os usuários sobre problemas nos sistemas de água, considerando cenários de edifícios.

O estudo de Oren e Stroh (2013), apresenta um modelo matemático para detectar vazamentos em tempo real no consumo doméstico. O modelo utiliza dados que são medidos a partir de um *water meter* e emprega dois critérios simultaneamente, a saber: desvio do consumo médio e comparação de consumo de água durante um período de tempo.

Outro projeto importante é o **Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo – PURA-USP**, criado em 1996, pela Escola Politécnica da USP (Poli/USP), através de seu Laboratório de Sistemas Prediais (LSP) do Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC). O macroprograma do PURA iniciou-se com a aplicação em campus universitário e, em 1998, deu-se a assinatura de um convênio entre a Universidade de São Paulo (USP) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).

Diante desses trabalhos citados, mostraram-se relevantes as pesquisas de IoT para redes de distribuição de água, de modo a criar oportunidades de negócios e pesquisas e para o auxílio no gerenciamento da distribuição de água, controlando, ainda, custos e ajudando no planejamento de novos investimentos na rede.

1.4 Metodologia

Conforme Wazlawick (2017), do ponto de vista da sua natureza, esta pesquisa é uma pesquisa aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos

à solução de problemas de vazamentos de recursos hídricos na rede de distribuição. Utilizando-se de abordagens de pesquisas qualitativas, que leva em consideração a interpretação dos fenômenos observados durante o desenvolvimento desta pesquisa. Quanto aos fins, há uma investigação exploratória de soluções de IoT na identificação de vazamentos na rede de distribuição. Por sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que, todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa.

Quanto aos meios de investigação, foram realizadas pesquisas de laboratório através de simulações por protótipo. Quanto à intervenção do pesquisador é uma pesquisa experimental com o objetivo de realizar investigação empírica, na qual há manipulação e controle dos vazamentos, de modo a observar se cada intervenção produz os resultados esperados, de identificação de vazamentos na rede.

Para a composição desta pesquisa, empregou-se como procedimento metodológico, a revisão da literatura, problematização, bem como a análise da literatura específica sobre IoT e suas aplicabilidades em redes de água inteligentes (*Smart Water Grids*). Empregaram-se, no decorrer do trabalho, as seguintes técnicas:

Implementação: desenvolveram-se as especificações do projeto e de análise; organizaram-se os módulos e os conceitos a serem desenvolvidos.

Experimentação: desenvolveu-se o protótipo proposto na fase de implementação. Através do protótipo criado, realizaram-se alguns experimentos em cenários IoT, por tentativas e erros, de forma que os resultados gerados possibilitassem a análise para a fase de validação e verificação.

Validação e Verificação: analisou-se a implementação do protótipo, avaliando a consistência e a correspondência entre o modelo de IoT e a realidade, por intermédio de execução da aplicação.

1.5 Organização do texto

A estrutura do trabalho se dá da seguinte forma:

No seção 2, detalha o problema para elucidar quais as dificuldades e cenários na área atualmente.

No seção 3, é apresentada uma revisão de literatura *IoT - Internet of Things* com suas principais características, descrição conceitual e tecnologias envolvidas. Esta seção subdivide-se, detalhando as redes de sensores sem fio seção 3.1. Em seguida, contextualiza-se e cita-se a tecnologia de comunicação *Low Power Wide Area Network* 3.2, com destaque nesta para a tecnologia LoRa com experimentos preliminares ao estudo principal realizados sobre seu potencial.

Alguns elementos para o ambiente de desenvolvimento de uma IoT são abordados na seção 3.3, em que mencionam-se as tecnologias usadas para um modelo funcional da aplicação desenvolvida, como Computação em Nuvem, Node-RED e os hardwares utilizados.

Na seção 4, é descrita a arquitetura e mostrado o protótipo desenvolvido com suas respectivas leituras e resultados.

Por fim, na seção 5, conclui-se o presente trabalho com as considerações finais e apresentam-se as percepções obtidas durante o desenvolvimento da pesquisa, bem como propostas para trabalhos futuros.

Formulação do problema

De acordo com *World Resources Institute (WRI)*, mais de 30 países enfrentarão crises hídricas de alto risco nos próximos 25 anos; um relatório divulgado, mediu a demanda e a disponibilidade de água em 167 nações. Segundo pesquisas da ONU, cerca de 1 bilhão de cidadãos no mundo não têm acesso a um abastecimento adequado (que seria ter pelo menos 20 litros diários de água a uma distância de até um quilômetro).

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) de 2015, o índice nacional de perda de água na distribuição é de 36,7%, como se pode observar na Figura - 2.1.

Em 2008, 41,1% da água captada e tratada era perdida e, no levantamento referente a 2012, as perdas de água no país estavam em 36,9%. O índice mais recente é de 36,7%. Isso significa que não houve melhorias significativas, em comparação aos dados de países desenvolvidos – em cidades alemãs, por exemplo, a perda é próxima de 7%.

No final de 2013, a Presidência da República do Brasil promulgou o Plano Nacional de Saneamento de Básico (PLANSAB), tendo como meta a redução da média nacional de perdas nos sistemas de distribuição para 31% até 2033.

Um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil em parceria com a Reinfra Consultoria, buscou mostrar a relevância de se controlar as perdas de água nos sistemas de distribuição como forma de abrandar um possível estresse hídrico nas bacias hidrográficas brasileiras. O motivador deste estudo foi a região Sudeste brasileira que passou por crises hídricas, consideradas a pior da história da região. A bacia PCJ, por exemplo, atende cerca de 74 municípios com a população de 5,6 milhões de pessoas, destes 69 municípios estão em São Paulo e 5 em Minas Gerais. Somente neste levantamento observou-se que nestas cidades

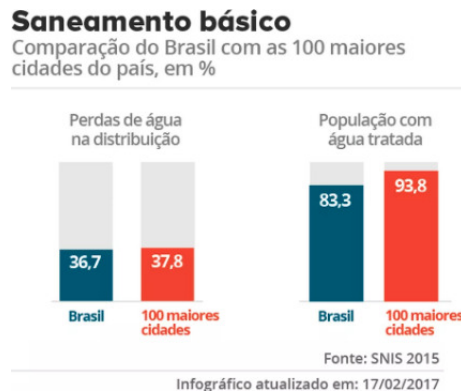


Figura 2.1: Saneamento Básico
 Fonte: (Martins et al., 2017)

foram perdidos 182 milhões de metros cúbicos de água por vazamentos, fraudes, roubos ou problemas de medição; somente em 2015; volume suficiente para atender 2,7 milhões de habitantes.

A detecção rápida de um vazamento pode reduzir o impacto ambiental realizado pela pressão sobre as fontes de abastecimento do recursos hídricos e diminuir a necessidade de ampliar a captação de água em novos mananciais. Para empresas administradoras com concessão de distribuição, poderia aumentar a receita através da arrecadação. Já ao consumidor final, diminuiria a tarifa de repasse dos prejuízos causados por vazamentos; e por fim; limitar os prejuízos econômicos em relação às perdas da água. Tais impactos consequentemente possibilita a realocação dos recursos financeiros para criação de novas redes de distribuição para regiões sem acesso.

Dentre outros benefícios, estão: a prevenção de riscos à saúde da população, pois vazamentos permitem a entrada de agentes patógenos na rede de água já tratada; e; o auxílio na gestão da escassez de água, uma vez que o percentual de água potável é baixo tendo em vista a demanda.

Indiretamente, pode-se dizer que uma aplicação que identifica vazamentos irá auxiliar também na eficiência energética, pois, de acordo com (Sobrinho, 2014), dados da *Alliance to Save Energy* revelam que entre 2 e 3% do consumo de energia mundial é usado no bombeamento e tratamento de água para residências e indústrias. No Brasil, esses sistemas consomem aproximadamente 7,8 bilhões de kWh por ano, segundo informações de 2009 do SNIS.

Os gastos anuais com energia elétrica representa cerca de R\$ 2 bilhões. Considerando o consumo total de 2% de energia elétrica no Brasil, esse valor equivale a 8,3 bilhões de

kWh/ano, que são utilizados por prestadores de serviços públicos de abastecimento de água em todo o país.

A exemplo do quão consideráveis podem ser as perdas, um vazamento de grandes proporções sem a identificação imediata é uma torneira entreaberta: a cada segundo, uma gota de água escorre pelo ralo, e uma gota corresponde à, aproximadamente, 0,05 mL de água. Parece pouco, mas cada dia tem 86400 segundos, o que corresponde a uma perda de 4,320 litros.



Figura 2.2: Imagens meramente ilustrativas
Fonte: (Martins et al., 2017)

Atualmente, o mercado conta com aparelhos de detecção acústica de vazamentos, através de aparelhos geofones eletrônicos ou mecânico (conforme imagem ilustrativa Figura - 2.2). No entanto, estes aparelhos exigem operadores experientes na identificação de ruídos, que reconhecem o padrão de tais anomalias na rede de distribuição. Além disto, a identificação não é imediata a ocorrência dos rompimentos na rede, impedindo que a solicitação de manutenção seja acionada de modo célere; e causando prejuízos ainda maiores quanto a perda da água tratada.

A solução estudada na pesquisa teria como público alvo direto empresas responsável pelo sistema de abastecimento de água, agricultores e pecuaristas. Público alvo indireto seria a população urbana e rural.

Por exemplo, a SANEPAR é a empresa responsável pela captação, tratamento e distribuição de água no estado do Paraná. Muitos investimentos são realizados em estruturas para automatização de serviços na distribuição de água, no entanto, a maioria não contempla detecções automáticas de vazamentos na rede.

A empresa SANEPAR licitou¹ a execução de obras de instalações elétricas e de automação no Sistema de Supervisão e Controle e Centro de Controle Operacional (SSC/CCO) do sistema de abastecimento de água. Além disso, houve também contratação de serviços de pesquisa e detecção acústica de vazamentos não visíveis e identificação de

¹[http : //licitacoes.sanepar.com.br/](http://licitacoes.sanepar.com.br/)

vazamentos visíveis em redes de distribuição de água, entre 2016 e 2018, nos municípios, e os valores licitados, respectivamente foram:

- Paranaíba: R\$ 878.853,54
- Ponta Grossa, Irati e Prudentópolis: R\$ 999.602,00
- Maringá: R\$ 1.297.409,52

Tais valores somam mais de três milhões, que irão beneficiar poucos municípios. Se for considerada a economia nas perdas de água tratada em vazamentos que poderiam ter sido identificados rapidamente através de soluções tecnológicas mais adequadas, outros municípios também teriam investimentos no gerenciamento da distribuição de água.

O sistema de abastecimento de água acontece nas seguintes etapas:

- **Captação:** etapa em que se retira a água da fonte, a qual, em seguida, alimentará o sistema de abastecimento.
- **Adução:** etapa em que a água é transportada de uma fonte de captação para estação de tratamento.
- **Estação de tratamento:** etapa em que a água é tratada e pode receber enriquecimento de alguns produtos benéficos à saúde (fase na qual se agrega maior custo da água).
- **Distribuição por gravidade:** etapa em que a água já tratada é distribuída através de redes principais e secundárias por gravidade, até a chegada nos bairros para distribuição às residências.

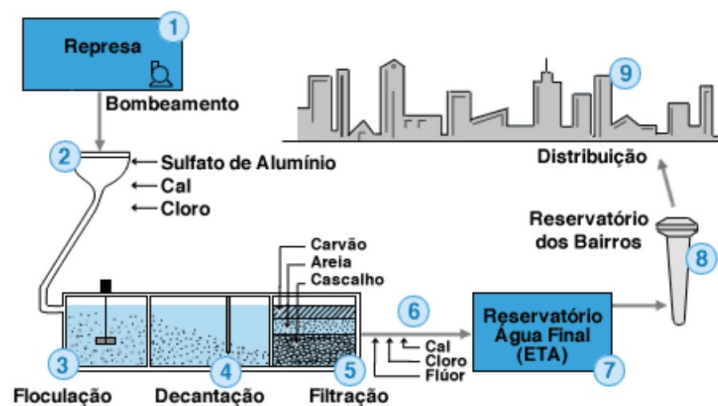


Figura 2.3: Modelo de Rede de Distribuição de Água

A pesquisa consiste em simular uma rede de distribuição fechada e primária (rede logo após o ponto da estação de tratamento), trecho entre os pontos 8 e 9 representado Figura - 2.3, com o principal objetivo de identificar possíveis fatores que indiquem se há vazamento na rede de distribuição e, se possível, a sua localização. Isso se dará através de simulações, monitorando leituras através de sensores de pressão e de fluxo.

O objeto de estudos hidráulico de IoT será baseado na distribuição por gravidade; nesse tipo de distribuição, a água escoar sempre em declive, em conduto forçado pela pressão do reservatório elevado ou por estações de elevação de pressão, em que a pressão estática máxima é de 0,5 MPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima é de 0,1 MPa (10 mca). O MegaPascal (MPa) (1 milhão de vezes a pressão de 1 Pascal (Pa)) é uma unidade muito utilizada para medir pressão. Utilizamos, também como unidade de pressão, o mca (metro de coluna d'água), que é a pressão que uma coluna de água de 1 metro de altura produz.

Fundamentação Teórica

Internet of Things (IoT)¹ pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. De acordo com Santos et al. (2016), para a construção de uma IoT são necessários alguns blocos básicos, mostrados na Figura - 3.1, sendo eles:

- **Identificação:** o bloco de maior relevância para IoT, visto que é primordial identificar unicamente cada objeto conectado à internet. Para a identificação do objeto, podem-se utilizar diversas tecnologias como RFID, NFC (*Near Field Communication*) e/ou endereçamento IP.
- **Sensores:** estes são responsáveis por coletar as informações do ambiente em que os objetos estão e, em seguida, irão armazenar ou encaminhar seus dados a algum centro de armazenamento. Também poderão haver atuadores na necessidade de manipular ou reagir aos dados lidos do ambiente.
- **Computação:** onde se aloja a maior parte de inteligência do objeto, destacando-se, neste o armazenamento e processamento, microcontroladores, processadores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais.
- **Comunicação:** necessária para conectar os objetos inteligentes, desempenhando um papel significativo no consumo de energia dos dispositivos conectados, considerado, por isso, um fator crítico nas redes IoT. Maiores detalhes são mostrados na Tabela - 3.1 adiante.

¹*Internet of Things* ou Internet das coisas, a partir de então será substituída pela sigla IoT

- **Semântica:** refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT, tendo em vista as informações coletadas na junção das funcionalidades desempenhadas pelos blocos citados anteriormente, com o objetivo de prover determinado serviço.
- **Serviços:** onde é agregado valor aos dados coletados através dos dispositivos, provendo diversos tipos de serviço, como, por exemplo, os Serviços de Identificação que mapeiam Entidades Físicas de interesse do usuário em Entidades Virtuais.

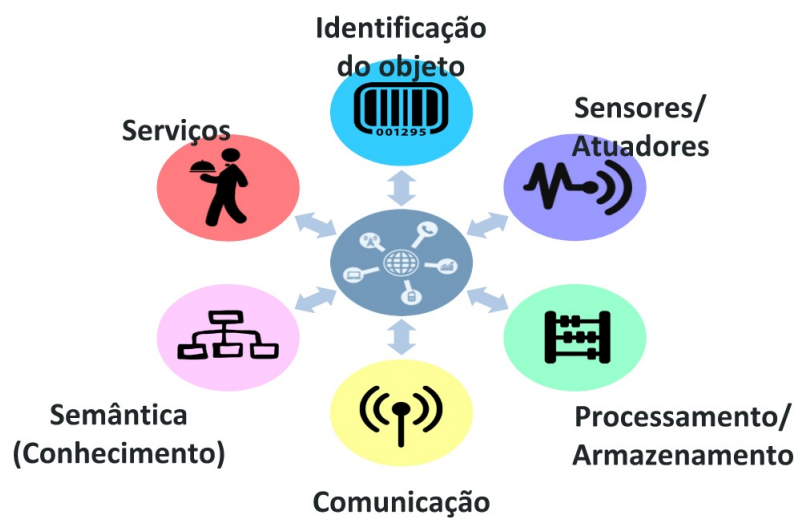


Figura 3.1: Blocos básicos da IoT
 Fonte: (Santos et al., 2016)

A IoT é formada por uma rede de sensores sem fio (RSSF), um tipo especial de rede que tem a capacidade de monitorar e processar dados coletados do meio ambiente. Na seção 3.1, as características dessas redes estarão detalhadas.

3.1 Rede de Sensores Sem Fio (RSSF)

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) é um conjunto de redes que, normalmente, possuem um grande número de nós distribuídos, os quais têm restrições de energia e devem possuir mecanismos para auto-configuração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós. Essas redes tendem a ser autônomas e requerem um alto grau de cooperação na execução das tarefas definidas para a rede. Cada nó é equipado com uma variedade de sensores, tais como acústico, infravermelho, câmera, calor, temperatura, pressão etc. (Braga et al., 2004).

Dentre as diversas aplicações de redes de sensores sem fio estão o monitoramento de ocorrências específicas, como fogo, qualidade do ar e presença de inimigos militares.

Na Figura - 3.2 é mostrado um exemplo de RSSF, no qual os sensores são representados pelos nós (círculos), e estes estão transmitindo seus dados coletados no ambiente (via saltos ou hops - linhas pontilhadas) até o nó central (*sink*). O caminho que a mensagem irá tomar obedecerá a regras de roteamento.

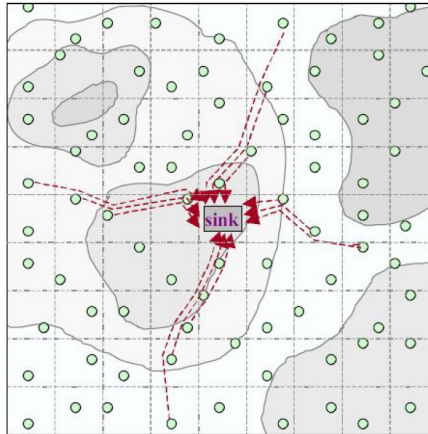


Figura 3.2: Exemplo de RSSF
Fonte: (Braga et al., 2004)

A maioria dos objetos inteligentes (*Smart Objects*) de IoT são nós das RSSF's, onde a unidade básica de hardware apresentará, ao menos, uma das seguintes características, conforme Ruiz (2003), visualizado na Figura - 3.3:

- i) unidade de processamento;
- ii) unidade de memória;
- iii) unidade de comunicação;
- iv) unidade de sensores ou atuadores.

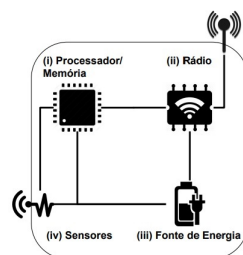


Figura 3.3: Arquitetura dos dispositivos
Fonte: (Ruiz, 2003)

A unidade de processamento e memória tem a função de armazenar dados e de executar a sequência lógica de instruções, que torna o objeto inteligente. Esta unidade é composta de uma memória interna para armazenamento de dados, de um microcontrolador que executa a sequência de instruções e de um conversor analógico-digital, para receber sinais dos sensores.

A unidade de comunicação é responsável pela comunicação do objeto inteligente com a Internet ou com outros objetos inteligentes. Quando estabelecem uma comunicação, estão manifestando o conceito de estarem em rede. As características mais relevantes para o sistema de comunicação são: a taxa de transmissão de dados e o alcance.

A taxa de transmissão de dados é a velocidade do envio de uma informação. Se a taxa for baixa, o envio de dados, por conseguinte, será mais lento. É importante ressaltar que a unidade de medida utilizada é bit por segundo (bps). Por outro lado, o alcance de sistemas de comunicação refere-se à distância em que os dados podem ser transmitidos.

As principais tecnologias de comunicação utilizadas em IoT são as apresentadas na Tabela - 3.1.

Tabela 3.1: Comparação entre as tecnologias de comunicação

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	IPv6	Topologia
Ethernet	100-2000 m	N/A	10 Gbps	Sim	Variada
Wi-Fi	50 m	2.4/5 GHz	1300 Mbps	Sim	Estrela
BLE	80 m	2.4 GHz	1 Mbps	Sim	Estrela/Mesh
ZigBee	100 m	915 MHz/2.4 GHz	250 kbps	Sim	Estrela/Mesh
3G/4G	35-200 km	1900/2100/2500 MHz	1-10 Mbps	Sim	Estrela
SigFox	10-50 km	868/902 MHz	10-1000 bps	-	-
LoRa	2-5 km	868/915/433 MHz	0.3-50 kbps	Sim	Estrela

Para dispositivos miniaturizados e com bateria, seria adequada a utilização de uma tecnologia de comunicação de curtas distâncias e com baixa taxa de transmissão de dados, como o *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Algumas tecnologias de comunicação não têm a capacidade de conexão com a Internet. Assim, para possibilitar o uso desse tipo de tecnologia de curto alcance, os objetos inteligentes podem utilizar um *gateway*.

3.2 Low Power Wide Area Network (LPWAN)

A rede *LPWAN (Low Power Wide Area Network)* é frequentemente utilizada em IoT quando há a necessidade de enviar poucos dados, em distâncias relativamente grandes, garantindo maior vida útil para as baterias a serem implementadas durante os processos de comunicação e aplicação.

Todos os concorrentes LPWAN afirmam que sua abordagem é a solução ideal para essa nova geração da IoT. Dependendo do caso de uso, algumas opções de conectividade serão mais adequadas do que outras. No entanto uma análise aprofundada é necessária, para garantir que as escolhas de conectividade sejam corretas.

As redes LPWAN surgiram para conectar milhões de 'coisas' com redes de melhor cobertura. Estas representam uma nova tecnologia que permite aumentar o número de aplicações para a IoT e complementar o alcance das tecnologias sem fio. Podem operar, ainda, a um custo menor do que as tecnologias sem fio e também podem suportar uma maior área de cobertura. Algumas das características de LPWAN são: baixa taxa de dados, baixo custo, área de cobertura ampla, bateria de longa duração e possibilidade de um grande número de dispositivos.

O nível de demanda de LPWAN está aumentando, o que é outra razão para usar dispositivos de baixo custo, oferecendo várias soluções: simplificar a complexidade de hardware; usar espectros não licenciados da banda ISM (*industrial, scientific and medical*); compartilhar bandas de celular para evitar o custo adicional de licenciamento.

Tecnologias LPWAN são otimizadas para oferecer uma ampla cobertura de área, especialmente em locais fechados desafiadores, como em subsolos. O seu objetivo principal é alcançar uma melhoria de 20 dB em comparação a sistemas celulares. Isto permite que dispositivos a 10 km da rede conectem-se às estações base.

As principais alternativas de LPWAN são:

SIGFOX e LoRa, que utilizam frequências não licenciadas e tecnologias proprietárias, projetadas para atender aplicações que empregam sensores com necessidades muito limitadas de taxa de dados, disponibilidade e qualidade.

NB-IoT, variante do LTE (4G), que está sendo especificada para atender a aplicações de LPWAN utilizando frequências licenciadas.

A Tabela - 3.2 apresenta uma comparação dessas alternativas.

Tabela 3.2: Comparação tecnologias LPWAN

-	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Espectro Licenciado	Não	Não	Sim
Modulação	UNB/GFSK/BPSK	SS Chirp	OFDMA
Largura de Banda do receptor	100 Hz	50-125 KHz	200 KHz
Taxa de dados	100 bps 12 bytes Max.	290 bps-50 Kbps	20 Kbps
Máx. de mensagens por dia	Até 140/dia	ilimitado	ilimitado
Duração da bateria	-	9 anos	10 anos
Cobertura de uma ERB	raio de 1 mil km	centenas de km ²	20 km

3.2.1 Narrow Band - IoT (NB-IoT)

Narrow Band - IoT (NB-IoT) é uma portadora de 200 kHz que deverá suportar mais de 50 mil dispositivos por célula. A cobertura deve ser estendida em até 20 dB, e a vida da bateria, para até 10 anos. Essa portadora poderá ocupar parte da banda de uma portadora de LTE, ser colocada no banda de guarda do LTE ou ser uma portadora em uma banda GSM.

3.2.2 SIGFOX

SIGFOX é uma empresa francesa, fundada em 2009, com o objetivo de prover conectividade global para a IoT. Para contratos com grande quantidade de dispositivos (> 50 mil), pode-se cobrar até um dólar por dispositivo por ano. Entre seus investidores, estão a Telefônica, NTT DoCoMO e a SK Telecom.

A SIGFOX está implantando a sua rede no Brasil através de sua parceira WND e, em setembro de 2017, lançou oficialmente a sua rede, que atende a cerca de 100 municípios e a uma população de 80 milhões de pessoas.

3.2.3 LoRa

LoRa (*Long Range*) é uma técnica de modulação que permite a transferência de longa gama de informações com uma baixa taxa de transferência. A modulação LoRa foi patenteada pela Semtech Corporation. É uma tecnologia de camada física, que transmite os sinais na banda ISM SUB-GHz (868 MHz, 915 MHz e 433 MHz), diferentes padrões de frequência na Europa e na América do Norte. Utilizando frequências mais baixas do que as bandas ISM típicos (2.4 ou 5.8 GHz), a técnica permite a cobertura de uma área grande, especialmente quando os nós estão dentro de edifícios. Em vez de usar a transmissão de *narrow band*, emprega uma forma de modulação *Spread Spectrum Chirp (CSS)*, desenvolvida na década de 1940, que espalha informações sobre diferentes canais de frequência e taxas de dados.

A comunicação LoRa opera na banda sem licença de frequência (Lavric e Popa, 2017):

- EUROPA 863-870MHz banda ISM: 3, canais de frequências centrais: 868,10 MHz, 868,30 MHz, 868,50 MHz;
- UE 433MHz banda ISM: 3, canais de frequências centrais: 433,175 MHz, 433,375 MHz, 433,575 MHz;
- US 902-928MHz Banda ISM;

- China 779-787MHz Banda ISM;
- China 470-510MHz Banda;
- Austrália 915-928MHz Banda ISM;
- Banda ISM 923-923.5MHz;
- O Brasil utiliza frequências não licenciadas definidas pela Anatel no Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita, faixas de frequências: 902-907,5; 915-928.

As principais vantagens na utilização da tecnologia LoRa são: possibilita o uso de frequência ISM sem licença; apresenta soluções flexíveis, que podem ser facilmente adaptadas; é escalável; suporta comunicação bidirecional; possui nível de segurança elevado, devido aos algoritmos de criptografia, e eficiência energética.

Os sinais transmitidos têm propriedades semelhantes a ruídos, que são difíceis de detectar ou obstruir. Isso significa que eles são robustos contra a degradação de sinal, como interferência e desvanecimento de múltiplos caminhos (Gaddam e Rai, 2018). Caso a modulação CSS for integrada com correção antecipada de erros (*Forward Error Correction - FEC*), os sinais demodulados serão 20 dB abaixo do nível de ruído e a sensibilidade do receptor aumentará. Além disso, o *Spread Factor (SF)*, em um sistema LoRa, varia de 7 a 12 para suportar diferentes taxas de dados em várias faixas. A modulação oferece uma gama de taxas de dados de 0,3 kbps a 37,5 kbps, selecionados com base no fator de propagação e na largura de banda do canal. Em LoRa, os dados do sistema podem ser transmitidos de diferentes canais simultaneamente, utilizando diferentes fatores de propagação (Gaddam e Rai, 2018).

LoRa permite compensar a razão sinal ruído *SNR (Signal to Noise Ratio)* demodulando sinais, mesmo quando eles são 19,5 dB abaixo do ruído mínimo (Gaddam e Rai, 2018). CSS permite um alcance de comunicação maior do que *Frequency Shift Keying (FSK)*, sem um aumento no consumo de energia e, se transmitir em níveis mais elevados de energia, irá aumentar a amplitude de um nó LoRa. Os nós podem ajustar a sua potência de saída para atender às exigências regulamentares, como ocorre na Europa, por exemplo, onde 14 dBm é a potência de transmissão máxima (Gaddam e Rai, 2018).

Quando se utiliza a modulação com diferente *Spread Factor (SF)*, variando entre SF7 para SF12, aumenta-se o fator de propagação (SF), melhora-se a (SNR), ou seja, proporciona-se a resistência à interferência e desvanecimento de trajetória múltipla. Assim, é possível ajustar individualmente, por nó, a taxa de modulação e a potência

de transmissão. E, se o SF aumentar o tamanho da informação, será reduzido, resultando em uma potência maior ao longo do canal e em uma distância de comunicação por mais tempo. No entanto o resultado obtido são tempos de transmissão mais longos (Gaddam e Rai, 2018). Ao utilizar-se uma maior largura de banda, encurtam-se os tempos de transmissão, mas reduz-se a sensibilidade máxima do receptor (Gaddam e Rai, 2018). Cálculos de capacidade realizados em (Petajajarvi et al., 2015) revelaram que, quando uma única porta de entrada serve a vários dispositivos, a maioria deles deve estar perto da porta de entrada ($SF = 7$). Dessa maneira, apenas alguns nós podem estar configurados com o máximo SF, dados os seus tempos de transmissão (Gaddam e Rai, 2018).

Uma grande vantagem em relação a escalabilidade da rede LoRa refere-se principalmente à possibilidade de aumentar o número de Gateways, ampliando-se, assim, a capacidade da rede. Se um nó está situado mais perto de um gateway, terá uma taxa de dados de comunicação superior, por causa do ADR integrado (*Adaptive Data Rate*) ao mecanismo. Este mecanismo requer o ajuste do SF gradual e individualmente por nó, a fim de aumentar a taxa de dados.

LoRa pode detectar a atividade de canal, utilizando *Activity Detection portador (CAD)*. Isso é mais rápido que o indicador de intensidade de sinal recebido *RSSI (Received Signal Strength Indicator)* e pode diferenciar o ruído do sinal de LoRa desejado. O RSSI medido por um nó fornece uma indicação da faixa de cobertura da porta de entrada e a viabilidade da comunicação (Lavric e Popa, 2017).

Na figura Figura - 3.4, é apresentada a arquitetura de rede LoRaWan em forma de pilha e, com base nas camadas MAC, pode-se visualizar que há três classes de dispositivos em uma rede LoRa, definidas como: Classe A, Classe B e Classe C. Todas elas suportam comunicações bidirecionais, mas possuem disponibilidade de downlink diferente (Poursafar et al., 2017).

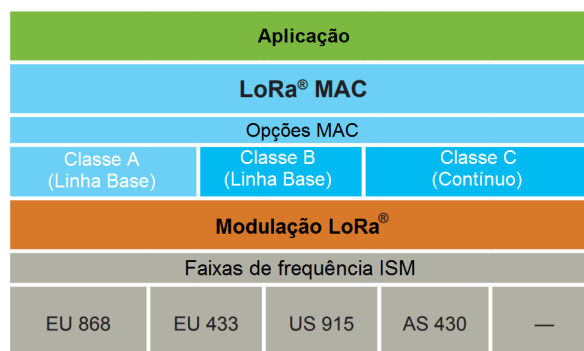


Figura 3.4: Pilha da Arquitetura de rede LoRaWan
Fonte: (Poursafar et al., 2017)

- Classe A: dispositivos de classe A têm capacidades de comunicação bidirecional. O espaço de tempo de transmissão do dispositivo é seguido por dois intervalos de tempo curtos, durante os quais o dispositivo pode receber informações. Dispositivos incluídos nessa categoria podem receber dados a partir do servidor somente depois de enviar as informações. Assim, os dispositivos de classe A asseguram melhor eficiência de energia. Para o envio de dados a partir do servidor, é necessário aguardar a próxima uplink programada (Lavric e Popa, 2017).
- Classe B: dispositivos da Classe B têm capacidades de comunicação bidirecional e um slot de tempo adicional que lhes permite receber dados. Utilizam intervalos de tempo aleatórios para a transmissão das informações, durante os quais os dados podem ser recebidos do dispositivo A e do dispositivo B, utilizando fendas no tempo para enviar suas atividades, organizadas por mensagens enviadas pelo Gateway com tipo de transferência de dados Beacon. O Gateway (coordenador) inicia o superframe com um quadro beacon, que tem propósitos de sincronização e também serve para descrever a estrutura do superframe e enviar informação de controle para os dispositivos. Quando um dispositivo necessita enviar dados para o coordenador, deve aguardar pelo quadro beacon para se sincronizar e, depois, competir pelo acesso ao canal. Por outro lado, a comunicação do coordenador com um dispositivo é indireta: o coordenador armazena os dados e anuncia a situação de entrega pendente no quadro beacon. Os dispositivos (finais) usualmente dormem a maior parte do tempo e acordam periodicamente para ver se há dados pendentes a receber do coordenador, verificando os beacons recebidos de seu coordenador. Quando eles percebem que existe uma mensagem disponível para eles, requisitam-na explicitamente durante o CAP. Por fim, quando um coordenador A deseja falar com outro coordenador B, ele deve se sincronizar com o beacon de B e agir como um dispositivo final (Poursafar et al., 2017).
- Classe C: dispositivos classe C têm capacidades de comunicação bidirecional e intervalos de tempo durante os quais eles podem receber informações ilimitadamente. O único momento em que um dispositivo de classe C não pode receber informações é quando ele as envia (Lavric e Popa, 2017).

De acordo com o padrão LoRa, cada módulo deve implementar a classe A como mecanismo de comunicação, enquanto as funções específicas das outras categorias são opcionais (Poursafar et al., 2017).

3.2.4 Gateway

IoT gateways são utilizados como intermediários entre os objetos inteligentes e a Internet. Os sorvedouros (sensores que agregam os dados coletados dos outros sensores) estabelecem a conexão e repassam estes dados ao gateway. Os objetos (com restrição de bateria) comunicam-se com o gateway a uma distância curta, e o gateway, por sua vez, comunica-se com a Internet com outro padrão de comunicação, para longas distâncias. Dessa forma, o gateway tem o papel de conectar o objeto inteligente à Internet. Um exemplo de uma IoT com gateway pode ser visto na Figura - 3.5 (Magrin et al., 2017).

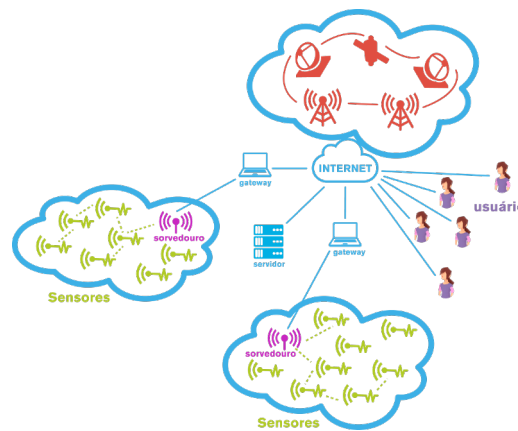


Figura 3.5: Cenário IoT utilizando gateway
Fonte: (Magrin et al., 2017)

As tecnologias de comunicação sem fio, com baixo consumo de energia, que são normalmente utilizadas com gateway são: Bluetooth, Bluetooth Low Energy e Zigbee. Já a comunicação entre gateways e a Internet dá-se normalmente por: Wi-Fi, Ethernet e redes de dados de celulares (GPRS, 3G, 4G), esquema representado na Figura - 3.6 (Bellavista e Zanni, 2016).



Figura 3.6: Posição do gateway em IoT
Fonte: (Magrin et al., 2017)

Nessa estrutura do gateway, existem dois protocolos de comunicação que possibilitam a tradução entre os diferentes dispositivos: CoAP (Constrained Application Protocol) e MQTT (Message Queue Telemetry Transport). O esquema destes é apresentado na Figura - 3.7, adiante.

- **CoAP (Constrained Application Protocol)**: define uma forma de transferir dados, tal como REpresentational State Transfer (REST), que utiliza Uniform Resource Identifiers (URIs). Funcionalidades similares ao HTTP: GET, POST, PUT e DELETE (Martins e Zem, 2016).
- **MQTT (Message Queue Telemetry Transport)**: utiliza o modelo Publish/-Subscribe para realizar a comunicação entre os dispositivos. Neste modelo, há os consumidores (subscribers - assinantes) e os produtores (publisher - publicador). Os sensores são os publishers, que publicam/enviam suas leituras para um Banco de Dados gerenciador dos eventos, localizado em servidores. Os assinantes ou Subscribers são os consumidores das informações gerenciadas. O gerenciador de eventos recebe as leituras dos sensores e envia-as para seus respectivos clientes assinantes (Martins e Zem, 2016).

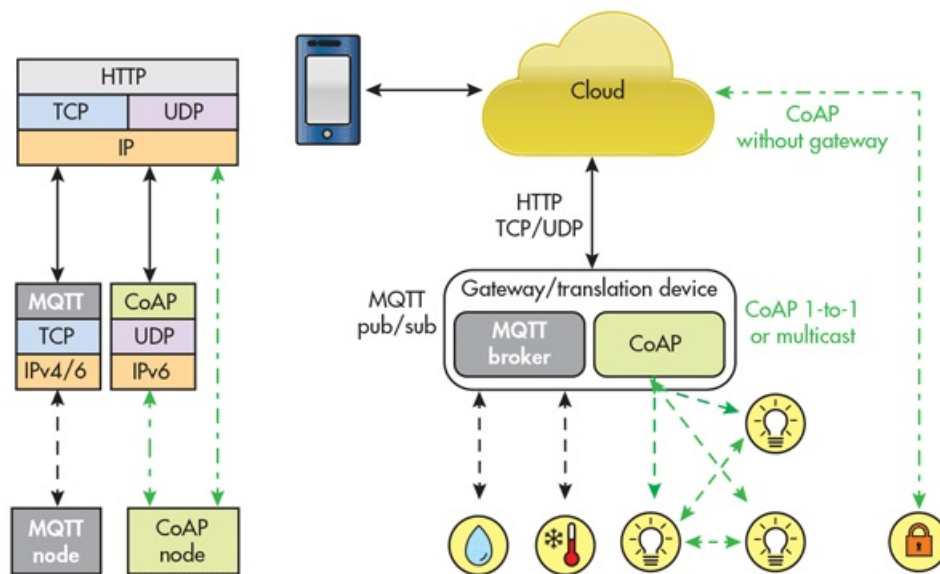


Figura 3.7: Protocolos de comunicação usados pelo gateway
 Fonte: (Martins e Zem, 2016)

3.2.5 Arquitetura IoT

Para conectar bilhões de objetos inteligentes à Internet, deve-se ter uma arquitetura flexível. Há diversas propostas de arquiteturas que se baseiam nas necessidades da academia e da indústria. O modelo básico, visualizado na Figura - 3.8, apresenta três camadas: Percepção / Atuação, Rede e Aplicação (Sethi e Sarangi, 2017).

O componente *percepção/atuação* refere-se às partes do sistema de IoT que fazem interação com o mundo físico, normalmente as 'coisas' da IoT, ou seja, os objetos inteligentes fazem parte desse componente.

O componente de *rede* é responsável por fazer conexões no sistema de IoT. Essas conexões podem ser com outros objetos inteligentes ou com computadores. Nessa camada, encontram-se diversas tecnologias e tipos de rede, como WAN, MAN, LAN e PAN, e as próprias tecnologias de comunicação apresentadas anteriormente na Tabela - 3.1: Wi-Fi, Bluetooth, 3G, 4G etc.

O componente de *aplicação* é a parte do sistema que irá entregar serviços para as pessoas. Este faz uso dos outros dois componentes (percepção e rede) para dispor de funções úteis que agregam valor à IoT. Este componente reúne estruturas de softwares e serviços Web. Algumas áreas nas quais as aplicações podem ser desenvolvidas são: sistemas de saúde e bem estar, cidades inteligentes, casas inteligentes, indústria 4.0 e agropecuária inteligente.

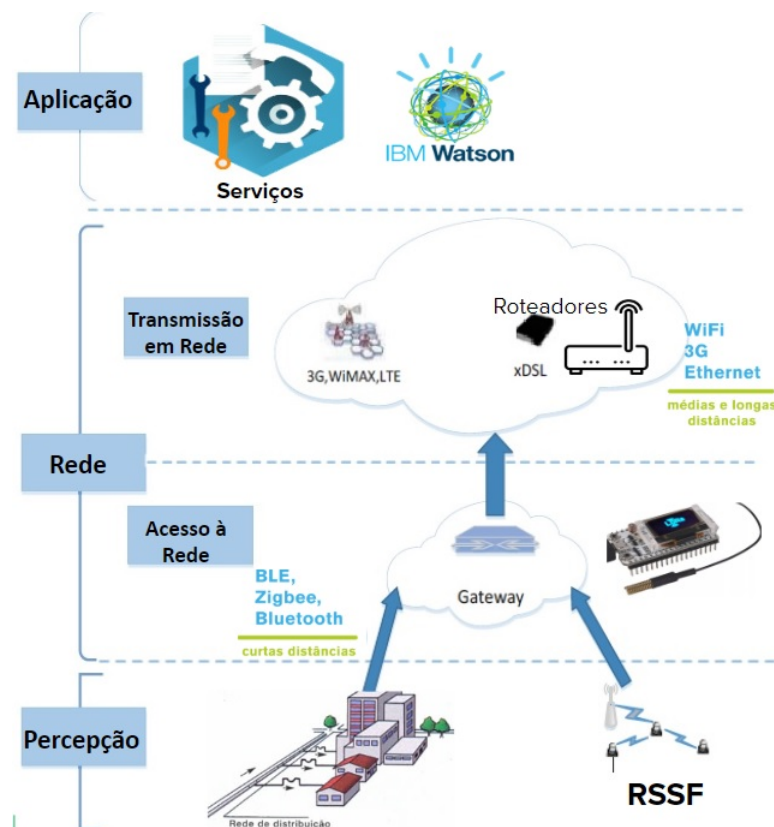


Figura 3.8: Arquitetura IoT
Fonte: (Sethi e Sarangi, 2017)

3.3 Ambiente de Desenvolvimento

Existem duas abordagens no que se refere ao armazenamento. Pode-se minimizar a inteligência dos objetos e utilizar ao máximo o processamento na nuvem; denominado de *Cloud Centric IoT* (Centrado na Nuvem). E pode-se, também, explorar a inteligência dos objetos, utilizando a Internet para a comunicação entre objetos, o que é denominado *Fog Computing* (Computação na Neblina) ou *Edge Computing* (Computação na Borda).

A *computação em nuvem* consiste em repassar tarefas de um dispositivo local para uma infraestrutura em outro local, acessada pela Internet. Esta infraestrutura consiste em um conjunto de recursos computacionais, que podem ser componentes de hardware, rede, armazenamento, software e aplicações.

O termo *computação em neblina* denomina a computação realizada em dispositivos com menor capacidade de processamento, como gateways e roteadores, que estão mais próximos ao nós finais, em oposição ao processamento em servidores, que acontece na nuvem. Mas, se o volume de dados for muito alto, possivelmente os recursos computacionais da nuvem podem não ser suficientes. Por isso, dependendo do cenário, a abordagem em neblina pode ser mais adequada.

Existem plataformas de armazenamento de disponíveis na Web. Algumas auxiliam o desenvolvimento de determinados tipos de aplicações, outras provêm outros tipos de serviços para a IoT também. A maioria dessas plataformas baseia suas funcionalidades de acordo com os modelos de dados definidos. Assim, logo após coletados, os dados, quando adequados ao modelo, serão armazenados de forma a possibilitar sua consulta subsequente. Algumas delas disponibilizam acessos sob a forma de wizards ou dashboards, para a definição de regras e a execução de atividades com base em eventos ou comportamento dos dados. São inúmeras as plataformas disponíveis, destacando-se algumas, como: AWS IoT da Amazon, Adafruit IO, Temboo, ThingSpeak, entre muitas outras (Pflanzner e Kertész, 2016).

3.3.1 Computação em Nuvem

A tecnologia de nuvem representa a entrega de recursos computacionais e capacidade de armazenamento como um serviço para usuários finais. Tal tecnologia depende de recursos trafegados pela rede, na maioria das vezes, pela Internet. Os usuários finais acessam aplicativos por meio de navegadores Web ou aplicativo móvel, enquanto os dados de software e usuários estão localizados em servidores remotos (Lekic e Gardasevic, 2018).

A Nuvem fornece, a qualquer momento, a capacidade de acessar aplicativos, dados, serviços de armazenamento de dados e não exige que o usuário saiba a localização física do sistema de serviços. Essa tecnologia está, em grande parte, presente em forma particular, como redes sociais, serviços de e-mail ou telefones inteligentes etc. Além disso, a nuvem é um serviço que oferece quantidades ilimitadas de todos os recursos (disco rígido, processador, memória etc.). As pessoas realmente precisam disso e na medida em que se adapte às suas necessidades, fazendo tudo o que puderem para controlá-lo de forma independente (Lekic e Gardasevic, 2018).

Existem três tipos de tecnologia *Cloud*:

- Software como Serviço, SaaS;
- Plataforma como Serviço, PaaS;
- Infraestrutura como Serviço, IaaS.

A base da tecnologia Cloud é uma infra-estrutura convergente, composta de diferentes tecnologias de TI ligadas a uma entidade lógica e funcional, como a abstração de recursos físicos pela virtualização, bem como o compartilhamento de recursos. No modelo *Cloud computing*, distinguem-se duas partes do sistema: o *front-end*, que é uma parte do usuário e inclui todas as partes da infraestrutura controlada pelo usuário, bem como a maneira como o usuário acessa o serviço e o *back-end*, que inclui uma infraestrutura de provedores de nuvem (Lekic e Gardasevic, 2018).

Plataforma como Serviço refere-se ao ambiente de desenvolvimento e ao pacote necessário de subsistemas de software. O usuário pode desenvolver, testar e distribuir seus próprios aplicativos, que são executados na infraestrutura de um provedor de serviços em nuvem. O Provedor é responsável por um ambiente de plataforma e executável, a qual geralmente inclui: servidores, infraestrutura de rede, data center, sistemas operacionais e linguagens de programação.

O usuário tem controle sobre os aplicativos e a camada intermediária, enquanto o provedor de serviços em nuvem controla outras camadas de infraestrutura, mas o usuário pode escolher a estrutura do ambiente. Em geral, a equipe que trabalha no desenvolvimento de software não é limitada pela localização geográfica dos recursos ou por outros membros da equipe. Exemplos de plataformas de nuvem são o Amazon Elastic Beanstalk, o IBM Bluemix, o Google App Engine e o Microsoft Azure (Blackstock e Lea, 2014).

Plataforma IBM Bluemix Cloud

O IBM Bluemix é uma plataforma de nuvem como serviço (PaaS) desenvolvido pela IBM. Usada para criar, executar, implantar e gerenciar aplicativos na nuvem. O Bluemix é baseado na tecnologia aberta do *Cloud Foundry* e é executado na infraestrutura do SoftLayer. Suporta várias linguagens de programação e plataformas, incluindo Java, Python, Node.js, PHP, Swift, Ruby Sinatra, Ruby on Rails, Go (Blackstock e Lea, 2014).

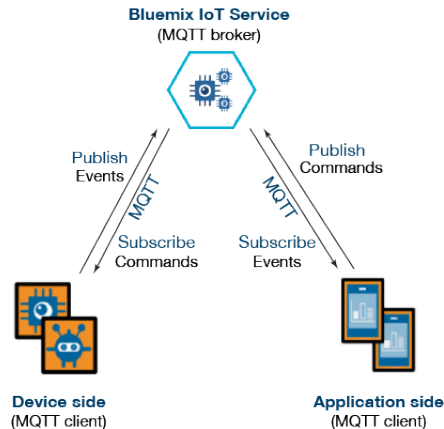


Figura 3.9: Bluemix - MQTT
Fonte: (Blackstock e Lea, 2014).

Existem plataformas similares, como o Amazon AWS e o Microsoft Azure, tão robustas quanto IBM Bluemix para a realização de projetos IoT. Contudo Bluemix possibilita licença gratuita para pesquisas e testes de serviços.

O IBM Bluemix é composto por um painel que possibilita acessar todos seus serviços e plataformas, com um catálogo longo que permite configurar novos serviços. Entre os serviços encontrados no Bluemix, existem serviços de infraestrutura, cognitivos e de IoT. O IBM Bluemix é integrado com a plataforma Node-Red, que realiza tanto ações de controle, como comunicação entre todos os dispositivos.

3.3.2 Node-RED

Node-RED é uma ferramenta baseada na web para conectar dispositivos de hardware e APIs. Seu editor é através do navegador Web, proporcionando maior mobilidade durante o desenvolvimento das aplicações. É implementado em JavaScript, usando o *framework* Node.js e aproveitando o modelo de evento e suporte nativo para JavaScript em ambos os lados do editor, tanto no cliente, quanto no servidor. Na Figura - 3.10 pode ser observado um exemplo do editor Node-RED, nela pode se observar nós, conectando entre si.

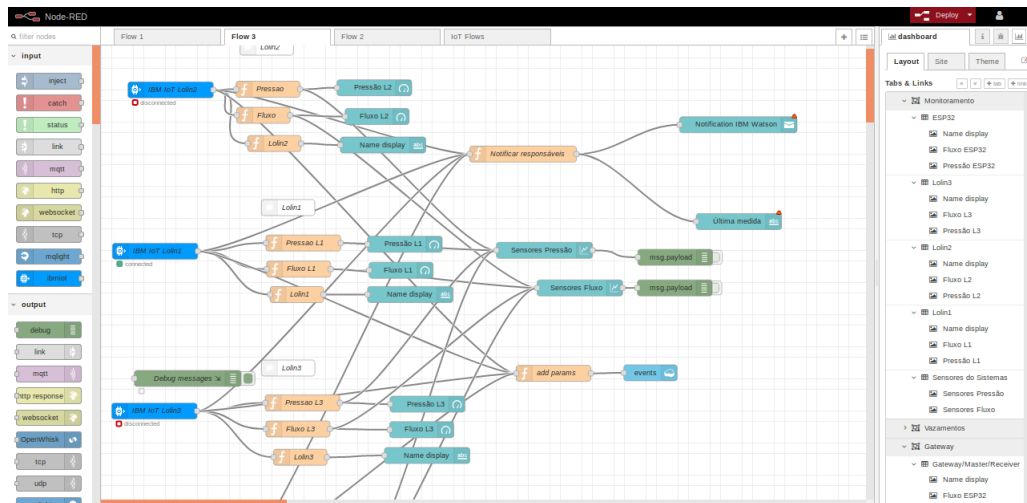


Figura 3.10: Editor Node-RED
Fonte: Própria (2019)

Node-RED é suportado pela plataforma IoT da IBM, além de uma comunidade grande de usuários contribuindo com novos nós e fluxos. Novos nós podem ser implementados em JavaScript e inseridos no sistema, adicionando um arquivo HTML, para implementar a interface do usuário no hardware e APIs. O navegador, e um arquivo JavaScript, realiza o processamento de dados ou integração no servidor. Representações textuais de fluxos podem ser importadas e exportadas entre instâncias. Quando um nó usado em uma instância do Node-RED não está disponível em outro, um espaço é reservado a ele, exibindo-o na interface do editor do usuário, a fim de indicar a necessidade de instalação de uma implementação de nó, antes do fluxo do deploy da aplicação (Blackstock e Lea, 2014).

Os fluxos criados no Node-RED podem ser exportados como JSON. Cada array do arquivo estará associada com determinado nó e com sua árvore de nós subjacente. Informações de configuração que podem ser compartilhadas entre os nós, como o nome de usuário do Twitter ou tópico MQTT, são realizadas em um nó de configuração (Blackstock e Lea, 2014).

Gerenciador MQTT Blynk

Segundo Serikul et al. (2018), o Blynk é uma plataforma de aplicativos que rodam em sistemas iOS e Android para uso com Arduino, Raspberry Pi e outros.

O dispositivo precisa apenas estar conectado à Internet - seja por Arduino, ESP8266, ou Raspberry Pi, com Wi-Fi ou Ethernet - para que o Blynk possa ser usado para um projeto IoT. As conexões também podem ser realizadas com: Bluetooth e BLE, USB (Serial) e GSM.

O aplicativo consiste em um painel digital, onde é possível criar uma interface gráfica para o projeto, arrastando ou soltando *widjets*. Cada *widjet* custa um valor diferente de ‘créditos’, chamados de ‘energias’. Mais créditos podem ser comprados, conforme houver necessidade. O Blynk é composto de três partes: o Blynk App, o Blynk Server e a Blynk Library, conforme a arquitetura representada na Figura - 3.11.

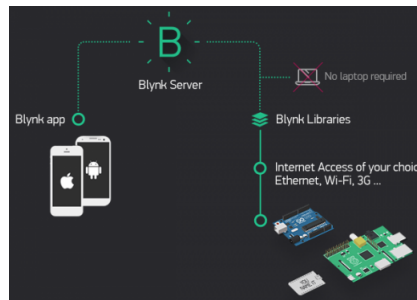


Figura 3.11: Arquitetura Blynk - MQTT
Fonte: (Blackstock e Lea, 2014)

Foram realizados testes de comunicação das mensagens enviadas através dos sensores do protótipo com esta plataforma, como pode ser visualizado na Figura - 3.12. Foi relativamente simples configurar e implementar a comunicação nos dispositivos, porém, para a placa ESP32, só foi possível a comunicação via Wi-Fi, pois a plataforma ainda não implementou comunicação LoRa. Ao trocar um *widjet* por outro, os valores de ‘energia’ são estornados.

No entanto, inicialmente, a plataforma Blynk só disponibiliza 2000 créditos de energias, não sendo suficientes para implementar todos os recursos de interface necessários para o desenvolvimento deste projeto. A plataforma também não possui uma interface web para a análise de dados ou envio de comandos, limitando-se ao uso de apenas um aparelho celular.



Figura 3.12: Aplicação Blynk do Projeto - MQTT
Fonte: Própria (2019)

3.3.3 Hardware

Quando se trata de hardware em IoT, pode-se pensar em *smartphones*, uma vez que eles têm sensores, *displays* e um endereço único e estão conectados à Internet. Hardware para IoT podem ser classificados em duas grandes categorias: a de dispositivos e aparelhos portáteis e a de sistemas embarcados e placas, tal como representado na Figura - 3.13.

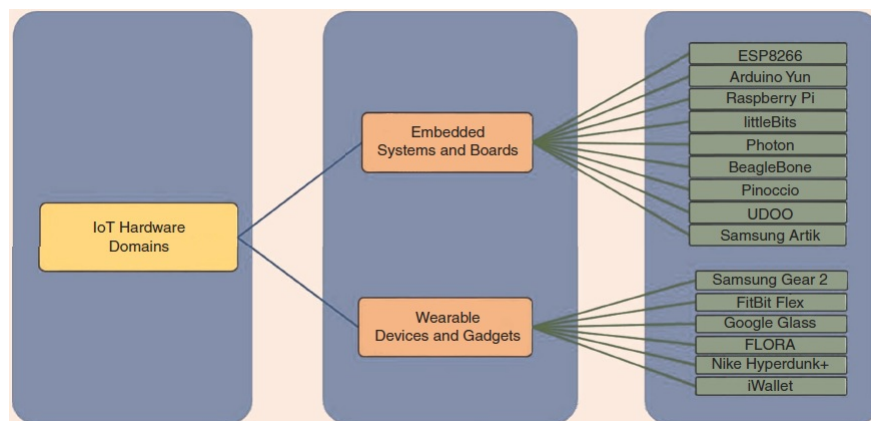


Figura 3.13: A classificação dos domínios de hardware de IoT
Fonte: (Pflanzner e Kertész, 2016)

De acordo Pflanzner e Kertész (2016), muitas placas e plataformas estão disponíveis no mercado para simplificar e acelerar o processo de desenvolvimento de um produto IoT, porém a seleção de uma placa ou plataforma para o protótipo de uma aplicação IoT do tipo DIY (*Do It Yourself*), um projeto ou produto é uma etapa crítica. Em termos gerais, três coisas devem ser levadas em conta a esse respeito: as especificações, a API aberta e o hardware aberto. As especificações do projeto desempenham um papel vital na seleção do hardware a ser utilizado em um cenário particular de IoT. Devem-se considerar aspectos fundamentais, tais como o processador/microcontrolador, clock, GPIO, ADC / DAC, conectividade (Wi-Fi, Bluetooth ou Ethernet), comunicação (por exemplo, I2C, UART e SPI) e, além disso, o preço da placa de hardware.

3.3.4 Unidades de processamento e comunicação

LOLIN

O módulo NodeMcu ESP8266 ESP-12E Lolín é um microcontrolador que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial CH340G e um regulador de tensão 3.3V. A programação pode ser feita usando LUA ou a IDE do arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb.

O NodeMcu possui antena embutida e conector micro-usb para conexão ao computador, além de 11 pinos de I/O e conversor analógico-digital. Seu tamanho reduzido, e o baixo consumo de energia tornam-no uma excelente opção para projetos embarcados e IoT.

Conforme Yuliandoko et al. (2017), as especificações do módulo são:

- Módulo NodeMcu ESP8266 ESP-12E LoLin V3
- Wireless padrão 802.11 b/g/n
- Chip serial: CH340G (padrão 9600bps)
- Antena embutida
- Conector micro-usb
- Modos de operação: STA/AP/STA+AP
- Suporta 5 conexões TCP/IP
- Portas GPIO: 11
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI, etc

- Tensão de operação: 4,5 – 9V
- Taxa de transferência: 110-460800bps
- Suporta Upgrade remoto de firmware
- Conversor analógico digital (ADC)
- Memória Flash: 1 – 4 MB
- Memória RAM 20 kB

Como as pinagens de alimentações para os sensores no Lolin são abaixo de 5V, e os sensores de fluxo, pressão e válvula solenoides necessitam de 5V para leitura de dados, faz-se necessária a utilização do módulo MB102, como pode ser visto na Figura - 3.14. Este módulo serve como fonte de alimentação para matriz de contatos, fabricado pela empresa YwRobot, é capaz de fornecer duas linhas de alimentação, de 5V e 3,3V, e possui um conector USB para saída de tensão, assim como um conector de entrada para adaptador de energia. Trata-se de um modelo de fonte não ajustável, por meio da configuração de jumpers na placa, desde que seja alimentado com uma tensão de entrada entre 6,5 e 12V.

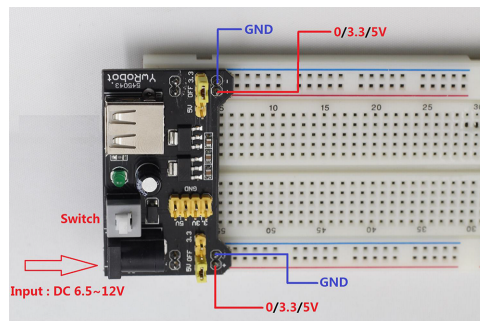


Figura 3.14: Módulo MB102 utilizado em conjunto com Lolin
Fonte: Própria (2019)

Módulo ESP32

ESP32 é uma placa de desenvolvimento voltada ao mundo da IoT, desenvolvida pela empresa Heltec Automation, e está equipada com Wi-Fi, Bluetooth Low Energy e o processador Tensilica LX6 Dual Core, operando com até 240 Mhz de velocidade, junto ao transceptor de LoRa SX1276, capaz de realizar transmissões sem fio na frequência de 915MHz com baixo consumo de energia, longo alcance e grande capacidade anti-interferência. Para realizar a interface homem máquina, foi utilizado o display OLED, de 0,96 polegada e cor azul, tendo uma resolução de 128x64 px e baixíssimo consumo de

energia, por se tratar de tecnologia OLED, necessitando apenas de um conector para bateria de lítio com circuito de carga e descarga para baterias de 3,7V e até 1000 mAh (Maier et al., 2017).

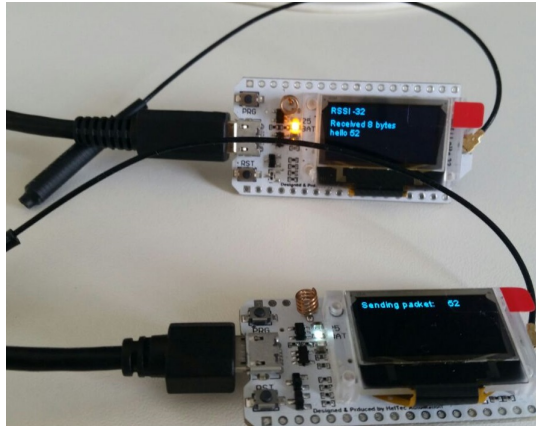


Figura 3.15: Dispositivo utilizado
Fonte: Própria (2019)

Para programar, a Heltec disponibilizou a instalação da placas na IDE de desenvolvimento arduino no gerenciador de placas, facilitando a codificação da placa através da IDE. O Chip CP2102 da Silicon LAB, por sua vez, faz a conversão USB/Serial e, conseqüentemente, a conexão com o PC.

Com todas essas tecnologias integradas na ESP32 (Figura - 3.15), seu potencial é grande para desenvolver inúmeras aplicações de automação residencial, industrial, rural, sistemas de localização, infraestrutura de serviços, controle remoto de sensores e atuadores entre outras muitas aplicações voltadas à IoT e à M2M (Machine to Machine).

3.3.5 Sensores

Na etapa de desenvolvimento do protótipo, foram utilizados um microprocessador ESP32 Figura - 3.15 e três microprocessadores Lolin, comunicados com a plataforma IBM Watson Bluemix, para a aquisição de dados e atuação com os sensores, tendo, no propósito, as opções de: abrir e fechar as válvulas solenoides, para controlar em quais segmentos aconteceriam os vazamentos da rede; receber os sinais enviados pelos sensores de pressão Figura - 3.16 e de fluxo Figura - 3.18, para a aquisição e o registro dos dados e a análise da aplicação na nuvem dos dados adquiridos.

Sensor de Pressão

Segundo Caro et al. (2015), os sensores de pressão ou os elementos do sensor de pressão são elementos de medição que convertem a quantidade física de pressão em uma

quantidade elétrica proporcional à pressão. Diferentes efeitos físicos e diferentes materiais sensores, como o silício, cerâmica ou metal, são usados. O sensor MPX5010DP utilizado, conforme a Figura - 3.16, faz parte dos **sensores piezoresistivos** que utilizam um diafragma de medição semiconductor (silício) com estruturas seletivamente difundidas. Realiza-se o efeito piezoresistivo, que é baseado na mudança na resistência elétrica nos materiais semicondutores, causada pelo alongamento e compressão, o que afeta a mobilidade dos elétrons sob o estresse mecânico.

Basicamente, este sensor detecta mudanças na pressão do ar em suas duas portas de dutos. A saída do sensor é uma tensão analógica, que varia dependendo da pressão. O sensor de pressão pode detectar alterações na pressão de ar positiva e negativa. A pressão de ar positiva é equivalente a soprar em um tubo. A pressão negativa do ar, por seu turno, cria um vácuo, semelhante ao sugar de um canudo (Yang et al., 2009).



Figura 3.16: Sensor de Pressão - MPX5010DP
Fonte: Própria (2019)

A conexão desse sensor de pressão à protoboard dá-se através dos três condutores do dispositivo, conforme mostrado na Figura - 3.17. O sensor é um dispositivo de seis pinos, mas apenas os pinos 1-3 estão conectados.

As características principais são erro máximo de 5,0 percentual entre 0 e 85 graus Celsius; tempo de resposta de 1 ms, adequado para sistemas baseados em microprocessador ou microcontrolador, permitindo a configuração para leitura do diferencial de potencial; pressão máxima medida, em que ($P_1 > P_2$), de 75 kPa. A pressão além desse limite danificaria permanentemente o sensor. No entanto, para medidas realizadas operacionalmente em 5,0 Vcc, em uma temperatura de 25C, a leitura máxima será de 10 kPa. 1,0 kPa (kiloPascal) é igual a 0,145 psi (libra por polegada quadrada) (Caro et al., 2015).

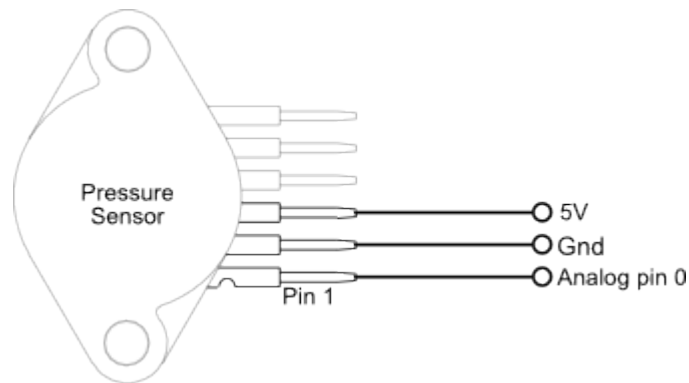


Figura 3.17: Conexão do MPX5010DP
Fonte: (Caro et al., 2015)

Sensor de Fluxo

Este sensor é constituído de uma válvula plástica, um rotor de água e um sensor de Efeito Hall (efeito magnético). Um exemplo é, ao prender-se um ímã em qualquer parte móvel, será detectado o movimento dessa parte, medindo-se, assim, sua rotação, com a utilização de sensores magnéticos.



Figura 3.18: Sensor de Fluxo - FS300A e YF-S102B
Fonte: Própria (2019)

De acordo com Caro et al. (2015), quando a água flui pelo rotor, altera sua rotação e o sensor de Efeito Hall emite o sinal correspondente ao pulso. Na Figura - 3.19, podemos observar um diagrama de como funciona o Efeito Hall. Na parte "A", o elemento Hall recebe uma carga negativa na extremidade superior (azul) e uma positiva na extremidade inferior (vermelho). Em "B" e "C", tanto a corrente elétrica ou o campo magnético são revertidos, causando a polarização reversa. A inversão de ambas, corrente e campo magnético ("D"), faz com que o elemento Hall novamente assumira a carga negativa na

extremidade superior. Os números de 1 a 5 representam, respectivamente, elétrons, sensor hall, ímãs, campo magnético e fonte de alimentação.

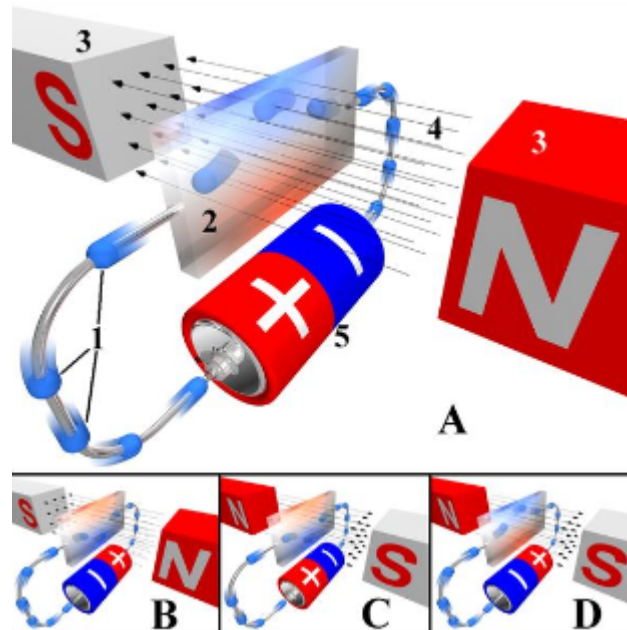


Figura 3.19: Efeito Hall
Fonte: (Caro et al., 2015)

O efeito Hall está presente em todos os materiais, mas sua aplicação é eficaz somente onde a mobilidade do elétron é relativamente alta, considerando um determinado material, apresentado na Figura - 3.20, com espessura d , conduzindo uma corrente i ao longo de seu comprimento e sujeito a um campo magnético B , aplicado perpendicularmente à direção de sua espessura. O resultado dessas condições é a geração de tensão, conhecida como tensão de Hall, V_{HALL} , cuja magnitude é dada por:

$$V_{HALL} = (RH/d) \times i \times B, \text{ onde } RH \text{ é a constante Hall do material.}$$

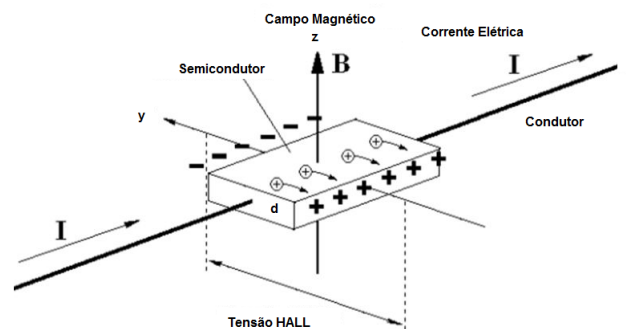


Figura 3.20: V_{HALL}
Fonte: (Caro et al., 2015)

Válvula solenoide

A função das válvulas solenoides é de permitir, orientar ou interromper um fluxo de líquido. Por distribuir o líquido aos outros elementos de trabalho, são conhecidas também como válvulas de distribuição.

Foi utilizada no protótipo a válvula solenoide para água 110V. No seu interior, está presente uma bobina cilíndrica. Quando a corrente elétrica é conduzida pelos fios da bobina, é gerada uma força em seu centro, responsável pela abertura ou fechamento do sistema. Seu posicionamento é de 180 graus em relação à entrada e saída de água; possui rosca de entrada de meia polegada e saída de água, compatível com o encanamento de várias residências; seu estado inicial é NF (normalmente fechado). Dessa forma, mesmo na falta de energia, o sistema continua impedindo a passagem de água.

Características: Vazão mínima= 7l/min; Vazão máxima= 40 l/min; Temperatura máxima do líquido: 60°C e Entrada e Saída: rosca externa de 1/2 polegada.

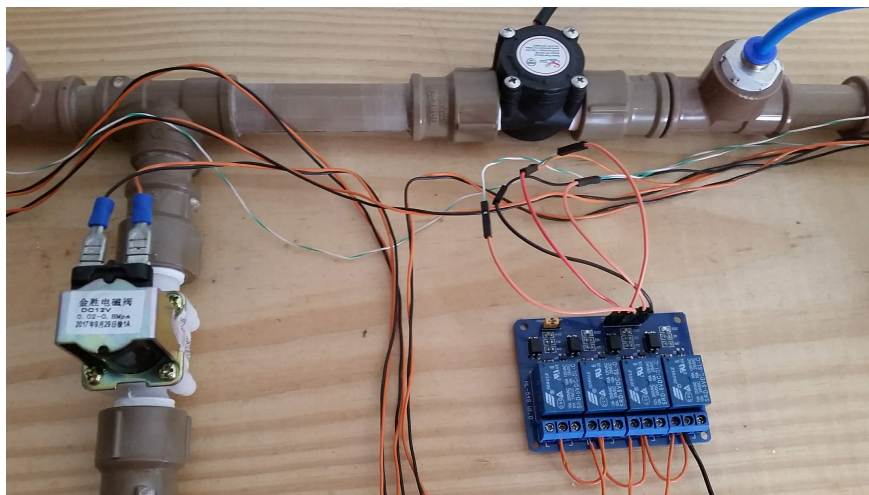


Figura 3.21: Solenoide

Fonte: Própria (2019)

Para o circuito das válvulas solenoide, foi utilizada uma fonte de alimentação comercial de corrente contínua de 12 V e um módulo relé, com 4 canais de 5 V com optoacoplador, montados conforme a Figura - 3.21. O circuito integrado e as ligações elétricas foram montados diretamente na protoboard sem soldas.

Experimentos e Resultados

Neste tópico, são apresentados todos os detalhes do projeto desde o planejamento descritos na seção 4.1, seguido pelo detalhamento da arquitetura na seção 4.2, após os detalhes de montagem e implementação do protótipo, nas seções 4.3 e 4.4, finalizando-se com análise dos resultados obtidos pela aplicação na seção de análise dos resultados 4.5.

4.1 Planejamento e execução dos experimentos

A etapa de planejamento dos experimentos foi organizada e executada da seguinte forma:

Criação do protótipo: Desenvolver o protótipo de IoT, contemplando a simulação de uma rede de distribuição de água e o envio de dados para a nuvem, de modo que o gerenciamento fosse realizado através de uma aplicação Web.

Coletar os dados: Realizar os testes, simulando vazamentos na rede, e coletar os dados, através das válvulas solenoides.

Refinar: Realizar melhorias e refinar os processos e equipamentos da simulação realizada.

Analisar os dados: A partir dos dados coletados, analisar se os dados e a proposta estão cumprindo o objetivo proposto.

4.2 Arquitetura do projeto

Na Figura - 4.1 apresenta-se a arquitetura do projeto e suas camadas; a aplicação lerá dados dos sensores que serão transmitidos através da estrutura física para a plataforma Cloud da IBM. Para proteger a aplicação contra o envio de dados por dispositivos desconhecidos, cada dispositivo é autenticado por um token da API de gerenciamento. Da mesma forma, a aplicação precisa autenticar-se usando um token da API, que irá permitir a leitura e o processamento dos dados dos dispositivos.

Em cada dispositivo, é criado um cliente MQTT para enviar, em intervalos de 10 segundos através do WiFi, os valores de leitura de seus respectivos sensores ao IBM Watson IoT Platform.

O aplicativo criado em Node-RED mostra os dados de leitura, conforme detalhado na seção 4.4, e possibilita o envio de comando para gerar os vazamentos na rede. Por segurança, o aplicativo precisa estar autorizado a consumir os dados enviados ao IBM Watson, utilizando o token de autorização de API.

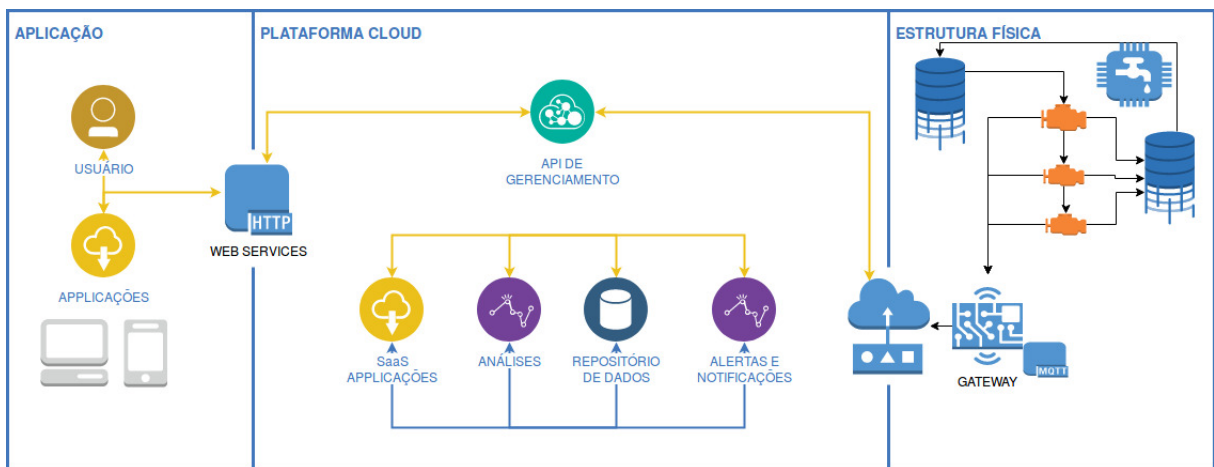


Figura 4.1: Camadas da Arquitetura do projeto
Fonte: Própria (2019)

Para enviar dados ao Watson IoT Platform, é necessário registrar todos dispositivos no serviço do IoT Platform e, para cada dispositivo, é gerado um token de autenticação. Assim, é possível identificar um dispositivo exclusivamente, através de um ID do cliente. O ID do dispositivo é uma chave única por dispositivo, composta de três valores [**d:<organization>:<typeid>:<device-id>**], em que o *typeid* e o *device-id* são o tipo do dispositivo informado na plataforma Watson, e *organization* é o ID da aplicação IoT criado na plataforma.

No código fonte de cada dispositivo a ser identificado, é criado um cliente MQTT para enviar, em intervalos de 10 segundos, os valores de leitura de seus respectivos sensores ao IBM Watson IoT Plataforma. Esse envio é feito através do WiFi.

```

101 //ID que usaremos para conectar
102 const String CLIENT_ID = "d:"+ORG+": "+DEVICE_TYPE+": "+DEVICE_ID;
103
104 //Server MQTT que iremos utilizar
105 const String MQTT_SERVER = ORG + ".messaging.internetofthings.ibmcloud.com";
106
107 //Comandos para o Relé 1
108 #define COMMAND_TOPIC_R1 "iot-2/cmd/commandR1/fmt/json"
109
110 #define TOPIC_DATA "iot-2/evt/status/fmt/json"
111
112 //Cliente WiFi que o MQTT irá utilizar para se conectar
113 WiFiClient wifiClient;
114
115 //Cliente MQTT, passamos a url do server, a porta e o cliente WiFi
116 PubSubClient client(MQTT_SERVER.c_str(), 1883, wifiClient);
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472 //Função responsável por conectar ao server MQTT
473 void connectMQTTServer() {
474     Serial.println("Connecting to MQTT Server...");
475
476     //Se conecta com as credenciais obtidas no site do Watson IoT
477     if (client.connect(CLIENT_ID.c_str(), "use-token-auth", DEVICE_TOKEN)) {
478         //Se a conexão foi bem sucedida
479         Serial.println("Connected to MQTT Broker");
480         //Quando algo for postado em algum tópico que estamos inscritos
481         //a função "callback" será executada
482         client.setCallback(callback);
483         //Se inscreve nos tópicos de interesse
484         client.subscribe(COMMAND_TOPIC_R1);
485     } else {
486         //Se ocorreu algum erro
487         Serial.print("Error = ");
488         Serial.println(client.state());
489         connectMQTTServer(); //tenta conectar novamente
490     }
491 }
492
493 sendSensor();
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

Figura 4.2: Código fonte do dispositivo para comunicação MQTT
Fonte: Própria (2019)

4.3 Protótipo Físico

Foi desenvolvido o protótipo hidráulico, visualizado na Figura - 4.3, a fim de elucidar as questões e alcançar os objetivos propostos nesta dissertação.



Figura 4.3: Protótipo
Fonte: Própria (2019)

O diagrama da Figura - 4.4 representa o esquema dos segmentos do protótipo, que pode ser lido da seguinte forma:

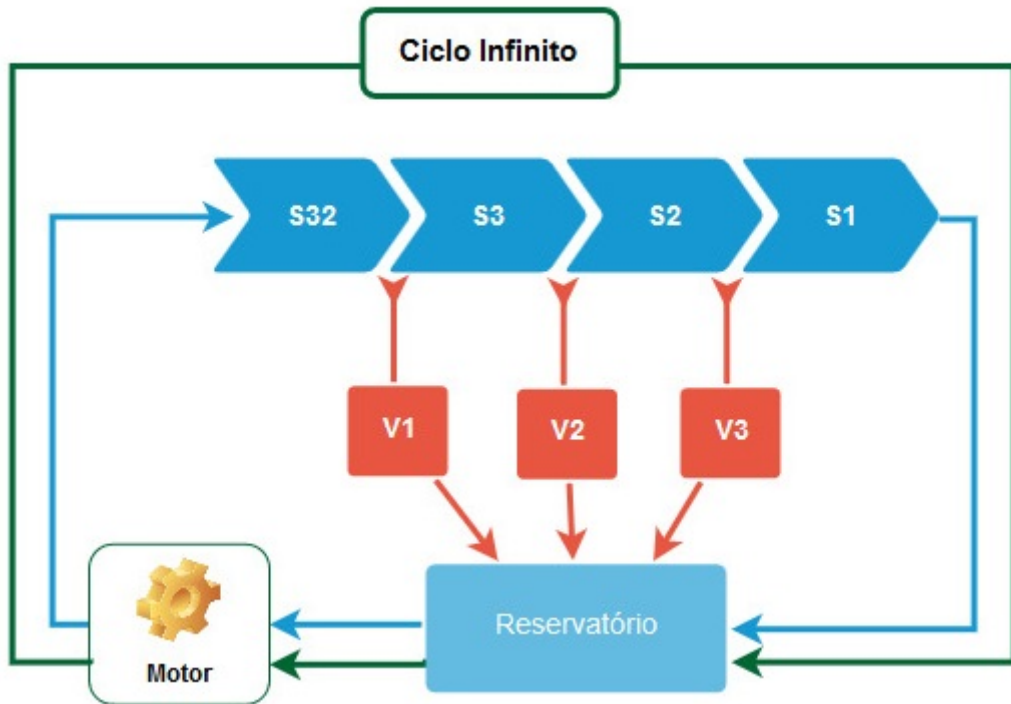


Figura 4.4: Representação esquemática do protótipo
 Fonte: Própria (2019)

- **S32:** É composto pelo microprocessador ESP32, que realiza a leitura dos sensores de fluxo e da pressão logo após a bomba d'água (motor) reiniciar o ciclo da água no ciclo infinito. Neste trecho, não há qualquer válvula solenoide que realizará a simulação de vazamento.
- **S3:** Neste segmento, o microprocessador Lolin realizará a leitura dos sensores de fluxo e de pressão logo após o V1 que representa a válvula solenoide conectada a esse mesmo Lolin e poderá ser acionada para simular o primeiro vazamento da rede.
- **S2:** Assim como o S3, este é também um microprocessador Lolin. Este lê dados dos próprios sensores de fluxo e de pressão logo após o V2, representando sua válvula solenoide, acionada para simulações de vazamentos na rede.
- **S1:** O último segmento formado por um microprocessador Lolin registra os dados de seus próprios sensores de fluxo e de pressão logo após o V3, uma válvula solenoide conectada ao microprocessador que, ao ser acionada, simula o terceiro e último trecho com vazamentos na rede antes do reservatório.

Para o desenvolvimento do protótipo hidráulico utilizaram-se os materiais listados na Tabela - 4.1, juntamente com o custo (em reais) associado a cada componente, se fossem comprados em agosto de 2019.

Tabela 4.1: Tabela de custos associados ao protótipo

	Quantidade	Valor Total
Reservatório de água	1	15,90
Tubulações de PVC	2	8,90
Juntas e conexões	várias	85,90
Válvula Reguladora de Pressão	1	98,00
Madeira para construção da bancada	várias	130,00
Motobomba Periférica 1 Hp Bp1000 Intech Machine Bivolt	1	320,00
Protoboard	1	9,90
Módulo Relé 4 Canais 5v com Optoacoplador	1	25,90
Fonte de Energia Corrente Contínua Capelacqua 12v	1	53,96
Módulo de Alimentação 3.3v/5v - Mb102	1	17,68
Válvulas solenoides	3	128,31
Sensores de Pressão MPX5010DP	4	253,80
Sensores de fluxo FS300A e YF-S102B	4	159,60
Microprocessadores ESP32 LoRa SX1276	2	320,00
Microprocessadores NodeMcu ESP8266 ESP-12E	3	119,70
		R\$ 1.747,55

4.4 Software

Os principais requisitos da aplicação do protótipo seria atender a questão de mobilidade. Assim, ele deveria possibilitar o acesso de diversos dispositivos, requisito contemplado durante o desenvolvimento da aplicação, através de Node-RED, com suas funcionalidades Web Design responsivo.

A interface da aplicação final disponibiliza recursos visuais atrativos de interface rica, com dashboards e gráficos, contendo os dados coletados do protótipo, de pressão e fluxo.

Ainda na aplicação, o usuário tem uma opção no menu principal com a possibilidade de acionar cada uma das válvulas solenoides individualmente, como pode ser visualizado na Figura - 4.5.

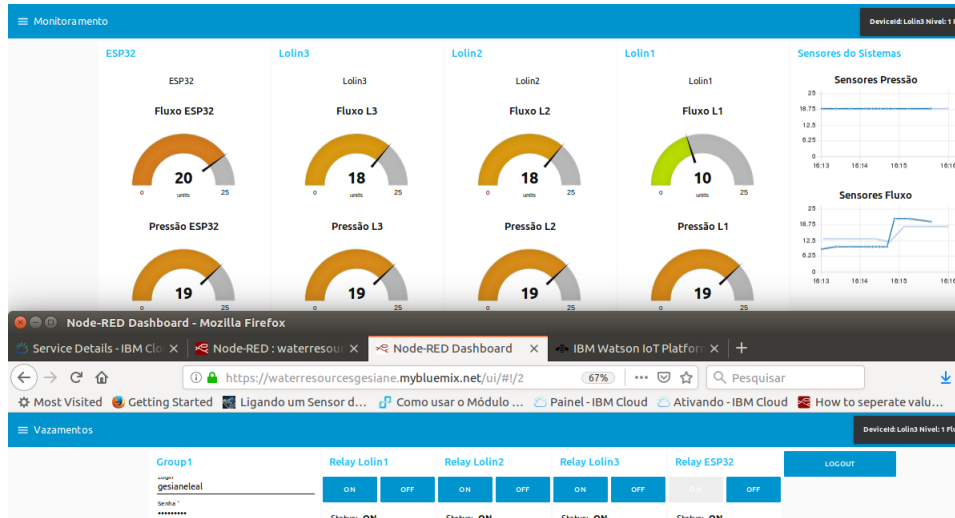


Figura 4.5: Interface da aplicação
Fonte: Própria (2019)

A solução desenvolvida se divide em três opções de menu:

- A primeira, com os dados de monitoração, mostra os dados de leitura em tempo real de cada sensor individualmente e classificados por coluna por seu respectivo microprocessador. Além disso, apresenta gráficos que agrupam os dados lidos dos sensores de todos os microprocessadores por determinado tempo, de modo que se crie uma linha temporal dos valores de pressão e fluxo.

- A segunda representa a parte 'atuador' da aplicação IoT, em que serão simulados os vazamentos e o usuário acionará a abertura ou fechamento das válvulas solenoides, conforme desejar.

- A terceira interface mostra os dados dos microprocessadores ESP32 gateway e o slave, para acompanhar em tempo real quais dados o gateway mostra em relação aos dados transmitidos em tempo real, demonstrando visualmente o delay entre esse tipo de comunicação.

Os dados das leituras dos sensores são registrados no banco de dados NoSQL Cloudbant da IBM Watson, como é possível visualizar na Figura - 4.6. O termo banco de dados NoSQL é usado para descrever esquemas de armazenamento de dados não-relacionais e sem esquemas.

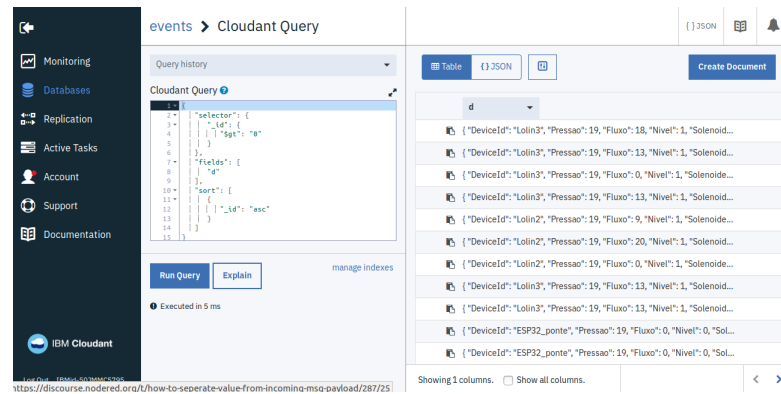


Figura 4.6: Dados registrados no banco de dados
Fonte: Própria (2019)

No banco de dados Cloudant, os dados são armazenados como "documentos", e cada registro está no formato chave-valor padrão JSON, conforme demonstração da leitura salva na Figura - 4.7.



Figura 4.7: JSON salvo no Cloudant
Fonte: Própria (2019)

Na Figura - 4.7, cada registro refere-se a uma única leitura de todos os sensores de apenas um microprocessador.

4.5 Análise dos Resultados

Esta seção tem por objetivo organizar e sintetizar os dados coletados durante as execuções das simulações do protótipo representando uma mini rede de distribuição de água.

Os dados foram analisados realizando a comparação entre os resultados obtidos durante cada execução da aplicação e, a cada nova execução, uma ou mais válvulas solenoides eram abertas e/ou fechadas, de modo a simular um rompimento na rede principal. Sendo assim, seguem os cenários e seus respectivos resultados.

- **Cenário 1:** rede principal sem nenhum vazamento, ou seja, as válvulas V1, V2 e V3, apresentadas no esquema Figura - 4.4, estão fechadas, o que permite o fluxo de água direto, partindo do reservatório e retornando sem desvios.

A seguir, no gráfico da Figura - 4.8, é apresentado o resultado das leituras dos sensores de todos os microprocessadores:

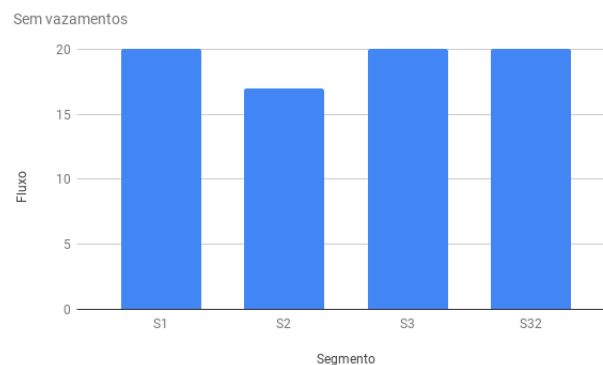


Figura 4.8: Leituras de fluxo sem vazamentos na rede
Fonte: Própria (2019)

A análise desse resultado permitiu entender que, em todos os sensores de fluxo, os valores ficaram altos e próximos à vazão realizada pela bomba d'água.

- **Cenário 2:** rede principal, com todos os vazamentos do protótipo possíveis, ou seja, as válvulas V1, V2 e V3, apresentadas no esquema Figura - 4.4, estão abertas. Assim, o fluxo de água parte do reservatório e pode desviar antes dos segmentos S3, S2 ou S1.

No gráfico representado na Figura - 4.9, apresentam-se as leituras dos sensores de todos os microprocessadores:

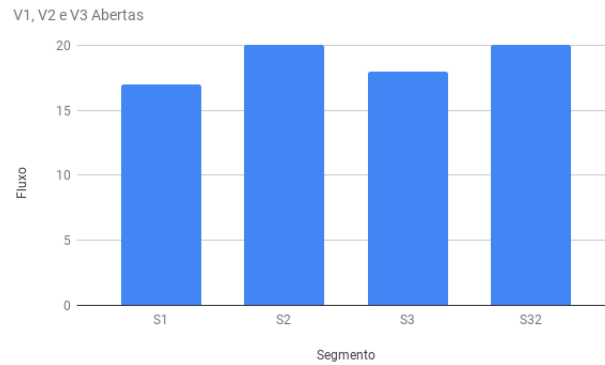


Figura 4.9: Leituras de fluxo com vazamentos em toda rede
Fonte: Própria (2019)

A análise desse resultado surpreendeu, pois todos os sensores de fluxo ficaram com seus valores altos e próximos à vazão realizada pela bomba d'água. Isso porque o motor responsável por bombeamento compensou o volume de água conforme a demanda da rede de distribuição, impossibilitando a detecção de vazamento na rede. Para aplicações em cenários reais, seria necessária a realização de novos experimentos e/ou incluir outros sensores para associar maiores informações que indiquem que a rede esta danificada.

- **Cenário 3:** rede principal, com um único vazamento através da abertura da válvula V1, apresentada no esquema da Figura - 4.4. Assim, o fluxo de água parte do reservatório e pode ou não desviar antes dos segmentos S3.

No gráfico representado na Figura - 4.10, apresentam-se as leituras dos sensores de todos os microprocessadores:

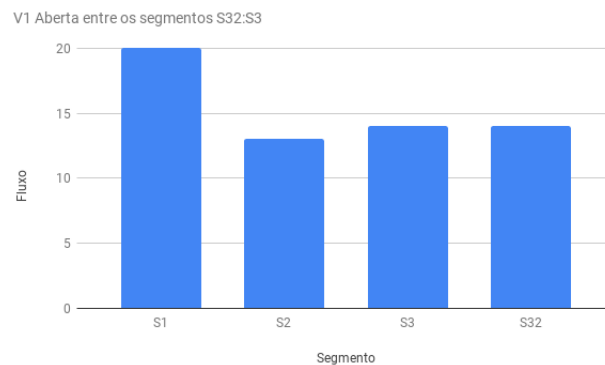


Figura 4.10: Leituras de fluxo com vazamentos em V1
Fonte: Própria (2019)

O gráfico desse cenário mostrou que, quando há um ponto específico da rede com vazamento, a demanda não chega ser alta o suficiente para acionar o motor de bomba d'água a trabalhar mais. Desse modo, em toda a rede, os valores de leitura pelos sensores de fluxo ficam bem abaixo da vazão realizada pela bomba d'água. Pode-se concluir que há, realmente, vazamentos na rede, porém os dados não permitiram a identificação da localização do rompimento.

- **Cenário 4:** rede principal, com um único vazamento através da abertura da válvula V2, apresentada no esquema Figura - 4.4. Assim, o fluxo de água parte do reservatório e pode ou não desviar entre os segmentos S3 e S2.

O gráfico representado na Figura - 4.11 apresenta os valores de leituras dos sensores de fluxo de todos os microprocessadores:

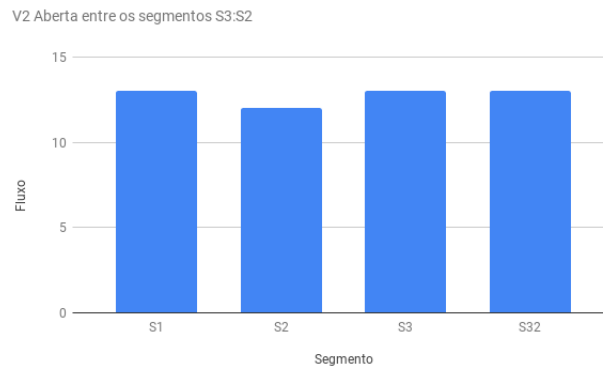


Figura 4.11: Leituras de fluxo com vazamentos em V2
Fonte: Própria (2019)

Com base no gráfico representado na Figura - 4.11, notou-se que o cenário 4 mostrou-se muito semelhante ao cenário 3, em que a leitura dos sensores de fluxo em toda a rede ficou abaixo da vazão realizada pela bomba d'água.

- **Cenário 5:** no último cenário, a rede principal terá um único vazamento através da abertura da válvula V3, apresentada no esquema Figura - 4.4. Assim, o fluxo de água parte do reservatório e pode ou não desviar entre os segmentos S2 e S1.

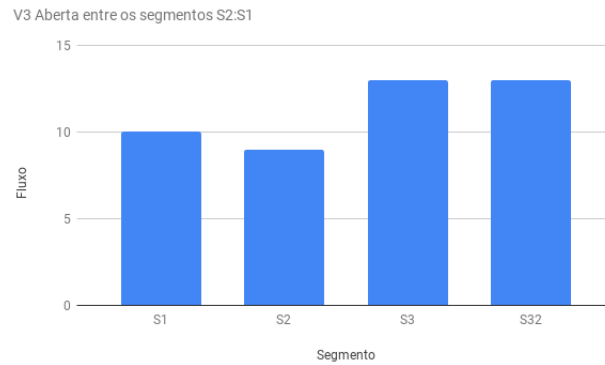


Figura 4.12: Leituras de fluxo com vazamentos em V3
Fonte: Própria (2019)

Conforme o gráfico representado na Figura - 4.12, notou-se que o cenário 5 mostrou-se muito semelhante ao cenário 3 e ao cenário 4, nos quais a leitura dos sensores de fluxo em toda a rede ficou abaixo da vazão realizada pela bomba d'água. Assim, reafirmou-se que, realmente, há como saber se há rompimentos na rede através da leitura de fluxo de pontos estratégicos da rede de distribuição.

Considerações finais

Como observado nas seções anteriores, quanto ao protótipo que simula uma rede de distribuição de água, uma aplicação de IoT devidamente arquitetada para uma rede real, tanto pode, como irá identificar que há vazamentos na rede.

Através das simulações, notou-se que as leituras de pressão não foram adequadas para a identificação de rompimentos da rede e permaneceram inalteradas. Ao contrário das leituras dos sensores de fluxo, em que, nas simulações dos cenários 3, 4 e 5, foi possível identificar que, realmente, há como saber se há rompimentos na rede através uma aplicação IoT devidamente bem projetada. Porém não foi possível identificar a localização do rompimento da rede.

Conclusão

Ainda são grandes os desafios encontrados para IoT como o ambiente de desenvolvimento, que ainda está muito complexo devido ao número de tecnologias envolvidas. O profissional desenvolvedor deverá ter conhecimentos multidisciplinares, em diversas áreas de conhecimentos tecnológicos e de empreendimentos (como Engenharia Elétrica, Engenharia de Software, Engenharia de Redes de Comunicação, Programação, Desenvolvimento de Projetos, entre outras habilidades), o que demanda novas abordagens e ferramentas que simplifiquem, auxiliem e agilizem o desenvolvimento dessas aplicações.

Há plataformas, software, hardware e tecnologia de comunicação que podem auxiliar na produção de novas aplicações de IoT. Porém a escolha destas determinaram o futuro ou o fracasso da solução de pesquisas científicas na gestão de recursos hídricos, uma vez que nem sempre os mesmos recursos utilizados em determinada solução são adequados para resolver o problema em diferentes tipos de cenários, exemplo: vazamentos em edificações pode ter características distintas de vazamentos em tubulações de diferentes tamanhos de bitola. Deixando claro que a eficácia de uma solução IoT depende de projetos bem modelados e que há a necessidade de novas pesquisas neste contexto.

5.1 Principais Resultados e Contribuições

Conforme resultados através das simulações do protótipo, notou-se que as leituras de pressão se mantiveram inalteradas independentemente de vazamentos na rede de simulação ou não. Isso indica que o sensor utilizado para pressão não é adequado para identificação de rompimentos da rede.

As simulações por protótipo permitiram identificar, através de leituras no fluxo de água, que há vazamentos na rede de distribuição simulada, pois, na maioria das simulações de vazamentos, os dados de todos os sensores de fluxo ficavam abaixo do valor de vazão do motor utilizado na rede.

A tecnologia de comunicação Lora mostrou-se relevante aos estudos de recursos hídricos, porém, no ecossistema de várias tecnologias de comunicação, torna-se complexa e dificulta a captação de dados de forma homogênea em paridade com outra tecnologia de comunicação, como foi o caso do WiFi neste experimento. Os dados enviados por Lora tinham um delay em relação aos demais dispositivos, isso por causa da necessidade de utilização de um gateway com acesso à internet para envio dos dados para a nuvem.

Sendo assim, a presente pesquisa mostrou-se promissora nos estudos de IoT na identificação de rompimentos da rede, diferentemente dos trabalhos relacionados encontrados, que apresentam todos os conceitos e elementos que caracterizam o desenvolvimento de uma IoT. Esta investigação permitiu uma evolução fundamentada em outros experimentos já publicados. Sendo assim, em pesquisas futuras, pretende-se avaliar, de forma mais detalhada e ampla, o uso de IoT no gerenciamento de recursos hídricos disponíveis, com o objetivo de encontrar oportunidades ainda inexploradas.

5.2 Desafios Superados

Houve dificuldades em mensurar e adquirir os microprocessadores e sensores necessários para desenvolver o protótipo completo. A maioria desses componentes são vendidos apenas por importação e a demora na entrega impactou no prazo do projeto.

A plataforma IBM Watson, apesar de ter se mostrado robusta e adequada a aplicações IoT, apresenta, na versão gratuita, limitações de dados trafegados no mês. Mesmo sendo um protótipo pequeno, com poucos sensores, em poucas horas de execução, esse limite era atingido, protelando um novo experimento para o próximo mês. Por consequência, houve novos impactos no prazo do projeto.

A próxima versão sugerida pela IBM para upgrade, após expirado o volume de dados, custa 2.500 dólares, ou outra versão de 8.000 dólares anuais, com capacidade de 5.000 e 25.000 dispositivos, respectivamente, e 1 milhão e 5 milhões de eventos para análise.

Outra dificuldade encontrada com a plataforma IBM Watson foi a disponibilidade do DNS da aplicação Web para acesso aos dados, que expira a cada 10 dias sem atividades de desenvolvimento e, ao expirar, deve ser realizada solicitação de deploy. Porém as configurações após o *deploy* eram diferentes da aplicação criada inicialmente, que não permitia o acesso a dispositivos já em produção. A solução era recriar a aplicação a cada

novo experimento, o que se mostrou ineficiente. Após tanto criar e recriar, a solução dada pela IBM foi utilizar-se da ferramenta *delivery continuous*, que registra na ferramenta Git todas as configurações da aplicação e, a cada *deploy* na nuvem, não era necessário alterar os dispositivos novamente.

5.3 Trabalhos futuros

Em trabalhos futuros, espera-se realizar novos experimentos com valores de pressões, adicionando sensores de pressão diferentes do utilizado, a fim de investigar mais detalhes sobre as causas da pressão e não alterar, em casos de vazamentos, a rede de distribuição.

Realizar estudos sobre o consumo de energia ou bateria dos dispositivos utilizados, e sobre o tráfego de dados das tecnologias de comunicações utilizadas.

Outro trabalho que se pretende desenvolver almeja o envio de alertas de vazamentos entre os trechos X e Y, para cada vazamento ocorrido na rede, pois a IoT criada neste trabalho ainda não possibilitou dar indicativos da localização dos rompimentos na rede de distribuição.

Encontrar uma solução para roubos (gatos) existentes na rede de distribuição, utilizando como recurso Teoria dos Grafos.

Para uma solução futura, há potencial para buscar de forma automática (via GPS) o técnico disponível mais próximo ao vazamento para a devida manutenção, ou ainda, permitir que fluxo de água seja interrompido de forma automática para reduzir as perdas e os danos a serem causados por um vazamento de grandes proporções.

REFERÊNCIAS

BELLAVISTA, P.; ZANNI, A. Towards better scalability for iot-cloud interactions via combined exploitation of mqtt and coap. In: *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*, 2016, p. 1–6.

BLACKSTOCK, M.; LEA, R. Toward a distributed data flow platform for the web of things (distributed node-red). In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things*, ACM, 2014, p. 34–39.

BRAGA, T. R.; SILVA, F.; RUIZ, L. B.; NOGUEIRA, J. M. S. Mannasim: um arcabouço para simulação de redes de sensores sem fio. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica*, 2004.

CARO, J. Y.; DELGADO, J. C.; ANDRES, A. C. Design and characterization of a pressure sensors systems applied in the distribution force for hospital cushions. In: *2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, IEEE, 2015, p. 251–255.

GADDAM, S. C.; RAI, M. K. A comparative study on various lpwan and cellular communication technologies for iot based smart applications. In: *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR)*, IEEE, 2018, p. 1–8.

KANG, G.; GAO, J. Z.; XIE, G. Data-driven water quality analysis and prediction: a survey. In: *2017 IEEE Third International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)*, IEEE, 2017, p. 224–232.

LAVRIC, A.; POPA, V. Internet of things and loraTM low-power wide-area networks: A survey. In: *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, IEEE, 2017, p. 1–5.

- LEE, S. W.; SARP, S.; JEON, D. J.; KIM, J. H. Smart water grid: the future water management platform. *Desalination and Water Treatment*, v. 55, n. 2, p. 339–346, 2015.
- LEKIC, M.; GARDASEVIC, G. Iot sensor integration to node-red platform. In: *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, IEEE, 2018, p. 1–5.
- MAGRIN, D.; CENTENARO, M.; VANGELISTA, L. Performance evaluation of lora networks in a smart city scenario. In: *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, IEEE, 2017, p. 1–7.
- MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. Comparative analysis and practical implementation of the esp32 microcontroller module for the internet of things. In: *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, IEEE, 2017, p. 143–148.
- MARTINS, A. B.; DA COSTA, C. C. R. C.; DE AZEVEDO, M. T.; KOFUJI, S. T. Gerenciamento da água com a internet das coisas (iot): uma aplicação em plantas de saneamento. *Collectivus*, v. 4, n. 2, p. 124–140, 2017.
- MARTINS, I. R.; ZEM, J. L. Estudo dos protocolos de comunicação mqtt e coap para aplicações machine-to-machine e internet das coisas. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, v. 3, n. 1, p. 24, 2016.
- MOUNCE, S.; FARGUS, A.; WEEKS, M.; YOUNG, J.; EJIMBE, D.; GOYA, E.; HOLBURN, M.; JACKSON, T.; BOXALL, J. Online advanced uncertain reasoning architecture with binomial event discriminator system for novelty detection in smart water networks. In: *International Computing & Control for the Water Industry (CCWI) Conference*, 2017.
- MUHAMMAD, S. Y.; MAKHTAR, M.; ROZAIMEE, A.; AZIZ, A. A.; JAMAL, A. A. Classification model for water quality using machine learning techniques. In: *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 2015, p. 45–52.
- OREN, G.; STROH, N. Y. Mathematical model for detection of leakage in domestic water supply systems by reading consumption from an analogue water meter. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 4, n. 4, p. 386, 2013.
- ORGANIZATION, W. H.; ET AL. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities. 2019.
- DE PAULA, H. T.; GOMES, J. B.; AFFONSO, L. F.; RABELO, R. A.; RODRIGUES, J. J. An iot-based water monitoring system for smart buildings. IEEE, 2019, p. 1–5.

- PETAJAJARVI, J.; MIKHAYLOV, K.; ROIVAINEN, A.; HANNINEN, T.; PETTISSALO, M. On the coverage of lpwans: range evaluation and channel attenuation model for lora technology. In: *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, IEEE, 2015, p. 55–59.
- PFLANZNER, T.; KERTÉSZ, A. A survey of iot cloud providers. In: *Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2016 39th International Convention on*, IEEE, 2016, p. 730–735.
- POURSAFAR, N.; ALAHI, M. E. E.; MUKHOPADHYAY, S. Long-range wireless technologies for iot applications: a review. In: *2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST)*, IEEE, 2017, p. 1–6.
- RUIZ, L. B. Maná: uma arquitetura para gerenciamento de redes de sensores sem fio. *Communications Magazine, IEEE*, v. 41, n. 2, 2003.
- SANTOS, B. P.; SILVA, L.; CELES, C.; BORGES, J. B.; NETO, B. S. P.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. Internet das coisas: da teoriaa prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2016.
- SERIKUL, P.; NAKPONG, N.; NAKJUATONG, N. Smart farm monitoring via the blynk iot platform: Case study: Humidity monitoring and data recording. IEEE, 2018, p. 1–6.
- SETHI, P.; SARANGI, S. R. Internet of things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, v. 2017, 2017.
- SOBRINHO, R. A. Gestão das perdas de água e energia em sistemas de abastecimento de água da embasa: Um estudo dos fatores intervenientes na rms. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 2, n. 1, 2014.
- WAZLAWICK, R. *Metodologia de pesquisa para ciência da computação*, v. 2. Elsevier Brasil, 2017.
- YANG, Z.; YANG, J.; CAI, J. New method of measuring drop liquid and application. In: *2009 9th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, IEEE, 2009, p. 2–432.
- YULIANDOKO, H.; WARDHANY, V. A.; PRAMONO, S. H.; SIWINDARTO, P.; ET AL. Design of flooding detection system based on velocity and water level dam with esp8266.

In: *2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, IEEE, 2017, p. 396–401.