

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA**

**HINGRID TAVARES DOMINGUES**

**TECNOLOGIA IOT LORA NA AUTOMAÇÃO DO ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA**

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. RICARDO CAMPANHA CARRANO

Niterói 2020

HINGRID TAVARES DOMINGUES

TECNOLOGIA IOT LORA NA AUTOMAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Dissertação submetida ao programa de Mestrado de telecomunicações da escola de engenharia da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Aprovada em 30 de julho 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Campanha Carrano – Orientador  
Universidade Federal Fluminense – UFF

---

Prof.<sup>a</sup> Dra Natália Castro Fernandes  
Universidade Federal Fluminense – UFF

---

Prof. Dr. Joberto Sérgio Barbosa Martins  
Universidade Salvador – UNIFACS

Niterói

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

D671t Domingues, Hingrid Tavares  
Tecnologia IOT LoRa na Automação do Abastecimento de Água  
/ Hingrid Tavares Domingues ; Ricardo Carrano, orientador.  
Niterói, 2020.  
66 p. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGEET.2020.m.13813460738>

1. Internet das coisas. 2. Automação. 3. Saneamento  
básico. 4. Produção intelectual. I. Carrano, Ricardo,  
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de  
Engenharia. III. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Sandra Lopes Coelho - CRB7/3389

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela saúde, por todas as oportunidades e pela proteção de em todos os momentos.

Aos meus pais Cláudia Márcia Rodrigues Tavares e Sérgio Leite Domingues, por toda a educação e suporte incondicional fornecido durante todos esses anos.

Ao meu marido Philipp Matteus Figueira Fernandes pela compreensão e paciência demonstrada durante o período do projeto.

Aos amigos de trabalho Mauro Eduardo Santos Lacerda e Ennio Martinez Farias pelo apoio e contribuição na minha formação.

Aos amigos e colegas de turma, pela ajuda durante todas as etapas no decorrer dessa experiência acadêmica.

Aos integrantes do laboratório Midiacom da Universidade Federal Fluminense, pelo auxílio no trabalho que hora se apresenta.

Ao professor Ricardo Campanha Carrano, pela orientação do trabalho de forma irretocável, paciência, comprometimento, auxílio intenso e sábios conselhos.

## RESUMO

Fornecer água tratada a população de maneira eficiente é um dos maiores desafios enfrentados na atualidade. No saneamento básico os componentes operacionais estão distribuídos pela cidade de forma que a água chegue até a casa dos moradores. A automação permite obter as informações do processo em tempo real, tomar decisões operacionais de forma rápida, reduzir custos e melhorar a produtividade. O monitoramento remoto é realizado através da aquisição, transmissão e processamento de dados. Para controlar a operação a distância é necessário ter uma tecnologia de comunicação confiável e estável. A telemetria via rede GPRS é uma das opções mais utilizadas no mercado pelo seu baixo custo operacional. Para avaliar seu desempenho foi realizado um estudo de caso que mostrou confiabilidade insuficiente dessa tecnologia no cenário estudado. Diante do crescimento da Internet das coisas e, as limitações das tecnologias usuais de telemetria, apostar numa inovação crescente no mercado provou ser uma boa alternativa para gerenciamento da água. As redes de baixa potência e amplo alcance (LPWAN) oferecem conectividade acessível aos dispositivos espalhados em grandes extensões territoriais. Dentro dessa rede, a LoRa é bem difundida em ambientes industriais, por isso esse trabalho conduziu a aplicação dessa tecnologia. Para testar o seu desempenho, foi construído um protótipo com dois módulos LoRa com capacidade de enviar e receber mensagens em tempo real. Através da interface das placas microcontroladoras foi possível visualizar a informação da potência do sinal entre um módulo e outro e, dos pacotes enviados e recebidos. Esses testes foram realizados na cidade de Niterói-RJ, em ambiente externo com linha de visada (LoS) e outro sem linha de visada (NLoS), para mensurar a distância máxima de sucesso da comunicação de dois módulos LoRa.

Palavras Chave: Internet das Coisas (IoT); Automação; LoRa; LPWAN; Saneamento Básico; ESP32

## ABSTRACT

Provide treated water to the population on efficiently way is the biggest challenges current facing. In basic sanitation, the operational components are distributed throughout the city so that the water reaches the residents' homes. Automation allows you to obtain process information in real time, make operational decisions quickly, to reduce costs and improve the productivity. Remote monitoring is carried out, capturing, transmitting and processing data. To control an operation remotely, reliable and stable communication technology is required. The Telemetry by GPRS network is one of the most used options on the business market due to its low operating cost. To evaluate its performance, has been performed a study that showed insufficient reliability of this technology in the studied scenario. In view of the growth of the Internet of Things and the limitations of the usual telemetry technologies, betting on a growing innovation in the market proved to be a good alternative for water management. Low Power Wide Area networks (LPWAN) offer accessible connectivity to devices spread across large territories. Within this network, LoRa is well widespread in industrial environments, so this work led to the application of this technology. To test its performance, a prototype was built with two LoRa modules capable of sending and receiving messages in real time. Through the microcontroller board interface of the has been possible to visualize the information of the signal strength between one module and another and the packets sent and received. These tests were carried out in the city of Niterói-RJ, in an external environment with direct vision and another without vision, to measure the maximum distance of success communication of two LoRa modules.

Keywords: Internet of Things (IoT); Automation; LoRa; LPWAN; Basic Sanitation; ESP32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Log do modem “BST Araruama” (Fonte: Autor).....	18
Figura 2: Gráfico de porcentagem média de tempo de conexão por dia com margem de erro de 95% de confiança (Fonte: Autor).....	19
Figura 3: Gráfico de média de desconexão por dia com intervalo de confiança de 95% (Fonte: Autor). ....	20
Figura 4: Tempo de desconexão de todos os modems por dia (Fonte: Autor).....	21
Figura 5: Informações detalhada do modem (Fonte: Autor).....	21
Figura 6: Gráfico do tempo de vida útil da bateria e alcance (Fonte: Figura traduzida do site < <a href="https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/">https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/</a> >). ....	25
Figura 7: Arquitetura de rede LoRaWAN (Fonte: Figura extraída do site < <a href="https://www.easyiot.com.br/tecnologia-lora/">https://www.easyiot.com.br/tecnologia-lora/</a> >). ....	30
Figura 8: Arquitetura da solução proposta por Saravanan et al. [20]. ....	33
Figura 9: Arquitetura da solução proposta por Afifi et al. [23]. ....	34
Figura 10: Arquitetura resumida da solução proposta por Wixted et al. [24]. ....	35
Figura 11: Arquitetura do sistema de monitoramento com tecnologia LoRa (Fonte: Autor). ....	37
Figura 12: Sensor de vazão YF-S201 (Fonte: Autor) .....	38
Figura 13: Microcontroladores para projetos em IoT (Fonte: [27]). ....	40
Figura 14: Diagrama de Bloco Funcional do ESP32 (Fonte: Espressif Systems.....	41
Figura 15: ESP 32 LoRa (Fonte: Folha de dados do fabricante - Heltec). ....	42
Figura 16: Modelos dos chips do ESP 32 LoRa (Fonte: Folha de dados do fabricante - Heltec).....	42
Figura 17: Diagrama de pinos do ESP 32 LoRa (Fonte: Folha de dados do fabricante - Heltec).....	43
Figura 18: Protótipo simplificado para testes (Fonte: Autor). ....	45
Figura 19: Protótipo do experimento LoRa (Fonte: Autor).....	47
Figura 20: Informações visualizadas no display OLED (Fonte: Autor). ....	48
Figura 21: Cenário do experimento, área externa da UFF - Campus Praia Vermelha (Fonte: Autor). ....	50
Figura 22: Localizações das medições no cenário sem visada (Fonte: Autor).....	50

Figura 23: Potência do sinal em função da distância - Simulação urbana sem visada (Fonte: Autor). .....	51
Figura 24: Pior tempo de atraso observado em função da distância - Simulação urbana sem visada (Fonte: Autor). .....	51
Figura 25: Cenário do experimento na Praia das Flechas e Praia de Icarai (Fonte: Autor). .....	52
Figura 26: Localizações das medições no cenário com visada (Fonte: Autor).....	53
Figura 27: Potência do sinal em função da distância - Simulação urbana com visada (Fonte: Autor). .....	54
Figura 28: Pior tempo de atraso observado em função da distância - Simulação urbana com visada (Fonte: Autor). .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Protocolos de rede e seus alcances (Fonte: < <a href="https://www.embarcados.com.br/introdução-ao-lpwan/">https://www.embarcados.com.br/introdução-ao-lpwan/</a> >)	24
Tabela 2: Características da tecnologia Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT (Fonte: [14])	26
Tabela 3: Especificações técnicas ESP32 (Fonte: [26])	39

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

<b>CSS</b>	<i>Chirp Spread Spectrum Modulation</i>
<b>D2D</b>	<i>Device-to-Device</i>
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Services</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>ISM</b>	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
<b>LoRa</b>	<i>Long Range</i>
<b>LoRaWAN</b>	<i>Long Range Wide Area Network</i>
<b>LoS</b>	<i>Line of Sight</i>
<b>LPWAN</b>	<i>Low Power Wide Area Networks</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i>
<b>MQTT</b>	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
<b>M2M</b>	<i>Machine-to-Machine</i>
<b>NB-IoT</b>	<i>Narrow Band – Internet of Things</i>
<b>NLoS</b>	<i>Non Line of Sight</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio Frequency Identification</i>

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.2. MOTIVAÇÃO.....	15
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	15
2. ESTUDO DE CASO GPRS .....	17
2.1. ANÁLISE TÉCNICA DA CONECTIVIDADE .....	17
2.2. RESULTADOS OBTIDOS .....	18
2.3. CONSIDERAÇÕES.....	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	23
3.1. TELEMETRIA.....	23
3.2. TECNOLOGIAS IoT .....	23
3.3. SIGFOX.....	28
3.4. NB-IoT28 .....	28
3.5. TECNOLOGIAS LoRa e LoRaWAN.....	28
3.6. CAMADA e ARQUITETURA LoRaWAN .....	29
3.7. CLASSES DE DISPOSITIVOS DO LoRaWAN .....	31
4. TRABALHOS RELACIONADOS .....	33
5. PROPOSTA DO TRABALHO .....	37
5.1. SENSOR DE VAZÃO DE ÁGUA YF-S201 .....	37
5.2. ESP32 LoRa.....	39
5.3. MÓDULO HELTEC Wi-Fi ESP32 LoRa.....	41
5.4. GATEWAY LoRa .....	43
5.5. PROTOCOLO MQTT e SERVIDOR DE APLICAÇÃO.....	43
6. RESULTADOS .....	46

6.1. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	47
6.2. AVALIAÇÃO EM AMBIENTE URBANO.....	49
6.2.1. Testes em cenário urbano sem linha de Visada (NLoS).....	49
6.2.2. Testes Urbano com linha de Visada (LoS) .....	52
7. CONCLUSÕES E PROJETOS FUTUROS.....	56
APÊNDICE A.....	59
APÊNDICE B.....	60
APÊNDICE C.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

Nos sistemas de abastecimento de água, para que este recurso chegue até o cliente final, são utilizados componentes hidráulicos, como tubos, válvulas, bombas e reservatórios [1]. Devido ao amplo parque operacional, monitorar as informações do processo é essencial para que se possa controlar, otimizar e gerenciar seus recursos. Dessa forma, é necessário avaliar como os componentes operacionais, bombas e válvulas, serão usados para atender as demandas definidas com pressões e vazões adequadas [1]. A automação desse sistema, permite planejar, executar e administrar os serviços de distribuição de água potável, garantindo a satisfação da população. Para automatizar os componentes operacionais é necessário instalar transmissores e atuadores para realizar a aquisição, envio de dados e comandos. Para controlar remotamente tais componentes que estão espalhados pela cidade, é necessário um sistema de comunicação por telemetria que proporciona a troca de mensagens de uma ponta a outra.

Atualmente, as tecnologias de comunicação usuais, para telemetria nas redes de distribuição, são os rádios da faixa de 5.8 GHz de frequência, a rede móvel celular, a fibra óptica e o satélite, mas estes apresentam desvantagens. Quanto maior a frequência de operação de um rádio, menor o comprimento de onda e maior é a probabilidade do sinal ser obstruído. Sendo assim, os rádios de 5.8 GHz necessitam de visada, o que é mais difícil de ser obtido em centros urbanos. A tecnologia GPRS (*General Packet Radio Services*), fornecida pelas operadoras de telefonia celular, é a mais utilizada pelo seu baixo custo e fácil instalação. Porém o seu desempenho varia de acordo com a qualidade do serviço prestado pelas operadoras, por isso foi apresentada nesse trabalho uma análise da confiabilidade dessa tecnologia. A fibra óptica e o satélite são tecnologias muito caras comparada as duas anteriores.

A internet das coisas (IoT) está ganhando espaço no cenário das modernas telecomunicações sem fio, tendo como ideia básica a presença em torno de nós de uma variedade de dispositivos ou objetos, que são capazes de interagir uns com os outros para alcançar objetivos comuns [2]. Essa comunicação pode ser entre dispositivos (D2D - *Device-to-Device*) e, também, o objeto pode se tornar acessível através da internet [2]. A variedade desses componentes associados à Internet é possibilitada pela integração de sensores, atuadores, etiquetas RFID e as tecnologias de comunicação que servem de base para a IoT [3]. Com aquisição de dados de forma inteligente, seu emprego na automação de processos traz benefícios como: maior eficiência ao sistema com maior cobertura de rede, baixo consumo energético e baixo custo.

Algumas aplicações IoT possuem requisitos específicos, como baixo consumo de energia, baixa taxa de dados, longo alcance e baixo custo. As tecnologias de rádio de curto alcance, por exemplo, como o Zigbee e o Bluetooth, não são adaptadas para determinadas aplicações onde os nós comunicantes estão separados por centenas de metros ou quilômetros. Por isso, surgiu uma nova classe de tecnologias de comunicação sem fio: as redes de baixa potência e amplo alcance (LPWAN- *Low Power Wide Area Networks*) [4].

As LPWAN oferecem conectividade acessível aos dispositivos de baixo consumo energético distribuídos em grandes áreas geográficas [4]. Dessa forma, essas tecnologias prometem atender grande parte das premissas da IoT. Existem várias soluções, o LoRaWAN, que faz uso da tecnologia LoRa (*Long Range*), é utilizado em diversas aplicações domésticas e industriais, oferecendo boa conectividade em aplicações ao ar livre e com gestão simples. Porém ela também apresenta limitações que precisam ser estudadas para evitar expectativas pouco realistas [5].

LoRa é uma tecnologia de comunicação sem fio proprietária de longo alcance e baixa taxa de dados, que utiliza modulação *Chirp Spread Spectrum*. Enquanto LoRaWAN se refere ao protocolo de camada de enlace que funciona sobre a camada física descrita pelo LoRa. O LoRaWAN é um padrão aberto que está sendo desenvolvido pela LoRa *Alliance*.

Por causa da técnica de modulação utilizada (*chirp spread spectrum*) e a alta sensibilidade do receptor, a modulação LoRa oferece boa resistência a interferência. Além disso, a cobertura de rede da LoRa pode chegar a 5 Km em área residencial suburbana [6]. Por causa dessas e demais características citadas no texto acima, foi escolhida para este trabalho, a Tecnologia IoT LoRa para estudo comparativo do seu desempenho no gerenciamento da água.

## 1.1.OBJETIVOS

O presente trabalho tem o propósito de analisar o desempenho da tecnologia IoT LoRa no gerenciamento remoto do abastecimento de água. Foi realizada uma abordagem inicial com um estudo de caso da tecnologia GPRS, atualmente utilizada no sistema de automação em estudo. Com resultados insatisfatórios, essa pesquisa tem a finalidade avaliar a potencial tecnologia LoRa aplicada aos sensores de campo em um sistema de comunicação ponto a ponto. Foi realizada a análise dessa rede pontuando o ganho em comparação com a confiabilidade e estabilidade da troca de dados.

Para fundamentar e avaliar os conceitos abordados, foi desenvolvido um protótipo com duas placas eletrônicas ESP32, que têm integradas o *chip* LoRa, para averiguar parâmetros como alcance, potência do sinal recebido e atraso da mensagem.

Para atingir tais objetivos, as seguintes etapas foram definidas para o desenvolvimento desse trabalho:

- Análise do desempenho da comunicação GPRS;
- Comparação entre as tecnologias IoT crescentes no mercado para automação;
- Descrição da estrutura de uma rede LoRa;
- Execução de um protótipo com 2 placas ESP32 LoRa;
- Análise do desempenho da rede LoRa em ambiente externo com linha de visada (*Line of Sight – LoS*) e, sem linha de visada (*Non Line of Sight – NLoS*);

- Análise dos resultados da eficiência da rede LoRa aplicada na automação da distribuição de água.

## 1.2. MOTIVAÇÃO

Com a automação é possível controlar o sistema de abastecimento de água em um único local, reduzindo perdas físicas e custo operacional. Em contraste, o controle manual gera o deslocamento de um ou mais funcionários até os locais, para realizar acionamentos e manobras nos componentes de campo. Além de oneroso, o processo manual gera imprecisões e falhas no controle do sistema. Contudo para se obter uma boa performance do sistema remoto automatizado, é necessário ter tecnologias de comunicação confiáveis de forma que as informações cheguem até o centro de controle e seja possível ter o monitoramento completo. Com isso, o sistema de comunicação é fundamental para performance dos sistemas de distribuição automatizados [7].

A tecnologia celular GPRS é a mais utilizada nessas aplicações e sua qualidade depende do serviço das operadoras de telefonia celular. A fim de obter métricas do seu desempenho e para base de comparação a este trabalho, o Capítulo 2 aborda um estudo de caso da eficiência do GPRS.

Em paralelo, foi identificada a oportunidade de realizar uma pesquisa relacionada a novas tecnologias de comunicação sem fio, as quais poderiam se encaixar nos requisitos dos sistemas de distribuição e trazer melhores resultados. Depois de comparada as tecnologias atuais crescentes no mercado IoT, foi observado que a LoRa tem características atraentes para essa aplicação. Com isso, foi montado um protótipo com a tecnologia IoT LoRa, a fim de comparar seu desempenho com a finalidade de obter maior confiabilidade e estabilidade na entrega dos dados.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O restante deste trabalho encontra-se organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta a análise do desempenho da comunicação GPRS. O Capítulo 3 fornece a fundamentação teórica sobre a tecnologia LoRa, LoRaWAN e outras tecnologias IoT similares. O Capítulo 4 discorre sobre os trabalhos relacionados a esta dissertação. No Capítulo 5 será apresentada a proposta do trabalho. O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos com o experimento e análise dos dados relatados. Finalmente, o Capítulo 7 conclui a pesquisa e apresenta sugestões de trabalhos futuros.

## 2. ESTUDO DE CASO GPRS

Existem muitos estudos e alguns padrões para aplicações de sistemas de comunicação sem fio no monitoramento remoto de dados [8]. Porém a maneira mais direta para uma transmissão de dados usando comunicação sem fio e com menor custo operacional é a tecnologia da telefonia celular [9], em particular, o GPRS.

O desempenho da tecnologia GPRS depende da cobertura disponível da operadora de telefonia e da qualidade do seu serviço. Diante disso, foi realizado um estudo de caso para avaliar o uso da tecnologia celular GPRS no monitoramento remoto. Essa análise foi realizada através dos registros (*logs*) armazenados em um servidor de aplicação de uma empresa de saneamento básico. A apuração dos dados foi efetuada através de um código desenvolvido em Python. O Apêndice A mostra parte desse código.

### 2.1. ANÁLISE TÉCNICA DA CONECTIVIDADE

A queda de comunicação dos modems de automação por conta da indisponibilidade da telefonia celular, resulta na perda dos dados e no conseqüente comprometimento do monitoramento do processo. Como resultado, pode haver transbordamento de um nível do tanque ou uma bomba pode deixar de ser ligada, por exemplo. Diante disso, foi necessário realizar uma análise crítica da frequência de quedas na comunicação e por quanto tempo os nós permanecem sem conectividade. Os modems, que estão nas unidades em campo, enviam os dados dos sensores via GPRS para a rede corporativa. Os pacotes de dados passam por sistemas para tratamento das informações, até serem visualizadas pelo operador no supervisório. Esses dados também são armazenados em arquivos de *logs*. A Figura 1 mostra parte do *log* do modem “BST Araruama” exibindo as informações de



modems e no eixo vertical a porcentagem de desconexão média por dia. O gráfico mostra a margem de erro das informações com intervalo de confiança de 95%.

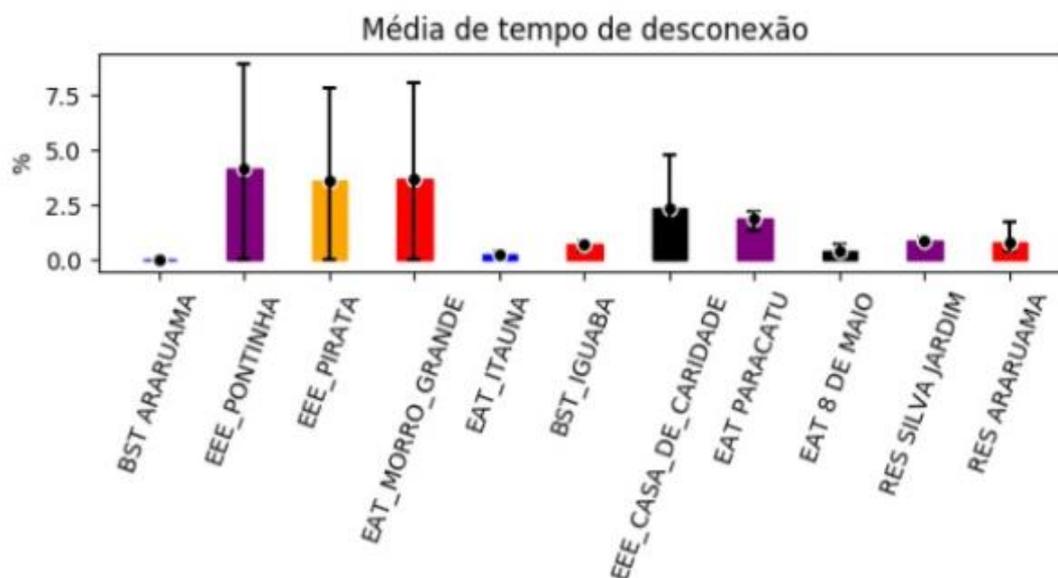


Figura 2: Gráfico de porcentagem média de tempo de conexão por dia com margem de erro de 95% de confiança (Fonte: Autor).

Através da Figura 2 foi possível notar o comportamento dos modems. Alguns, com a média de tempo de desconexão maior, como é o caso da “EEE\_Pontinha”, com 4,5%. E outros, como o “EEE\_Itauna”, com tempo médio de desconexão menor, de aproximadamente 0,15%. Esse comportamento é justificado pela inconsistência na cobertura do sinal da operadora em cada região que os modems estão instalados. É importante relatar que, os modems são do mesmo modelo, fabricante e utilizam o *chip* da mesma operadora de telefonia.

Outro fator importante foi o levantamento da quantidade de desconexões por dia (Figura 3), ou seja, quantas vezes caiu a conexão de um modem em um dia. Ao visualizar a Figura 2 e a Figura 3, é possível notar que a média de desconexão entre os modems é mais equilibrada do que a média de tempo desconectado e que uma condição não está diretamente

ligada a outra. O “RES\_ ARARUAMA” por exemplo, teve uma média de queda de comunicação entre as mais altas, se aproximando a 3 vezes por dia, porém teve um tempo de desconexão baixo, permanecendo 0,7% do tempo sem conectividade, o que corresponde a aproximadamente 10 minutos. Já a “EAT\_MORRO\_GRANDE”, teve o mesmo número médio de desconexões, mas um tempo médio de permanência desconectado de 3,3% que significa cerca de 48 minutos por dia.

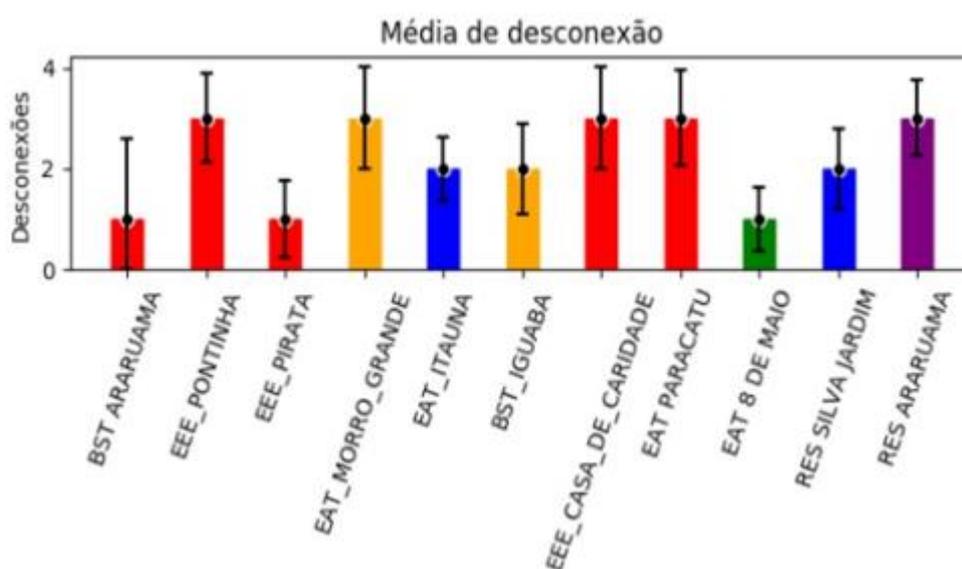


Figura 3: Gráfico de média de desconexão por dia com intervalo de confiança de 95% (Fonte: Autor).

A Figura 4 relaciona o tempo de desconexão de todos os modems por dia. Nessa Figura é possível notar que, nos dias 19 e 20 de julho, houve um aumento significativo do tempo em que as unidades remotas perderam conectividade, em comparação aos dias anteriores. Ou seja, pode-se concluir que não é apenas a localização que o modem está instalado que influencia no desempenho do envio de dados, as condições ambientais ou instabilidade na rede por qualquer motivo, podem ocasionar baixa eficiência nesse período.

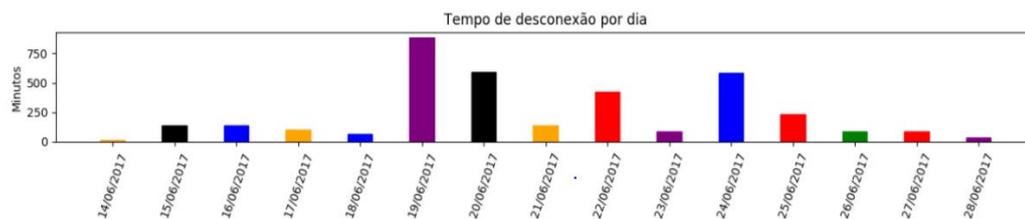


Figura 4: Tempo de desconexão de todos os modems por dia (Fonte: Autor).

Além disso, foram gerados relatórios com o resumo das informações de conexão de cada modem, conforme detalhado na Figura 5.

#### Analizando o modem BST\_IGUABA

O Modem BST\_IGUABA não desconectou dia 14/06/2017  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 15/06/2017 e ficou desconectado por 0:24:59  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 16/06/2017 e ficou desconectado por 0:12:04  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 17/06/2017 e ficou desconectado por 0:04:59  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 18/06/2017 e ficou desconectado por 0:01:00  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 19/06/2017 e ficou desconectado por 0:08:03  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 20/06/2017 e ficou desconectado por 0:08:03  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 21/06/2017 e ficou desconectado por 0:17:58  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 22/06/2017 e ficou desconectado por 0:13:06  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 23/06/2017 e ficou desconectado por 0:03:58  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 24/06/2017 e ficou desconectado por 0:10:08  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 25/06/2017 e ficou desconectado por 0:20:01  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 26/06/2017 e ficou desconectado por 0:04:59  
 O Modem BST\_IGUABA desconectou dia 27/06/2017 e ficou desconectado por 0:07:09  
 O Modem BST\_IGUABA não desconectou dia 28/06/2017

#### Análise final do modem BST\_IGUABA

O modem BST\_IGUABA em 15 dias teve 40 desconexões e ficou 2:16:27 fora. Tendo uma média de desconexão de 2 por dia ficando fora pelo tempo 0:09:05 por dia

Figura 5: Informações detalhada do modem (Fonte: Autor).

## 2.3. CONSIDERAÇÕES

A partir da análise realizada foi possível concluir que, o desempenho da comunicação GPRS, no cenário estudado, varia de acordo com a localização do equipamento em campo, considerando, por exemplo, a cobertura de sinal da operadora naquela região e estabilidade na conexão. Outra questão importante também, foi a variação da cobertura por dia, com o nível de conexão das unidades remotas variando significativamente. Fatores ambientais e problemas internos na operadora poderiam explicar a instabilidade da solução GPRS. A partir dos resultados obtidos um modem pode ficar até quase 10% do tempo desconectado em um dia. Para

automação, esses números acarretam perda de dados, que podem afetar a operação. Dessa forma o GPRS não gera confiabilidade suficiente, o que justifica a busca de tecnologias alternativas.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. TELEMETRIA

A telemetria surgiu em 1845 com o desenvolvimento do primeiro sistema de transmissão de dados entre o Palácio de Inverno (Palácio Imperial Russo) e o quartel da armada russa. Posteriormente, em 1906, foram montadas umas séries de estações sísmicas na Rússia, com transmissão de dados para o observatório de Pulkovo, o principal da academia Russa das Ciências [10].

A telemetria é o fluxo de dados entre uma ou mais máquinas remotas, permitindo uma comunicação em tempo real, via rede com fio ou sem fio. Por isso telemetria significa realizar medições a distância, ou em local remoto.

O sistema de telemetria pode ser dividido em três partes. Primeiro é o Elemento de Medição Remota, que contempla os sensores, atuadores, controladores e os equipamentos de transmissão. O segundo é a Rede de Telecomunicações utilizada, podendo ser de vários tipos, como redes celulares GPRS, telefonia fixa, satélite, rede LoRa, entre outras. Por fim, o terceiro é o sistema de monitoramento e gerenciamento da informação, que contempla um computador onde são analisadas todas as informações obtidas remotamente.

No sistema de telemetria uma falha em qualquer trecho pode acarretar uma sequência de erros e comprometer todo o conjunto. Para que se obtenha bom desempenho na entrega da informação é fundamental que todo o sistema esteja bem ajustado, conforme particularidade de cada equipamento e a rede de comunicação confiável.

#### 3.2. TECNOLOGIAS IoT

O interesse da indústria pelas redes de baixo consumo de potência e energia está aumentando gradualmente [11]. As LPWAN são redes singulares, pois fazem *tradeoffs* diferentes das tecnologias predominantes no cenário IoT, como as redes sem fio de curto alcance (ZigBee, Bluetooth, Z-Wave, Wi-Fi e de celular). Estas têm o alcance limitado a algumas centenas de metros, podendo ser estendida implantando dispositivos e *gateways* conectados usando rede de malha *multihop*, tornando cara a infraestrutura [4].

Em contraste, as LPWAN fornecem comunicação de longo alcance, de até 10 a 40 Km em zonas rurais e 1 a 5 Km em zonas urbanas [12]. A Tabela 1 faz um breve levantamento de algumas redes e seus alcances.

Tabela 1: Protocolos de rede e seus alcances (Fonte: <<https://www.embarcados.com.br/introdução-ao-lpwan/>>).

Protocolo	Alcance
Wi-Fi	50 m
BLE	80 m
ZigBee	100 m
3G/ 4G	35/200 Km
SigFox	10/50 Km
LoRaWAN	2/5 Km

Atualmente, há uma ampla cobertura da rede celular por conta da comunicação M2M, da segunda geração (2G) e terceira geração (3G) [13]. Porém possui menor eficiência energética quando comparada às redes de ampla área e baixa potência (LPWAN). A Figura 6 mostra a relação de bateria e alcance das redes ressaltadas acima.

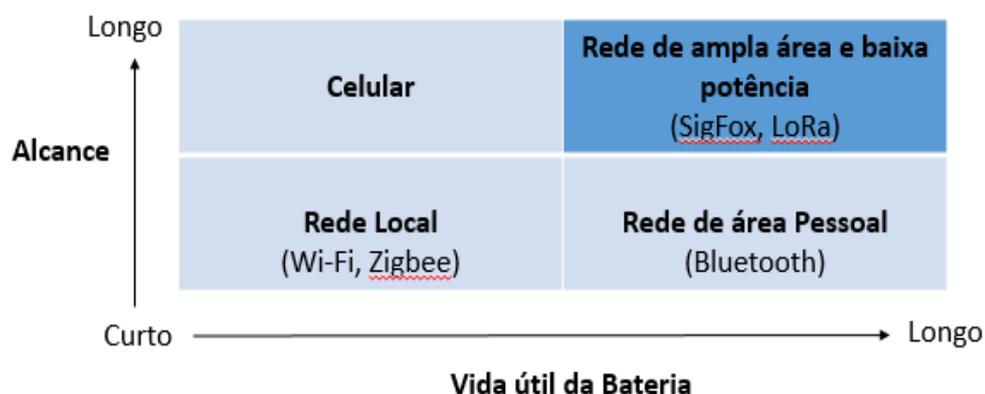


Figura 6: Gráfico do tempo de vida útil da bateria e alcance (Fonte: Figura traduzida do site <<https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/>>).

As redes LPWAN são promissoras para conexões a Internet com baixo consumo de energia, baixo custo e baixa taxa de dados [1]. Vale a pena ressaltar que, o amplo alcance e baixa potência são possibilitados, em grande parte, da baixa transferência de dados (cerca de kbits/s) e maior latência (geralmente na ordem de segundos ou minutos).

Existem várias tecnologias LPWAN concorrentes, cada uma empregando várias técnicas para alcançar uma operação de baixa potência e alta escalabilidade. Entre elas, LoRa, Sigfox e NB-IoT (*Narrow Band – Internet of Things*) são as atuais tecnologias emergentes que apresentam diversas diferenças técnicas [12]. O Sigfox e o LoRa foram projetados para aplicações com necessidades limitadas de taxa de dados, utilizam frequências não licenciadas e tecnologias proprietárias. Já o NB-IoT, utiliza frequência licenciada (por exemplo, 700 MHz, 800 MHz e 900 MHz), podendo coexistir com o GSM (*Global System for Mobile Communications*) e o LTE (*Long Term Evolution*) [14]. Abaixo, a Tabela 2 apresenta uma comparação das tecnologias Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT.

Tabela 2: Características da tecnologia Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT (Fonte: [14]).

	<b>Sigfox</b>	<b>LoRaWAN</b>	<b>NB-IoT</b>
<b>Modulação</b>	BPSK	CSS	QPSK
<b>Frequência</b>	Bandas ISM não licenciadas (868 MHz na Europa, 915 MHz na América do Norte e 433 MHz na Ásia)	Bandas ISM não licenciadas (868 MHz na Europa, 915 MHz na América do Norte e 433 MHz na Ásia)	Faixas de frequência LTE licenciadas
<b>Largura de banda</b>	100 Hz	250 kHz e 125 kHz	200 kHz
<b>Taxa máxima de dados</b>	100 b/s	50 kb/s	200 kb/s
<b>Bidirecional</b>	Limitado / Half-duplex	Sim / Half-duplex	Sim / Half-duplex
<b>Mensagens máximas / dia</b>	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
<b>Comprimento máximo de carga útil</b>	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
<b>Alcance</b>	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
<b>Imunidade de interferência</b>	Muito alto	Muito alto	Baixo
<b>Autenticação e criptografia</b>	Não suportado	Sim (AES 128b)	Sim (criptografia LTE)
<b>Taxa de dados adaptativa</b>	Não	Sim	Não

	<b>Sigfox</b>	<b>LoRaWAN</b>	<b>NB-IoT</b>
<b>Permitir rede privada</b>	Não	Sim	Não
<b>Estandarização</b>	A empresa Sigfox está colaborando com o ETSI na padronização da rede baseada em Sigfox	LoRa- Alliance	3GPP

Sigfox e LoRa utilizam frequências não licenciadas no Brasil definidas pela Anatel no Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita nas seguintes faixas: 902-907,5; 915-928; 2400-2483,5; 5725- 5850 MHz. A faixa de 433-435 pode ser usada com a condição da potência irradiada estar limitada ao valor máximo de 10mW.

Cada uma dessas tecnologias tem o seu espaço no mercado IoT de acordo com sua aplicabilidade. Sigfox e LoRa empregam protocolos de comunicação assíncrona, podem ser mais tolerantes à interferência, mas não oferecem a mesma qualidade de serviço que o NB-IoT, que empregam um espectro licenciado e protocolo síncrono, obtendo essa qualidade com custo comparativamente alto [14]. A principal vantagem do Sigfox é sua alta cobertura de rede, com alcance, segundo fabricantes, de 40 Km com uma única estação base, já o LoRa oferece alcance, também segundo fabricantes, de 20 Km. O NB-IoT tem a menor alcance com até 10 Km, tendo maior custo com instalações de equipamentos para poder cobrir uma cidade. Os três protocolos apresentam baixo consumo de energia, mas o NB-IoT, devido à comunicação síncrona, consome energia adicional, reduzindo a autonomia desse dispositivo em comparação aos demais protocolos [14].

Em resumo, Sigfox e LoRa são implementados para grande alcance, chegando a 40 Km e 20 Km respectivamente, taxa de comunicação pouco frequente, longa duração de bateria e baixo custo. O NB-IoT atenderá aplicações de latência muito baixa e qualidade no serviço, a um custo mais

alto. Como o objetivo desse trabalho é encontrar uma tecnologia, com baixo custo, longo alcance e confiabilidade na comunicação, o Sigfox e LoRa são a melhor solução. Devido a não limitação de mensagens, maior largura de banda e comunicação bidirecional [4], o LoRa foi escolhido como a melhor opção para a aplicação proposta.

### 3.3. SIGFOX

A tecnologia Sigfox é composta por estações base equipadas com rádios cognitivos definidos por *software* e, através de uma rede IP, conecta os aos servidores *back-end*. A tecnologia oferece uma solução de comunicação baseada em software, em que toda a complexidade dos dados é gerenciada em nuvem e não nos dispositivos, reduzindo o consumo de energia e os custos dos dispositivos inseridos na rede.

A Sigfox usa técnica *Ultra Narrow Band* (banda ultra estreita) para a transmissão de dados e possui nível de ruídos muito baixos, que gera baixo consumo de energia, além de alta sensibilidade do receptor e antena de baixo custo [15].

### 3.4. NB-IoT

O NB-IoT é uma tecnologia de banda estreita padronizada pelo 3GPP, a qual finalizou suas especificações em julho de 2016. O NB-IoT pode coexistir com LTE e GSM, e é projetado para integrar e compartilhar recursos com essas redes [16]. Dessa forma o NB-IoT ocupa uma largura de banda de 200 KHz de frequência, equivalente a um bloco de recursos na transmissão GSM e LTE [16].

### 3.5. TECNOLOGIAS LoRa e LoRaWAN

O LoRa é um sistema de comunicação sem fio de longo alcance e baixa potência, podendo se referir a duas camadas distintas: a camada física (PHY), usando a técnica de modulação *chirp spread spectrum* e, um protocolo de camada MAC (Controle de Acesso ao Meio) LoRaWAN MAC [6].

A camada física através da técnica proprietária da Semtech de espalhamento espectral, modula os sinais na banda ISM (*industrial, scientific and medical*) não licenciada [17]. Como outras técnicas de espalhamento espectral, o *chirp spread spectrum modulation* (CSS) ocupa uma largura de banda maior que a largura mínima necessária para transmitir a informação, tornando-o robusto ao ruído e as interferências no canal.

O LoRaWAN permite que dispositivos finais se comuniquem com *gateways* específicos, usando modulação LoRa. Estes *gateways*, enviam e recebem dados encaminhados via conectividade IP. A especificação do protocolo LoRaWAN foi aberta em 2015 [18].

Principais recursos da tecnologia LoRa e do protocolo LoRaWAN:

- Baixa Potência- protocolo reduz consumo de energia;
- Longo Alcance- uma estação base possibilita cobertura de 20 Km em zonas rurais e penetração em regiões urbanizadas de 5 Km;
- Baixo Custo- baixo investimento em infraestrutura, sensores simplificados, redução de consumo de energia pelo uso da bateria;
- Geolocalização- possibilita rastrear aplicações de baixa potência sem GPS;
- Padronização- interoperabilidade entre os dispositivos;
- Segurança- encriptação AES128 *end-to-end* integrada.

### 3.6. CAMADA e ARQUITETURA LoRaWAN

Uma rede LoRaWAN utiliza topologia em estrela onde cada dispositivo é conectado a um ponto central de acesso [19]. A partir do *gateway* os módulos enviam e recebem dados, que são repassados via conectividade IP

para os servidores de destino. A figura 7 demonstra a arquitetura de uma rede LoRaWAN e seus componentes.

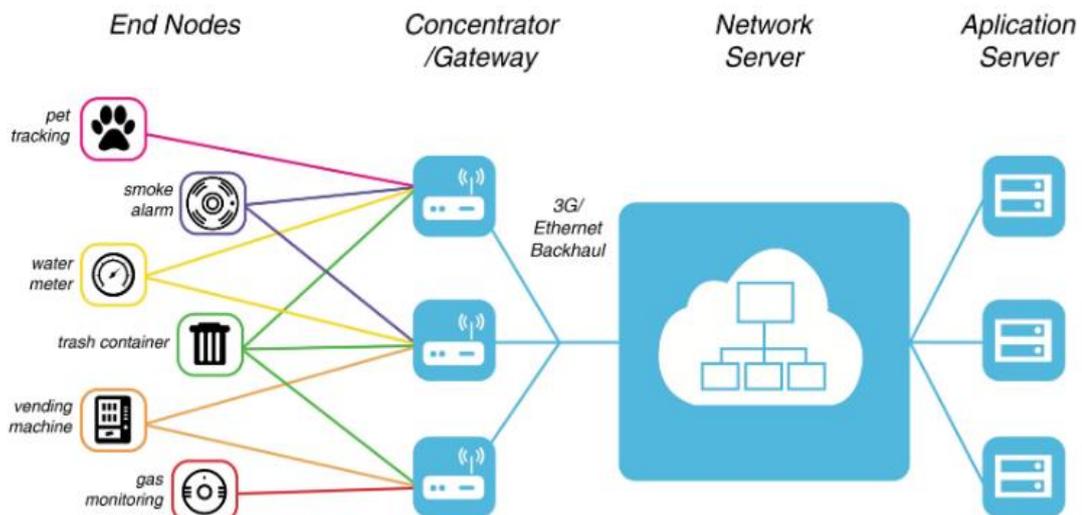


Figura 7: Arquitetura de rede LoRaWAN (Fonte: Figura extraída do site <<https://www.easyiot.com.br/tecnologia-lora/>>).

Os *end-nodes* são dispositivos que geram a informação que vai ser transmitida pela rede, podendo ser sensores, atuadores ou outros tipos de equipamento inteligente. Esses dados serão enviados para os *gateways*, que concentram as informações e transmitem para os servidores de rede. Através da Internet, as informações são enviadas dos *gateways* até esse servidor, que armazenará e gerenciará os dados recebidos [4]. Por último, as informações ficarão disponíveis para os clientes através dos servidores de aplicação.

Um *gateway* LoRa gerencia os *end-nodes* da rede atribuindo sub-bandas de frequência e fatores de espalhamento, permitindo a ortogonalidade da rede. Através do *gateway*, o servidor de rede gerencia a duplicação de pacotes e a taxa adaptativa dos dados maximizando a capacidade da rede (mudando o fator de espalhamento). Vale a pena ressaltar que, um único *gateway* é capaz de receber dados de vários dispositivos, desde que estejam em sua área de cobertura.

### 3.7. CLASSES DE DISPOSITIVOS DO LoRaWAN

Para atingir diversos tipos de serviços, são definidas na arquitetura da rede LoRaWAN três classes de dispositivos *end-nodes*: classe A, classe B e classe C [18].

- Classe A:

Essa classe é formada pelos dispositivos finais bidirecionais e de menor potência. Sua comunicação é sempre iniciada pelo dispositivo final e totalmente assíncrona. Sendo baseado no ALOHA, a qualquer momento pode ser enviada uma transmissão de *uplink* sendo seguida por duas janelas de *downlink* curtas, somente após uma transmissão de *uplink* pode ser programada uma transmissão de *downlink* [18]. O dispositivo classe A tem o modo operacional com menor consumo de energia, pois o dispositivo final é capaz de entrar em modo de hibernação de baixa energia a partir do tempo programado nele mesmo, não sendo necessária reativação periódica. No caso de comunicações de *downlink*, este deverá aguardar até o próximo evento *uplink*.

- Classe B:

São os dispositivos finais bidirecionais com latência determinística programável em até 128 segundos [18]. Estes, abrem janelas de recebimento extra em horários programados, permitindo mais *slots* de recepção que os dispositivos classe A. O *gateway* envia um sinal de sincronismo para que o dispositivo final abra sua janela de recebimento no tempo agendado. Isso capacita a rede enviar pacotes de *downlink* com latência determinística, com a consequência de maior consumo de energia no dispositivo final [18].

- Classe C:

Estes dispositivos finais são bidirecionais e de menor latência. Nessa classe, a latência é ainda mais reduzida no *downlink*, mantendo as janelas da recepção sempre abertas, fechando apenas durante a transmissão. Com isso, o servidor de rede pode iniciar uma transmissão de *downlink* a qualquer momento [18]. O dispositivo classe C consome mais energia ao operar do que a classe A e B, porém oferece menor latência.

#### 4. TRABALHOS RELACIONADOS

Um trabalho relacionado a esta dissertação, que utiliza a tecnologia IoT LoRa no sistema de gerenciamento da rede de água é o de Saravanan et al. [20]. Nessa pesquisa os autores têm como objetivo o gerenciamento inteligente da rede de água usando a tecnologia LoRa. Para isso, eles fizeram um projeto piloto em Mori, na Índia. Para medir a qualidade da água, foram implantados diferentes sensores em vários locais escolhidos estrategicamente, conectados a um microcontrolador presente no módulo LoRa. Esses, se comunicam na nuvem através de um *gateway* LoRa, gerando dados em tempo real, como mostrado na Figura 8.

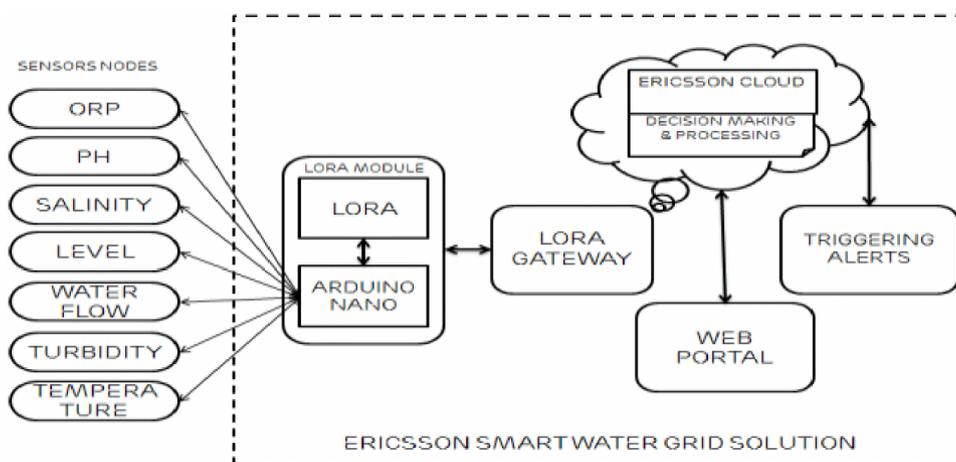


Figura 8: Arquitetura da solução proposta por Saravanan et al. [20].

O sistema também apresenta uma solução para lidar com os bloqueios que foram empregados dentro e ao redor da vila para controlar o fluxo de água instantaneamente. Além disso, fornece um mecanismo que notifica, por SMS e e-mail, os diferentes níveis de autoridades em caso de problemas. Através do modelo de regressão logística [21], foi possível analisar os dados armazenados na nuvem para cada módulo LoRa e foi concluído que, o modelo testado resultou

em um alto nível de precisão no controle da água. A diferença deste para o presente trabalho é que os autores avaliaram a qualidade da água pelos dados armazenados e não entraram em detalhes sobre confiabilidade dos dados, alcance máximo e necessidade de retransmissões.

Afifi et al. em [23], utiliza outra tecnologia IoT no controle da distribuição de água. Os autores apresentam um sistema sem fio inteligente, otimizado para monitoramento contínuo da rede e detecção de rajadas em distribuição de água intermitente. Foi proposto por eles um conjunto distribuído de nós conectados sem fio e um servidor web para visualização das informações através do protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) [22]. A transmissão sem fio é realizada através de um módulo SIM900 GSM/GPRS. Além disso, para fornecer alertas oportunos foram aplicados algoritmos de detecção de eventos críticos. A arquitetura da solução proposta pode ser visualizada na Figura 9.

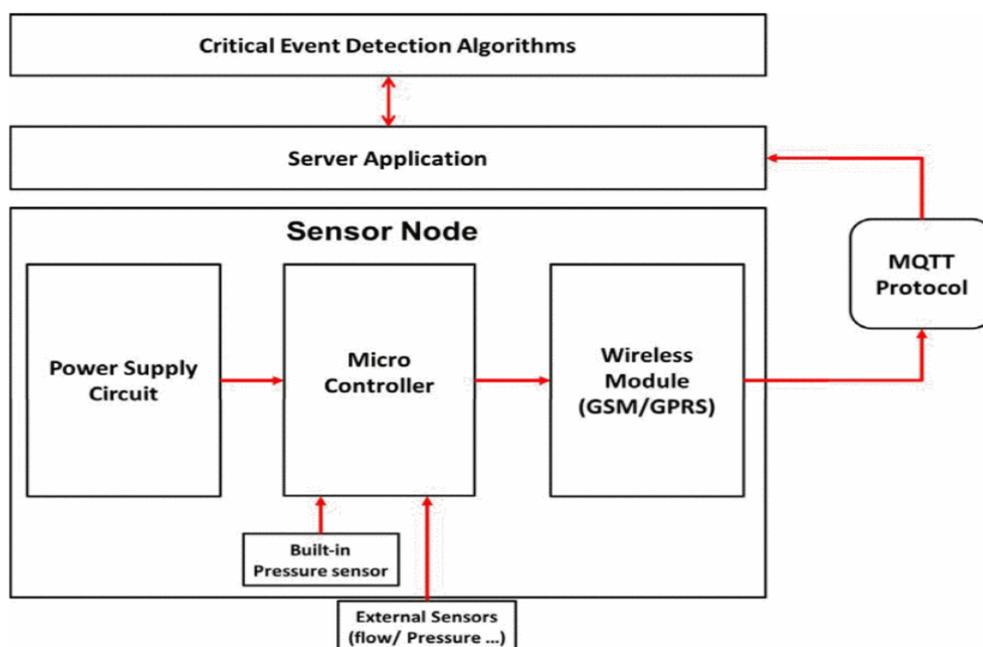


Figura 9: Arquitetura da solução proposta por Afifi et al. [23].

Através dos sensores, foram coletadas as pressões e fluxos reais em três semanas de abastecimento durante todo um mês. O período de bombeamento ativo durou 6 horas por dia e o medidor coletava informações a cada 1 minuto.

Para modelagem hidráulica e simulações de anomalias foi utilizado o software “*WaterGEMS V8i*”. Foi simulado uma explosão na rede e aplicado um algoritmo de detecção de vazamento utilizando o filtro de Kalman, adaptável em medições hidráulicas de séries temporais dos nós distribuídos do sistema. O resultado foi a construção de um monitoramento eficiente de água com rede sem fio, permitindo traçar o consumo de energia do sistema e sua confiabilidade, além de fornecer dados hidráulicos para modelar as condições operacionais e eventos anormais. Vale ressaltar que no trabalho em questão não foi avaliado o desempenho da comunicação GPRS.

Wixted et al. em [24] analisa o desempenho da rede LoRa através de protótipos experimentais. Os autores desenvolveram um experimento prático no distrito comercial central da cidade de Glasgow na Escócia, para avaliar o desempenho do LoRa e LoRaWAN. Para analisar a rede sem fio, foi colocado um módulo Arduino e um módulo LoRa, com um receptor controlado. Já para avaliação do LoRaWAN, foram posicionados dois *gateways* para recepção dos dados, e um transmissor com módulo 3G+ GPS, um módulo LoRa e um Raspberry PI para o processamento. A Figura 10 mostra resumidamente a arquitetura dessa solução.

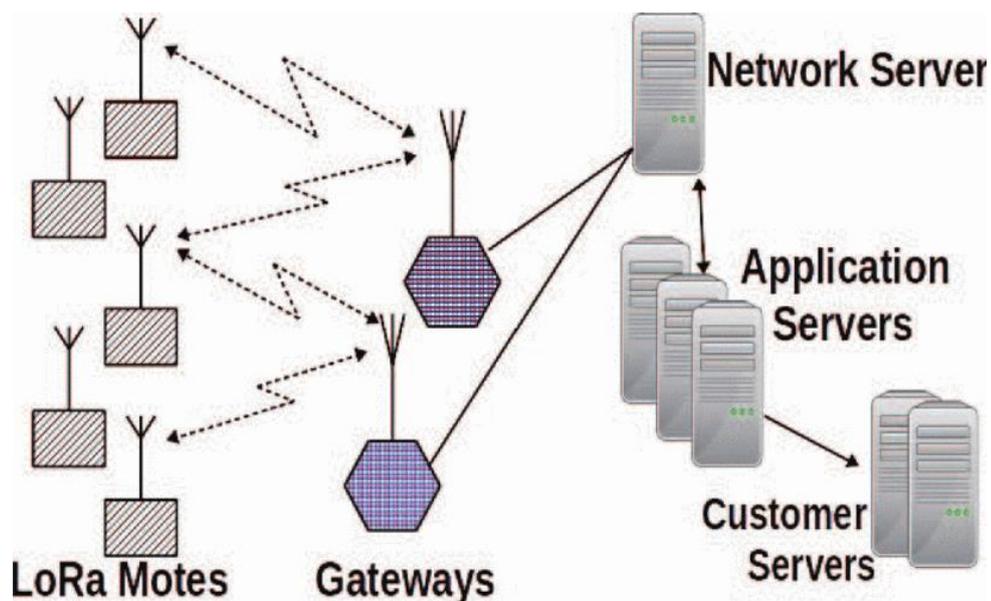


Figura 10: Arquitetura resumida da solução proposta por Wixted et al. [24].

Os testes de performance LoRa mostrou transmissões de até 2,2 Km. Como esperado, áreas abertas apresentaram melhor recepção de dados do que ruas com prédios. Os resultados iniciais dos testes de confiabilidade indicaram boa conexão em 1,9 Km. A análise do tempo de conexão mostrou vários blocos sem comunicação por uma hora ou mais. Dessa forma, o teste foi repetido utilizando 2 *gateways* e as taxas de conexão subiram 70%, mas o longo intervalo de tempo ainda era presente. O *gateway* estava operando pela rede celular. Algumas possíveis causas dos problemas foram levantadas, como interferência e latência da rede móvel. A conexão de rede móvel do *gateway* e o uso de UDP entre o gateway e o servidor significou que a perda de dados não veio apenas do sensor, mas também da rede. Com múltiplo gateways, a cobertura de redes alcançou lugares considerados problemáticos. É importante destacar que, diferente da proposta desse trabalho, os autores utilizaram *gateway* operando pela rede celular.

## 5. PROPOSTA DO TRABALHO

Após atestar o desempenho insuficiente da tecnologia GPRS, esse trabalho tem o objetivo de avaliar o desempenho da tecnologia LoRa aplicada na gestão remota do processo de distribuição de água. A arquitetura proposta pode ser visualizada na Figura 11. O sensor representa os instrumentos que realizam a medição dos parâmetros de campo. Para essa aplicação foi escolhido um sensor de vazão, pois é de extrema importância para controle do volume abastecido em uma região. A seção 5.1 apresenta informações detalhadas desse sensor. O instrumento é ligado a uma placa microcontroladora ESP32 LoRa, que realiza a aquisição e o envio dos dados. A seção 5.2 apresenta as informações desse microcontrolador. O *gateway* LoRa, descrito na seção 5.3, recebe e processa todos os dados oriundos dos microcontroladores e os envia, via protocolo MQTT, para a nuvem, de forma que esses dados possam ser acessados através de uma aplicação, assunto que será detalhado na seção 5.4.

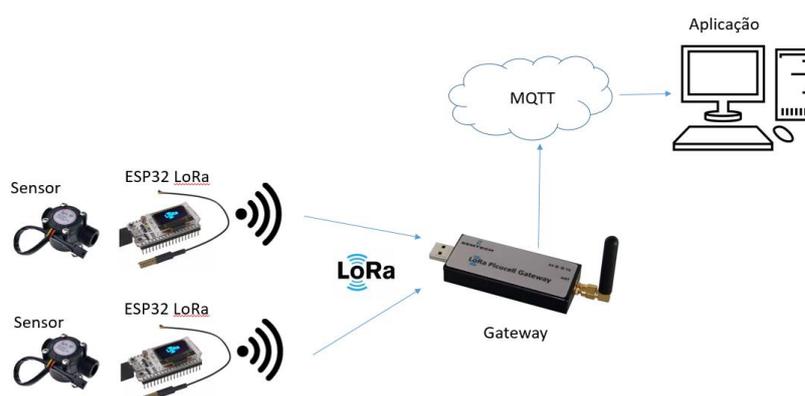


Figura 11: Arquitetura do sistema de monitoramento com tecnologia LoRa (Fonte: Autor).

### 5.1. SENSOR DE VAZÃO DE ÁGUA YF-S201

Para montagem do protótipo, foi especificado um sensor de vazão para aplicação em água. Foi escolhido o sensor de fluxo de água YF-S201 (Figura 12), que apresenta bom custo benefício (R\$33,00 em março de 2019), pois mesmo com baixo valor atende os requisitos do projeto. Esse sensor pode ser usado para medir o fluxo de líquidos em ambientes industriais e domésticos. Ele possui o corpo da válvula de plástico e, em seu interior, existe uma pequena turbina movimentada pelo fluxo que passa por ele. As pás dessa turbina acionam um sensor magnético de efeito “Hall”. Esse efeito é a produção de uma diferença de tensão transversal ao fluxo de corrente em um condutor elétrico, que causa a emissão de um pulso elétrico, a cada rotação, proporcional a velocidade do fluxo. Através dos pulsos de saída do sensor é possível calcular o fluxo da água. Cada pulso corresponde a aproximadamente 2,25 milímetros de água [25]. Esse sensor de fluxo de água pode ser facilmente conectado com microcontroladores.



Figura 12: Sensor de vazão YF-S201 (Fonte: Autor)

Para testar a aquisição de dados, o sensor pode ser conectado a uma tubulação para medir o fluxo de passagem de água. Para visualizar as informações do sensor com a placa ESP32 LoRa, pode ser utilizado a IDE do

Arduíno que recebe e interpreta as informações de vazão. O YF-S201 é conectado através de três fios; vermelho (energia de 5-24VDC), preto (terra) e amarelo (saída de pulso com efeito Hall).

O Apêndice B mostra o detalhamento das características técnicas referente ao sensor de fluxo YF-S201.

## 5.2. ESP32 LoRa

O microcontrolador ESP32 é produzido pela empresa Espressif Systems, empresa chinesa especializada no desenvolvimento de soluções Wi-Fi, *Bluetooth* e de IoT com baixo consumo energético. Esse microcontrolador é uma evolução do ESP8266, que está disponível no mercado desde 2014. O ESP32 é projetado para Internet das Coisas (*IoT*), tendo integrado o Wi-Fi e o Bluetooth baseado no paradigma *system-on-a-chip*, sendo o grande diferencial desta placa. Desde 2016, quando foi lançado, vem sendo considerado um dos mais robustos controladores, tendo como características a velocidade de processamento, conectividade e acessibilidade [26]. Na Tabela 3, pode-se observar as especificações técnicas desse hardware.

Tabela 3: Especificações técnicas ESP32 (Fonte: [26]).

<b>Especificações</b>	<b>Detalhes</b>
Tensão	3.3 V
Memória RAM	520 Kb
Processador	single/dual-core 32 bit
GPIOs	34
Entradas conversoras Analógico/Digital	7

Existem vários microcontroladores utilizados para internet das coisas, a Figura 13 mostra a comparação de alguns deles. O ESP8266, anterior ao ESP32, era dos mais utilizados para projetos envolvendo a IoT, porém o

ESP32 surgiu com uma solução mais completa, podendo ser utilizado também em projetos mais complexos [27].

Chip (Module)	ESP32 (ESP-WROOM-32)	ESP8266 (ESP8266-12E)	CC32 (CC3220MODSF)	Xbee (XB2B-WFPS-001)
<b>Details:</b>				
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core at 160/240 MHz	Tensilica LX106 32 bit at 80 MHz (up to 160 MHz)	ARM Cortex-M4 at 80 MHz	N/A
SRAM	520 KB	36 KB available	256 KB	N/A
FLASH	2MB (max. 64MB)	4MB (max. 16MB)	1MB (max. 32MB)	N/A
Voltage	2.2V to 3.6V	3.0V to 3.6V	2.3V to 3.6V	3.14V to 3.46V
Operating Current	80 mA average	80 mA average	N/A	N/A
Programmable	Free (C, C++, Lua, etc.)	Free (C, C++, Lua, etc.)	C (SimpleLink SDK)	AT and API commands
Open source	Yes	Yes	No	No
<b>Connectivity:</b>				
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth®	4.2 BR/EDR + BLE	-	-	-
UART	3	2	2	1
<b>I/O:</b>				
GPIO	32	17	21	10
SPI	4	2	1	1
I2C	2	1	1	-
PWM	8	-	6	-
ADC	18 (12-bit)	1 (10-bit)	4 (12-bit)	4 (12-bit)
DAC	2 (8-bit)	-	-	-
Size	25.5 x 18.0 x 2.8 mm	24.0 x 16.0 x 3.0 mm	20.5 x 17.5 x 2.5 mm	24.0 x 22.0 x 3.0 mm
Prize	£8	£5	£16	£23

Figura 13: Microcontroladores para projetos em IoT (Fonte: [27]).

O ESP32 possui três chips: o da memória Flash, o da Espressif (que é o processador da Tensilica), e a USB para serial TTL (da Silicon Labs). A Figura 14 mostra o diagrama de blocos do *chip* ESP32.

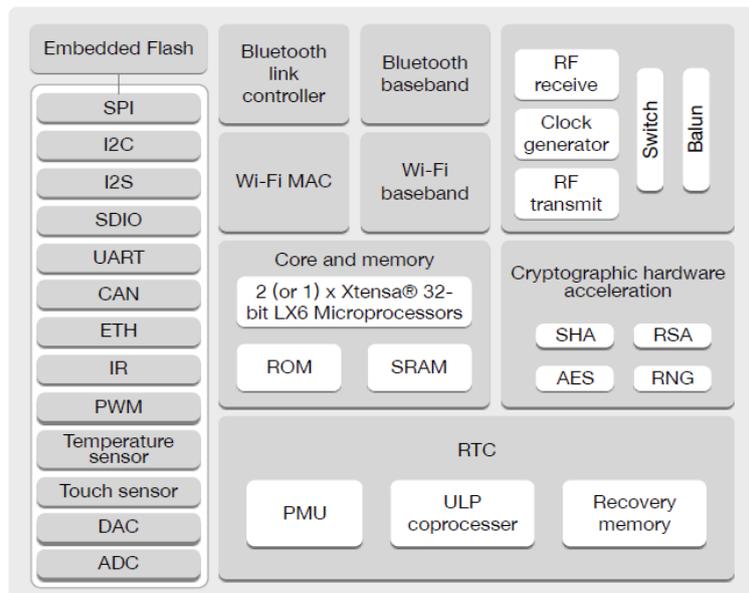


Figura 14: Diagrama de Bloco Funcional do ESP32 (Fonte: Espressif Systems).

### 5.3. MÓDULO HELTEC Wi-Fi ESP32 LoRa

De forma a facilitar e empregar a tecnologia LoRa no projeto, foi escolhido uma placa LoRa já integrada a um microcontrolador ESP32: a placa Wi-Fi ESP32 LoRa do fabricante Heltec Automation, como mostra a Figura 15. Esta placa também possui um display OLED de 0,96" integrado, facilitando a visualização das informações. Além disso, ela contém uma interface de bateria do tipo SH1.25-2 com um sistema integrado que permite controlar carga, descarga e trocar automaticamente as fontes de alimentação USB e bateria. No caso dessa placa da Heltec além dos 3 *chips* incluídos no ESP32, há também o chip LoRa SX1276 da Semtech. Quando comparado ao ESP32 tradicional este quarto chip está ligado pela porta SPI. Quanto ao Flat do OLED, este está ligado no i2c.



Figura 15: ESP 32 LoRa (Fonte: Folha de dados do fabricante - Heltec).

Os *chips* LoRa criado pela empresa Semtech se diferenciam pelo *range* de frequências, na Figura 16 é possível verificar as informações dos modelos SX1276,277,1278 e 1279.

Part Number	Frequency Range	Spreading Factor	Bandwidth	Effective Bitrate	Est. Sensitivity
SX1276	137 - 1020 MHz	6 - 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1277	137 - 1020 MHz	6 - 9	7.8 - 500 kHz	0.11 - 37.5 kbps	-111 to -139 dBm
SX1278	137 - 525 MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1279	137 - 960MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm

Figura 16: Modelos dos chips do ESP 32 LoRa (Fonte: Folha de dados do fabricante - Heltec).

A Figura 17 mostra o diagrama de pinos do ESP32 LoRa. Os pinos GPIO, funcionam como entrada e saída, sendo responsáveis por receber e enviar informações para outros dispositivos. Os GPIO01 e GPIO03 são responsáveis pela comunicação de recebimento e envio TX/RX, e os pinos a esquerda realizam as funções de ADC, convertendo as informações analógicas em digitais para processamento no microcontrolador.

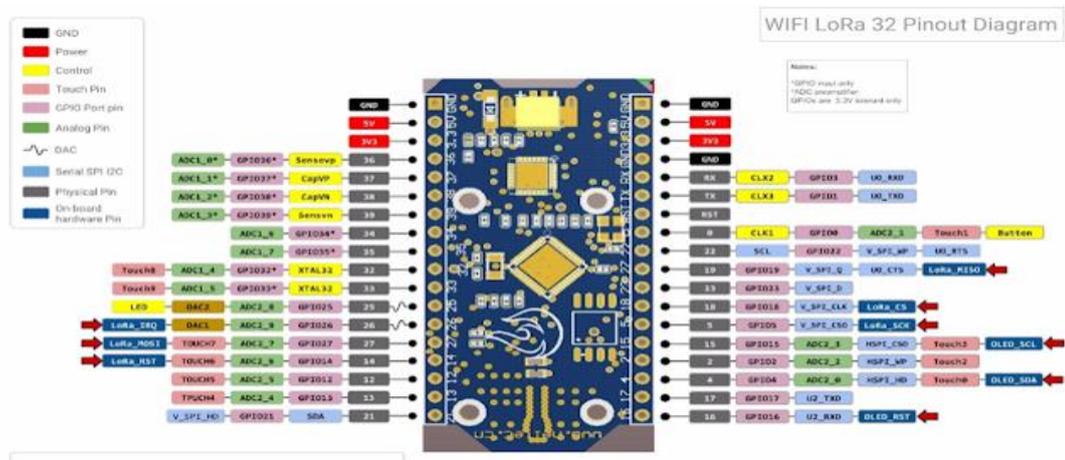


Figura 17: Diagrama de pinos do ESP 32 LoRa (Fonte: *Folha de dados do fabricante - Heltec*).

O Apêndice C mostra o detalhamento das características técnicas referente ao ESP32 LoRa.

#### 5.4. GATEWAY LoRa

O *gateway* LoRa é o elemento responsável por realizar a conexão entre os dispositivos finais e os servidores de aplicação. Ele possui hardware que habilita a recepção de mensagens LoRa e, através do 4G ou via ethernet, por exemplo, as envia ao servidor de aplicação. Os *gateways* funcionam como retransmissores, pois encaminham, junto com informações de qualidade na recepção, as mensagens enviadas por qualquer dispositivo final. Diferente das redes celulares tradicionais, os dispositivos finais podem ser associados a múltiplos *gateways*. Vale a pena ressaltar que, a placa ESP32 utilizada nesse projeto, pode funcionar como *gateway* por possuir Wi-Fi e *Bluetooth*.

#### 5.5. PROTOCOLO MQTT e SERVIDOR DE APLICAÇÃO

MQTT é um protocolo aberto de mensagens projetado para comunicação M2M, criado para ser usado em alta latência, baixa largura de banda e comunicação instável [22].

O funcionamento do protocolo MQTT é baseado no paradigma *publish-subscribe*. Para enviar uma mensagem, essa informação tem que ser publicada (*publish*) em um tópico, quem estiver escrito nesse tópico (*subscribed*) receberá a informação. Para chegar aos destinatários corretos, os dados são enviados para um intermediário chamado *broker*. Este, por sua vez, é responsável por coordenar a comunicação na rede, encaminhando requisições e mensagens [28].

O servidor de aplicação realiza o controle e tradução das mensagens encaminhadas pelo *gateway* e produz as que serão transmitidas para os dispositivos finais. Através dele é possível visualizar as informações reais mensurados em campo.

Inicialmente foram realizados testes de bancada com o protótipo, conforme definido, a placa ESP32 LoRa recebia e enviava os dados, que eram processados e enviados para nuvem pelo *gateway* LoRa, sendo acessíveis através da interface web do computador. Como o objetivo desse trabalho é testar o desempenho da comunicação LoRa, o protótipo proposto foi simplificado, tornando mais simples a realização dos testes de comunicação. Como a placa possui um display, é possível visualizar as informações recebidas instantaneamente direto na sua interface, não necessitando publicá-las na nuvem para ser interpretada em um servidor de aplicação. Foi embarcado um código no controlador, tornando possível comunicar 2 placas ponto a ponto, informando potência do sinal, mensagem enviada e mensagem recebida. Dessa forma não foi necessário conectar um sensor para gerar dados, facilitando a movimentação das placas durante os testes. A figura 18 apresenta o protótipo simplificado, composto por 2 placas ESP32 LoRa.



Figura 18: Protótipo simplificado para testes (Fonte: Autor).

## 6. RESULTADOS

Para avaliar o desempenho da tecnologia LoRa, quando utilizada como sistema de comunicação para automação da distribuição da água tratada, foram realizados testes para verificar a capacidade de envio e recebimento de mensagens de forma confiável.

Os testes foram realizados com controladores de baixo custo conectados através de dois nós terminais. Foram adquiridas duas placas Wi-Fi ESP32 LoRa de segunda versão, que é a mais moderna, do fabricante *Heltec Automation*, com antena para 900 MHz e ganho de 3 dBi. A alimentação da placa foi realizada por carregador portátil com bateria de lítio (*power bank*), para obter mais flexibilidade de locomoção para simulação em diferentes cenários e distâncias. A Figura 19 apresenta o protótipo descrito acima. As seguintes configurações foram utilizadas para os módulos LoRa:

- *Chip* base: SX1276;
- Frequência de operação: 868-915MHz;
- Fator de espalhamento: SF12;
- Largura de banda: 125 kHz;
- Taxa de código: 4/5;
- Taxa de bits nominal: 293 b/s.

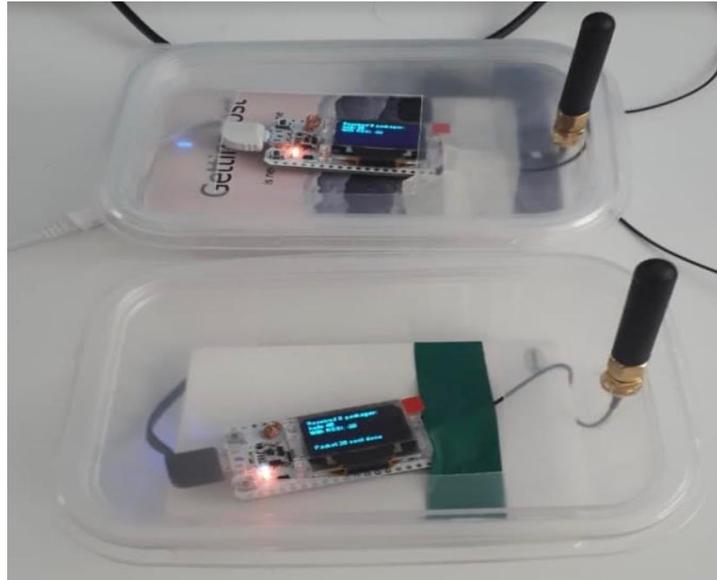


Figura 19: Protótipo do experimento LoRa (Fonte: Autor).

### 6.1. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Através do display OLED foi possível visualizar de forma prática os dados trocados. Um pacote é enviado e recebido a cada um segundo. Na interface é possível identificar quando a mensagem é enviada pela mensagem “*Packet 1 sent done*”, significando “pacote 1 enviado”. Quando uma mensagem é recebida aparece a mensagem “*Hello*” acompanhada do número do pacote, como pode ser visualizado na Figura 20. Além disso, também é informado o indicador de potência do sinal recebido (“*with RSSI:*”), sendo possível verificar sua variação durante a realização dos testes.

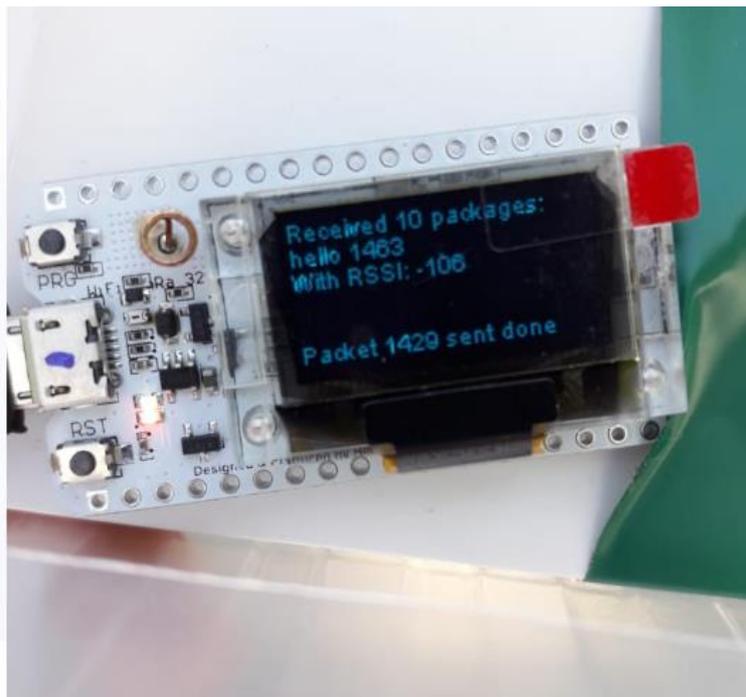


Figura 20: Informações visualizadas no display OLED (Fonte: Autor).

A varredura dos dados para monitoramento é realizada em um intervalo de tempo definido conforme necessidade do processo. No Capítulo 2, a análise do GPRS foi realizada em cima de requisições de leituras a cada 30 segundos, tendo 10 segundos de *timeout* (tolerância no atraso da resposta em função das tentativas de retransmissões). Dessa forma, nestes testes também foram utilizados os mesmos intervalos de requisições e mesmo *timeout*. Para observar melhor as tentativas de retransmissão, a placa foi configurada para enviar mensagens a cada 1 segundo. Após uma requisição, são realizadas 10 tentativas com intervalos de 1 segundo cada. Assim o atraso nas respostas pode variar em função de quantas tentativas forem necessárias, se passarem de 10 não houve sucesso na comunicação.

As placas foram nomeadas A e B. A placa “A” permaneceu fixa e, a placa “B” em movimento, para mensurar as distâncias tendo sempre o mesmo referencial. Os testes foram repetidos 10 vezes para tentar aumentar a confiabilidade nas informações mensuradas.

Para simular o cenário mais próximo do real, que seriam pontos de medições distribuídos pela cidade, foi escolhido dois ambientes em área urbana na cidade de Niterói situada no estado do Rio de Janeiro. A primeira região utilizada resultou em enlaces sem linha de visada (NLoS), onde os dois módulos ficaram em locais com obstáculos que causam interferências e dificuldade de comunicação. Na segunda região, havia pouca obstrução e enlaces com linha de visada (LoS).

## 6.2. AVALIAÇÃO EM AMBIENTE URBANO

Para realização dos testes em ambiente externo sem visada (NLoS), foi escolhido o prédio da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF) no Campus Praia Vermelha. Para o cenário com linha de visada (LoS), foi escolhido a orla da praia. Nesta última, é possível abranger maior espaço e evitar interferência de fluxo de pessoas, automóveis, construções e demais obstáculos encontrados em zonas urbanas centrais.

### 6.2.1. Testes em cenário urbano sem linha de Visada (NLoS)

O local escolhido dentro do campus da Universidade pode ser visualizado na Figura 21. Ele apresenta edificações de diferentes tamanhos, desníveis de solo, além de uma extensa área de vegetação. Os testes foram realizados em um final de semana, onde há um menor fluxo de alunos pelo Campus. A placa A permaneceu fixa e a B foi movimentada e medidas foram tomadas a cada 50 metros em linha reta, passando pelo Instituto de Física e pelo Instituto de Geociências. Dessa forma, a placa B chegou à rua de acesso à Praia Vermelha com 300 metros de distância, como apresentado na Figura 22.



Figura 21: Cenário do experimento, área externa da UFF - Campus Praia Vermelha (Fonte: Autor).



Figura 22: Localizações das medições no cenário sem visada (Fonte: Autor).

A cada 50 metros foi verificada a capacidade de comunicação, registrando a potência, o envio e o recebimento de mensagens entre o nó A e o nó B (Figura 23), assinalando se ocorreu atraso na chegada da mensagem (Figura 24). Se a cada 50 metros estivesse sucesso na troca de dados, o teste era repetido mais 50 metros à frente.

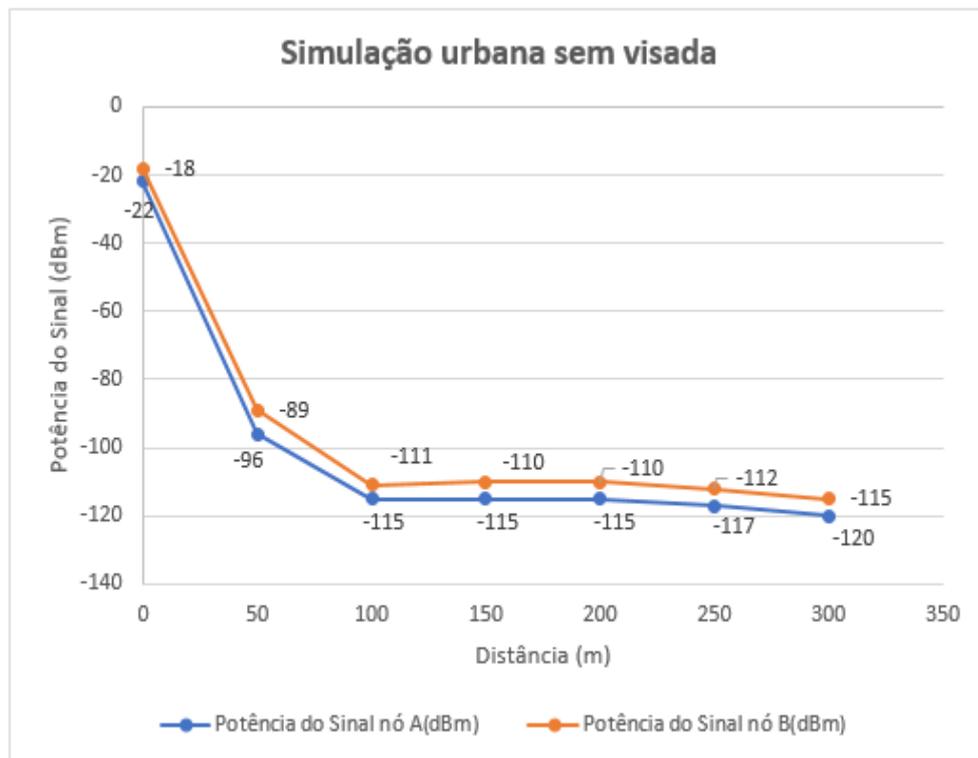


Figura 23: Potência do sinal em função da distância - Simulação urbana sem visada (Fonte: Autor).

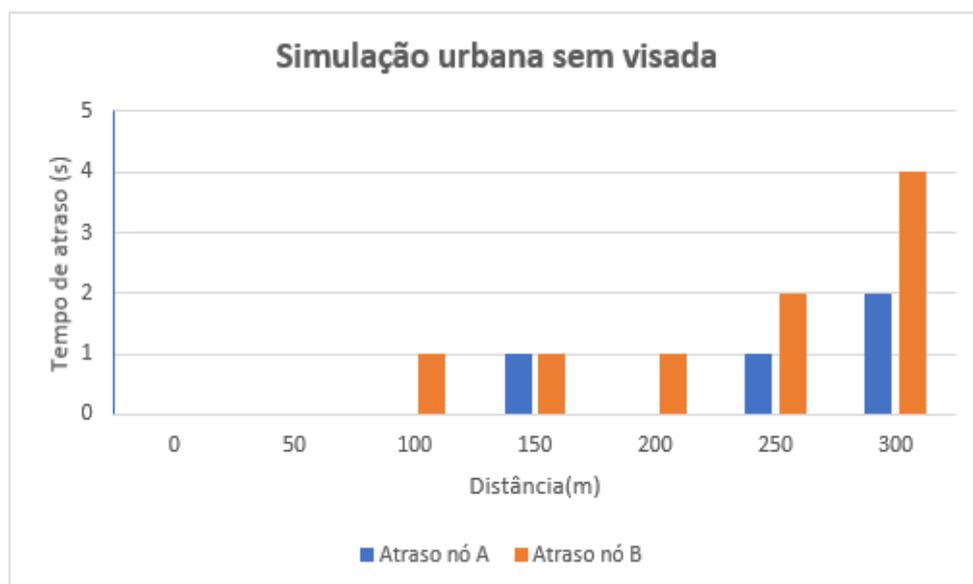


Figura 24: Pior tempo de atraso observado em função da distância - Simulação urbana sem visada (Fonte: Autor).

A partir dos resultados foi possível observar que, como esperado, quanto maior a distância, menor a potência do sinal recebido e maior o tempo de atraso da resposta. Os testes realizados em ambiente externo sem visada (NLoS), mostraram que nesse cenário, a tecnologia LoRa tem uma capacidade de comunicação aceitável em até 300 metros, podendo ter um atraso, causado pela necessidade de retransmissões, de até 4 segundos. Acima dessa distância não houve possibilidade comunicação aceitável entre os nós A e B.

#### 6.2.2. Testes Urbano com linha de Visada (LoS)

Para os testes com linha de visada, foi escolhido um local próximo da Universidade Federal Fluminense, abrangendo a praia das Flechas, de Icaraí e a de Charitas. Na cidade de Niterói esses são uns dos locais com maior espaço aberto, possibilitando realizar as medições com o máximo de distância possível. O cenário pode ser visualizado na Figura 25.



Figura 25: Cenário do experimento na Praia das Flechas e Praia de Icaraí (Fonte: Autor).

A fim de chegar ao limite de área coberta pela rede, foram marcados pontos de medições estratégicos para registrar os dados e realizar sua análise. Cada um desses pontos foi marcado por uma distância em relação ao nó fixo A. A Figura 26 apresenta essas localizações e distâncias.



Figura 26: Localizações das medições no cenário com visada (Fonte: Autor).

O nó fixo A permaneceu posicionado no museu de Arte contemporânea, enquanto o nó B foi movido pela orla da praia testando a capacidade de comunicação. A cada sucesso na troca de dados entre os nós LoRa, era testada uma distância maior e, o teste foi repetido para atingir o maior alcance possível. Dessa forma, foi realizada a medição em 500, 1100, 1600, 1800 e 3800 metros, entre a praia das Flechas, de Icaraí e de Charitas. Os resultados são apresentados na Figura 27 e 28.

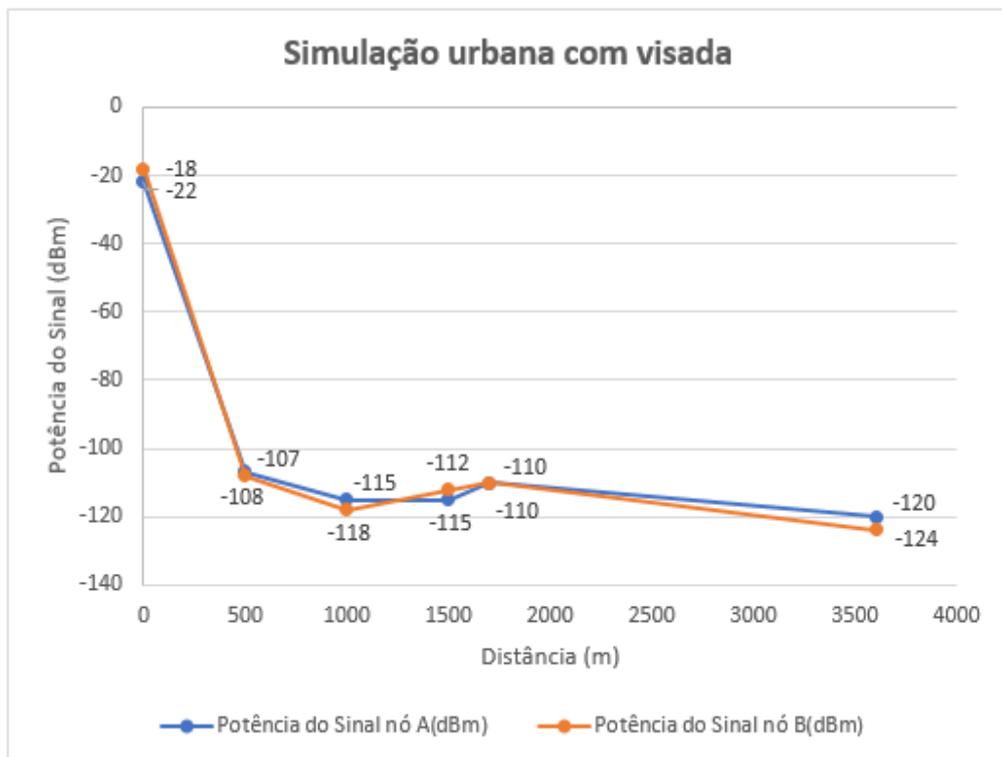


Figura 27: Potência do sinal em função da distância - Simulação urbana com visada (Fonte: Autor).

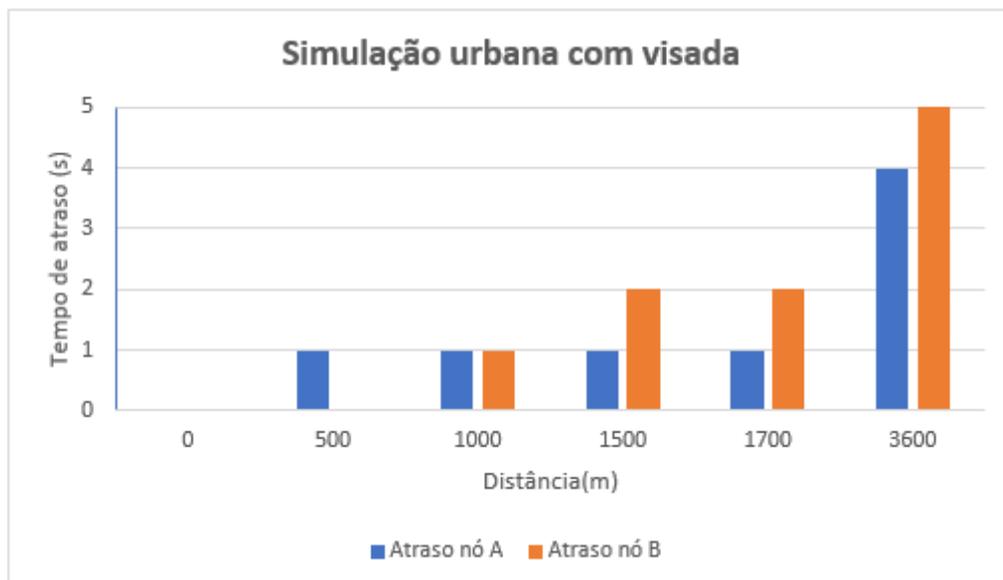


Figura 28: Pior tempo de atraso observado em função da distância - Simulação urbana com visada (Fonte: Autor).

O resultado mostra que, a tecnologia LoRa nesse cenário, chega à distância de 3800 metros com comunicação aceitável e até 5 segundos de atraso do envio dos dados. Foi possível observar também que, quanto maior a distância percorrida, menor a qualidade do enlace, gerando perdas do pacote e conseqüentemente atraso da mensagem. Como esperado, os testes com linha de visada (LoS) apresentaram alcance bem maior comparado aos resultados obtidos sem linha de visada (NLoS). O primeiro cenário, sem visada, obteve o máximo de 300 metros de alcance, ou seja, menos de 10% do alcance máximo encontrado no segundo cenário.

## 7. CONCLUSÕES E PROJETOS FUTUROS

A Internet das Coisas possibilita um amplo campo de oportunidades e conexões. As redes de longo alcance e baixa potência (LPWAN) surgiram para conectar “coisas” com melhor cobertura de rede e menor custo, ampliando o leque de soluções IoT. Os objetos inteligentes são conectados e se comunicam entre si e com o usuário, permitindo adquirir informações do meio em que vivemos.

Para automatizar um processo de forma que as informações de campo cheguem até uma interface de visualização remota, é necessário utilizar tecnologias adequadas às distâncias e cenários da aplicação. O instrumento de campo envia um sinal para um controlador, que interpreta e transmite a informação através de alguma tecnologia de comunicação (GPRS, fibra, rádio LoRa, etc.), até o centro de controle.

Para obter parâmetros de desempenho da comunicação, foi avaliado o desempenho da tecnologia GPRS, uma das tecnologias mais utilizadas em aplicações de telemetria por conta da disponibilidade e baixo custo. Foi estudada durante 15 dias, a comunicação dos modems remotos de uma empresa de saneamento básico. Os resultados mostraram que, um modem pode ficar até 10% do tempo desconectado por dia, considerando intervalo de confiança de 95%, o que justificou a busca de tecnologias alternativas. Dessa forma, a tecnologia IoT LoRa foi avaliada como meio de comunicação para estabelecer a troca de dados de forma confiável.

Antes da montagem do protótipo proposto nessa pesquisa, foi estudada as tecnologias IoT LPWAN com objetivo de avaliar qual seria a mais adequada para solução no gerenciamento da distribuição de água. Foi comparado na literatura as características das tecnologias IoT LPWAN emergentes LoRa, Sigfox e NB-IoT. Sigfox e LoRa tem maior alcance e menor custo em relação ao NB-IoT. Esse, por sua vez, apresenta menor latência e qualidade no serviço.

Além disso, a LoRa comparado a Sigfox, possui maior largura de banda, comunicação bidirecional e não tem limitação de mensagens. Dessa forma, pelas características de alcance, custo, tipo de comunicação e limitação de mensagens, a tecnologia LoRa foi escolhida para avaliação nesse trabalho.

Com o objetivo de avaliar o desempenho da comunicação LoRa, foi montado um protótipo simples com duas placas ESP32 LoRa Wi-Fi de segunda geração. Um código de leitura e escrita foi embarcado no microcontrolador, possibilitando enviar e receber mensagens com as seguintes informações: dados enviados, dados recebidos e potência do sinal. A visualizações dessas mensagens de forma fácil e prática foi possível através do display OLED integrado na placa. Os testes foram realizados na frequência de operação de 868-915 MHz, largura de banda de 125 KHz, volume de dados transmitidos de 293 b/s e, fator de espalhamento 12.

De forma a representar o cenário urbano, os testes foram realizados em dois ambientes distintos. O primeiro, foi uma região no qual as duas placas não tinham linha de visada (NLoS) entre si. Esses elementos eram: prédios, vegetação e pessoas circulando, típicos da aplicação de telemetria de redes de abastecimento de água. Já de forma contrária, o segundo foi um ambiente com o máximo de linha de visada (LoS) entre as duas placas microcontroladoras, de forma que estivesse o mínimo possível de interferência na comunicação entre elas.

No primeiro teste, realizado na Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF) no Campus Praia Vermelha, a tecnologia LoRa apresentou alcance de até 300 metros com comunicação aceitável e um atraso de resposta de até 4 segundos. Já o segundo teste, realizado entre as praias das Flexas, Icaraí e Charitas na cidade de Niterói, a tecnologia LoRa apresentou alcance de até 3800 metros com comunicação aceitável e com possibilidade de até 5 segundos no atraso da mensagem.

Os testes foram realizados com objetivo de atingir a máxima distância com comunicação confiável. É importante ressaltar que, a tecnologia GPRS, utilizada como parâmetro de comparação nesse estudo, já dispõe de uma rede existente, com operadoras de telefonia viabilizando esse recurso. Sendo assim, seu

desempenho foi analisado conforme disponibilidade das redes de telefonia, que nesse caso foi a VIVO.

Como descrito em [6], os testes com o experimento mostraram que a modulação LoRa oferece boa resistência a interferência. Similar aos resultados encontrados por Wixted et al. [24], áreas abertas tiveram melhor desempenho que do que ruas com prédios altos.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que é viável utilizar a tecnologia LoRa para monitoramento da distribuição de água tratada, uma vez que é fornecido uma comunicação confiável e de baixo custo, agregando a solução o que há de mais recente no paradigma da Internet das coisas (IoT). Outra vantagem da tecnologia LPWAN, é a praticidade com a infraestrutura para aquisição das informações, utilizando bateria e o envio de dados do sensor direto ao *gateway*.

Como continuidade a essa pesquisa, em referência aos trabalhos futuros, está a construção de um sistema maior, contemplando mais nós LoRa conectados a um *gateway*, enviando um maior volume de dados através da nuvem. De forma que possa ser avaliado algum impacto de desempenho com o aumento do sistema, ou seja, sua escalabilidade. Podendo ser considerado também o aumento do número de *gateways*, conforme feito em [15], mas sem o *gateway* operar com rede celular.

# APÊNDICE A

Parte do código desenvolvido em Python.

```

Registro de desconexão do modem
Se não existir o dia no 'date_indice', é criado
No 'date_indice_raw_data' também.
"""
def register_disconnection(self, day=None, time=None):
    self.disconnections_count += 1#incrementa a contagem de desconexao
    if day:
        l = next((s for s in self.date_indice if s[0] == day), None)
        l2 = next((s for s in self.date_indice_raw_data if s[0] == day), None)
        if l:
            l[1] += 1#incrementa contagem de desconexao no dia
            l2[1]['last_disconnect'] = time#ultima desconexao ocorreu nesse tempo
        else:
            self.date_indice.append([day,1])#nao existe a data add a data
            self.date_indice_raw_data.append([day,{'duration':datetime.timedelta(),
                                                'last_disconnect':datetime.timedelta(),
                                                'day_duration': datetime.timedelta()}])#add os valores iniciais

"""
Registra reconexão do modem, é registrada a duração da desconexão do dia
"""
def register_reconnection(self, day,time):
    l2 = next((s for s in self.date_indice_raw_data if s[0] == day), None)#retorna o dia atual
    l2[1]['duration'] += time - l2[1]['last_disconnect']
    #faz o tempo atual - a ultima desconexao e add somatorio do tempo de desconexao |

"""
Fazendo a porcentagem do tempo desconectado
(tempo_desconectado * 100) / tempo_total_de_operação
regra de 3
É retornado a porcentagem total e a porcentagem para cada dia ('pk')
"""
def media_disconnection_time(self):
    days = len(self.date_indice)

    pk = map(lambda x: (x[1]['duration'].total_seconds() * 100.0) / x[1]['day_duration'].total_seconds() , self.date_indice_raw_data):

    return ( (self.disconnections_duration.total_seconds() * 100.0) / self.full_time.total_seconds(),

```

## APÊNDICE B

Caraterísticas técnicas do sensor de fluxo YF-S201:

- Modelo: YF-S201;
- Tipo de sensor: efeito hall;
- Voltagem operacional: 5 a 18 V;
- Consumo máxima de corrente: 15 mA;
- Tipo de saída: 5V TTL;
- Taxa de fluxo operacional: 1 a 30 L/min;
- Temperatura operacional:-25 a 80°C;
- Precisão:+-10%;
- Tempo de subida do sinal de saída: 0,04 us;
- Tempo de descida do sinal de saída: 0,18 us;
- Características do pulso: frequência (Hz) = 7,5\* Fluxo (L/min);
- Pulsos por Litro: 450;
- Durabilidade mínima: 300.000 ciclos;
- Comprimento do cabo: 15 cm;
- Diâmetro das conexões: 0,5 polegadas;
- Tamanho: 6,35 x 3,55 x 3,55 cm.

# APÊNDICE C

Características técnicas do ESP32 LoRa:

ESP32:

- *Chip Base*: ESP32-D0WDQ6 (Folha de dados ESP32);
- Processador: Xtensa 32-Bit LX6 *Dual Core*;
- Clock: 80 a 240 MHz (Ajustável);
- Memória *ROM*: 448KB;
- Memória *SRAM*: 520Kb;
- Memória *Flash* Externa: 32-Bit de acesso e 4Mb;
- Tensão de Alimentação: 2,7 a 3,6 VDC;
- Tensão de nível lógico: 3,3VDC (não tolera 5V);
- Corrente de consumo: 80mA (típica);
- Corrente de consumo: 500mA (máxima);
- Interfaces: Cartão SD, *UART* (3 canais), *SPI* (3 canais), *SDIO*, *I2C* (2 canais), *I2S* (2 canais), *IR*, *PWM LED* (2 canais) e *PWM* motor (3 canais);
- Tipos *GPIO*: *Digital IO* (36), *ADC* 12-Bits (16 canais), *DAC* 8-Bits (2 canais), Sensor Capacitivo (10 canais); LNA pré-amplificador;
- *Wi-Fi* 802.11 b/g/n: 2.4 a 2.5 GHz;
- Segurança *Wi-Fi*: *WPA* / *WPA2* / *WPA2-Enterprise* / *WPS*;
- Criptografia *Wi-Fi*: *AES* / *RSA* / *ECC* / *SHA*;
- Bluetooth 4.2 *BR* / *EDR* e *BLE* (*Bluetooth Low Energy*);
- RTC Integrado de 8Kb (*Slown* / *Fast*);
- Sensor integrado: Temperatura e *Hall*;
- Temperatura de trabalho: -40° à +85° C;

LoRa SX1276:

- *Chip Base*: SX1276 (Folha de dados SX1276);
- Frequência de operação: 868-915MHz;

- Sensibilidade: -139dBm (máximo);
- Tensão de Alimentação: 1,8 a 3,7 VDC;
- Corrente de consumo: 10,8mA (RX - recepção) e 120mA (TX - transmissão);
- Potência máxima: 20dBm;
- Modo de modulação: *LoRa*, *FSK*, *GFSK* e *OOK*;
- Taxa de transferência: 0,018 a 37,5 Kb/s (*LoRa*);
- Interface de comunicação: SPI;
- Temperatura de trabalho: -40 a +85°C;
- Dimensões: 17,0 x 17,3 x 2,6 mm (sem antena);

#### Display OLED:

- Tensão de trabalho: 3,0 a 5,0V;
- Tensão lógica: 3,3 - 5,0V;
- Potência Máxima: 80 mW;
- Resolução: 128x64 pixels;
- Ângulo de Visão: > 160 Graus;
- Interface: I2C;
- Escrita Branca;
- Driver: SSD1306;
- Dimensão do visor: 1,90 x 2,73 cm (C x L);
- Dimensão total: 2,78 x 2,73 x 0,41 cm (C x L x A);

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Quindry, E. Brill, J. Liebman and A. Ronbison, Comment on 'Design of optimal water distribution systems' by E. Alperovits and U. Shamir, *Water Resour. Res.*, 15, this issue, 1979.
- [2] L. Atzori, A. Lera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, v. 54, n. 15, pp. 2787 – 2805, 2010.
- [3] L. D. Xu, W. He and S. Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233-2243, Nov. 2014.
- [4] U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, Secondquarter 2017.
- [5] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui and T. Watteyne, "Understanding the Limits of LoRaWAN," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34-40, Sept. 2017.
- [6] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," *Sensors*, vol. 16, no. 9, p. 1466, 2016.
- [7] Ying He, L. Soder and R. N. Allan, "Distribution automation: impact of communication system on reliability of automatic control," *2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502)*, Porto, Portugal, 2001, pp. 6 pp. vol.3.
- [8] C. Bettstetter, H. J. Vogel and J. Eberspacher, "GSM Phase 2+. General Packet Radio Services GPRS: architecture, protocols and air interface", *IEEE Communicatons Surveys*, Third Quarter 1999, vol. 2 no. 3.
- [9] G. Tateoki, Monitoramento de Dados via Internet baseados em Telefonia Celular, Dissertação de Mestrado, UNESP, Janeiro/2007.

- [10] J. QUEIRÓS, Sistema de Sensorização e Telemetria de um VEC (Veículo Eléctrico de Competição). 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Cidade do Porto. 2011.
- [11] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, and M. Pettissalo, "On the coverage of lpwans: range evaluation and channel attenuation model for lora technology," *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, Copenhagen, 2015, pp. 55-59.
- [12] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60-67, October 2016.
- [13] S. Wilson. The future of 3g: the case for decommissioning. [Online]. Available: < <http://www.analysismason.com/3G-decommission-Oct2015>> acessado em: 05 de maio de 2019.
- [14] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Exp.*, , Vol. 5, Issue 1, March 2019, Pages 1-7.
- [15] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT", *Conferência Internacional IEEE de 2018 sobre Workshops de Computação e Comunicação Pervasivas (Workshops da PerCom)*, Atenas, 2018.
- [16] Y. -. E. Wang *et al*, "A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things", em *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, n. 3, pp. 117-123, março de 2017.
- [17] F. Sforza, "Communications system," U.S. Patent 8 406 275, Mar. 26, 2013. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US8406275> acessado em: 25 de maio de 2019.
- [18] LoRa Alliance. What is LoRaWAN Specification, 2019. Available: < <https://LoRa-alliance.org/about-LoRaWAN>> acessado em: 05 de maio de 2019.

- [19] B. Santos, L. Silva, C. Celes, J. Borges, B. Neto, M. Vieira, L. Vieira, O. Goussevskaja e A. Loureiro. Internet das coisas: da teoria à prática. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016.
- [20] M. Saravanan, A. Das and V. Iyer, "Smart water grid management using LPWAN IoT technology," *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*, Geneva, 2017, pp. 1-6.
- [21] D. Hosmer Jr and S. Lemeshow. Applied logistic regression. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [22] MQTT. MongoDB - Concepts. 2017. Available:< <https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki>> acessado em: 10 de outubro de 2019.
- [23] M. Afifi, M. F. Abdelkader and A. Ghoneim, "An IoT system for continuous monitoring and burst detection in intermittent water distribution networks," *2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, Aswan, 2018, pp. 240-247.
- [24] A. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadinia and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks," *2016 IEEE SENSORS*, Orlando, FL, 2016, pp. 1-3.
- [25] Datasheet of flow sensor: Sea Model YF –S201. Available: < [http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201\\_SEA.pdf](http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201_SEA.pdf)> acessado em: 20 de junho de 2019.
- [26] N. Kolban. Kolban's Book on ESP8266. 2016. Available: < [https://leanpub.com/ESP8266\\_ESP32](https://leanpub.com/ESP8266_ESP32)> acessado em: 10 de outubro de 2019.
- [27] J. Ivković and J. Lužija, "Analysis of the Performance of the New Generation of 32-bit Microcontrollers for IoT and Big Data Application" in *Proceedings of the 2017 7th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2017)*, Kopaonik, Serbia, March 2017.
- [28] MOSQUITTO. Mosquitto - An Open Source MQTT Broker. 2015. Available: <<https://mosquitto.org/>> acessado em: 10 de outubro de 2019.