

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO RODRIGUES MARESTONE AZOIA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO DE LONGO
ALCANCE PARA REDES DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

CURITIBA

2019

EDUARDO RODRIGUES MARESTONE AZOIA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO DE LONGO
ALCANCE PARA REDES DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da Universi-
dade Federal do Paraná, como requisito parcial
à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Parente Riveiro

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

EDUARDO RODRIGUES MARESTONE AZOIA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE COMUNICAÇÃO SEM FIO DE LONGO ALCANCE PARA REDES DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista, pela seguinte banca avaliadora:

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. João da Silva Dias
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Ph. D. André Bellin Mariano
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 06 de dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Paraná por proporcionar toda estrutura necessária para o desenvolvimento dos futuros profissionais, agradeço à todos os professores do curso de Engenharia Elétrica pelo ensino e dedicação no lecionar. Nomeadamente, agradeço ao professor doutor James Alexandre Baraniuk pela orientação neste trabalho, ao professor doutor Marcelo Eduardo Pellenz pela orientação na modelagem e construção da rede, ao professor doutor Eduardo Parente Ribeiro por ceder os sensores utilizados em seu projeto e ao professor doutor Alexandre Rasi Aoki pela orientação acadêmica no decorrer do curso.

Agradeço a minha mãe, Lúcia Marestone Fenerich, que tão pacientemente me apoiou e sustentou por todos esses longos anos. Aos meus irmãos de fé em Cristo por estarem sempre ao meu lado neste semestre. Aos meus amigos sempre presentes. Aos meus colegas de faculdade.

Por último, mas sendo o mais importante agradeço ao Deus Criador.

*“Deus é o nosso refúgio e fortaleza,
socorro bem presente na angústia.
(Bíblia Sagrada, Salmos 46, 1)*

RESUMO

Muitos dos rios urbanos tornam-se poluídos poucos metros após sua nascente, isto acontece mesmo com o surgimento de muitas campanhas conscientizadoras. Para que este problema seja tratado, as soluções apresentadas devem ser embasada em argumentos sólidos, e estes argumentos estão relacionados à quantidade de informação sobre o rio que o pesquisador possui. Assim, a aplicação de novas tecnologias de comunicação na área de monitoramento ambiental pode representar uma forma de ampliar as áreas estudadas, visto que a coleta de dados deve ser constante e viável do ponto de vista de armazenamento de dados. Para isto, esse projeto propõem-se em desenvolver um protocolo de comunicação, para facilitar o envio dos dados coletados nos sensores até as mãos do pesquisador. Será utilizado a topologia *Mesh* com camada física LoRa, além de implementar um protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) para disponibilizar os dados em servidor via web. Também foi iniciado um estudo de consumo de bateria de como prolongar a carga da bateria. Desta forma, o objetivo deste estudo visa o desenvolvimento de um módulo de comunicação de longa distância utilizando tecnologia LoRa para monitoramento ambiental.

Palavras-chaves: Redes de Comunicação; Monitoramento Ambiental; LoRa; Mesh;

ABSTRACT

Many urban rivers become polluted a few meters after its source, this is true even with the emergence of many awareness campaigns. For this problem to be resolved, the solutions presented must be based on solid arguments, and these arguments are related to the amount of information about the river that the researcher has. So, the application of new communication technologies in environmental monitoring field may represent a way to expand the studied areas, since data collection must be constant and viable from the aspect of data storage. For this, this project aims to develop a communication protocol, to facilitate the sending of data collect on the sensors to the hands of the researcher. It will use the LoRa physical layer *Mesh* topology and implement a Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol to make the data available on the server via web. A battery consumption study of how to extend the battery charge has also been started. Thus, the aim of this study is to develop a long distance communication module using LoRa technology for environmental monitoring.

Key-words: Communication networks; Environmental monitoring; LoRa; Mesh;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 – Regiões regulamentadas pela UIT | 14 |
| FIGURA 2.2 – Topologia Anel | 15 |
| FIGURA 2.3 – Topologia Barra | 15 |
| FIGURA 2.4 – Topologia Estrela | 16 |
| FIGURA 2.5 – Topologia Mesh | 17 |
| FIGURA 2.6 – Diagrama de blocos do ESP32 | 18 |
| FIGURA 2.7 – Pinagem do ESP32 com rede LoRa | 20 |
| FIGURA 2.8 – ESP32 integrado com LoRa | 21 |
| FIGURA 2.9 – Sensor BMP180 | 22 |
| | |
| FIGURA 3.1 – Diagrama de atividades | 24 |
| FIGURA 3.2 – Esboço de Funcionamento | 25 |
| FIGURA 3.3 – Mapas com os Pontos de Medição | 26 |
| FIGURA 3.4 – Transmissores dentro da caixa protetora | 27 |
| FIGURA 3.5 – Pontos do Teste no Bosque de Portugal | 28 |
| FIGURA 3.6 – Pontos do Teste no Parque São Lourenço e Parque da Nascente | 29 |
| FIGURA 3.7 – Módulo transmissor anexado à vara | 30 |
| | |
| FIGURA 4.1 – Posição dos pontos medidos na UFPR | 33 |
| FIGURA 4.2 – Níveis de Sinais | 37 |
| | |
| FIGURA 6.1 – Transmissor Alto | 53 |
| FIGURA 6.2 – Ponto Medido - Rio aparente | 54 |
| FIGURA 6.3 – Ponto Medido - Rio não aparente | 55 |
| FIGURA 6.4 – Tela do Receptor | 55 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|--|
| ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações |
| <i>I2C</i> | <i>(Inter-Integrated Circuit</i> |
| <i>IoT</i> | <i>Internet of things</i> |
| <i>ISM</i> | <i>Industrial Scientific and Medical</i> |
| <i>LoRa</i> | <i>Long Range</i> |
| MONCOR | <i>Monitoramento Contínuo de Rio</i> |
| <i>SoC</i> | <i>System on a Chip</i> |
| UIT | União Internacioanal de Telecomunicações |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL | 11 |
| 1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 | REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO | 13 |
| 2.1.1 | FREQUÊNCIAS REGULADAS PELA ANATEL | 13 |
| 2.1.1.1 | FREQUÊNCIAS NÃO LICENCIADAS E ISM | 13 |
| 2.2 | TOPOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO | 14 |
| 2.2.1 | Topologia Anel | 14 |
| 2.2.2 | Topologia Barra | 15 |
| 2.2.3 | TOPOLOGIA ESTRELA | 16 |
| 2.2.4 | TOPOLOGIA MESH | 17 |
| 2.2.4.1 | LORAWAN | 17 |
| 2.3 | MÓDULO ESP32 | 18 |
| 2.3.1 | MÓDULO ESP32 COM LORA | 20 |
| 2.4 | MONITORAMENTO AMBIENTAL | 21 |
| 2.4.1 | PROJETO MONCOR | 21 |
| 2.4.2 | SENSOR BMP180 | 22 |
| 2.4.3 | Variáveis Climáticas | 22 |
| 2.4.3.1 | Temperatura | 22 |
| 2.4.3.2 | Pressão | 23 |
| 2.4.3.3 | Turbidez | 23 |
| 2.4.3.4 | Condutividade | 23 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO | 24 |
| 3.1 | METODOLOGIA | 25 |
| 3.2 | TESTE EM CAMPO | 26 |
| 3.2.1 | Linha Visada | 26 |
| 3.2.2 | Sem Linha Visada | 27 |

| | |
|--|-----------|
| | 10 |
| 3.2.2.1 UFPR | 27 |
| 3.2.2.2 Bosque de Portugal | 28 |
| 3.2.2.3 Parque das Nascentes e Parque São Lourenço | 28 |
| 3.3 TESTE EM LABORATÓRIO | 30 |
| 3.4 CUSTOS DO PROJETO | 31 |
| 4 RESULTADOS | 32 |
| 4.1 ALCANCE COM LINHA VISADA | 32 |
| 4.2 ALCANCE SEM LINHA VISADA | 33 |
| 4.2.1 UFPR | 33 |
| 4.2.2 Rio Tarumã | 35 |
| 4.2.3 Rio Belém | 36 |
| 4.3 CONSUMO DE CORRENTE | 38 |
| 5 CONCLUSÃO | 39 |
| 5.1 TRABALHOS FUTUROS | 40 |
| REFERÊNCIAS | 41 |
| 6 APÊNDICE A | 43 |
| 6.1 TRANSMISSOR | 43 |
| 6.2 RECEPTOR | 45 |
| 6.3 PROTOCOLO | 48 |
| 6.4 IMAGENS DOS TESTES EM CAMPO | 53 |

1 INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial o consumo de matéria prima cresce exponencialmente em todos os setores industriais, entretanto, o crescimento desenfreado tem um grande impacto no meio ambiente, desde florestas desmatadas para o mercado agropecuário ao despejo de rejeitos em rios e mares. Para impulsionar o Brasil a crescer economicamente e diminuir o volume de importações, o período de industrialização nacional teve poucos critérios ambientais, afim de obter novos meios de exploração de matéria-prima bem como métodos para utiliza-las (OLIVEIRA, 2006).

Contudo a preocupação com o meio ambiente ganha força mundialmente ano após ano, seja por atividades promovendo o consumo consciente, a utilização responsável de matéria-prima ou por ações de combate ao uso não sustentável dos recursos naturais. Assim, pesquisadores de todas as áreas ambientais procuram meios de obter informações confiáveis relacionadas ao seu campo de estudo, entretanto, muitas áreas são de difícil acesso ou podem cobrir grandes extensões, dificultando a obtenção de dados (SILVA, 2012).

Diante este cenário, este trabalho tem por finalidade desenvolver uma solução para a aquisição de dados relacionados ao monitoramento ambiental através de uma rede de sensores com comunicação sem fio de longo alcance.

Atualmente, a tecnologia LoRa é utilizada para cobrir grandes áreas, onde os módulos são estruturados em uma topologia estrela, este projeto visa estudar a topologia de Rede Mesh aplicada ao LoRa. Como diferencial, a utilização da tecnologia LoRa no setor de monitoramento ambiental, permitirá maior distância entre os sensores, possibilitando alcançar maiores áreas (Oliveira; Guardalben; Sargento, 2017).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma rede de comunicação sem fio com módulos de rádios de longo alcance, que utilizem a tecnologia LoRa (*Long Range*) para aplicações em monitoramento Ambiental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir os objetivos gerais, o projeto foi dividido em objetivos específicos a serem realizados:

- Implementar uma rede de comunicação em topologia *Mesh*;
- Implementar um serviço de servidor para disponibilização e armazenagem dos dados;
- Avaliar o consumo de corrente do módulo de comunicação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

LoRa é uma tecnologia de rádio frequência (RF) que possibilita comunicação de curtas, médias e longas distâncias com pequeno consumo de energia. Ela é baseada em uma rede com topologia em estrela. Os módulos que utilizam esta tecnologia enviam e recebem dados de *Gateways* específicos, que os encaminham via conexão IP para servidores locais ou remotos (ALLIANCE, 2018). Suas principais aplicações são sistema de IoT (*Internet of Things*), que enviam pequenos dados obtidos de sensores diversos. Dependendo da topologia do local em que se encontram estes módulos, pode-se conseguir alcance de até 6,5 km em área urbana (KOYANAGI, 2018).

2.1 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

A Tecnologia de Informação e Comunicação cresceu consideravelmente nos últimos anos principalmente através das comunicações sem fio. Hoje em dia, a maioria dos aparelhos eletrônicos estão conectados com algum tipo de tecnologia de comunicação sem fio, o que possibilita o surgimento de ideias, propostas e soluções. Com o crescimento da noção de IoT, um grande número de dispositivos estará conectado na rede sem fio e a conectividade dessa imensidão de dispositivos será extremamente dependente da tecnologia de comunicação sem fio, assim, muitos desafios surgem, como escalabilidade, confiabilidade, coexistência de sinal, taxa de dados, consumo de energia (ALAM et al., 2018).

2.1.1 FREQUÊNCIAS REGULADAS PELA ANATEL

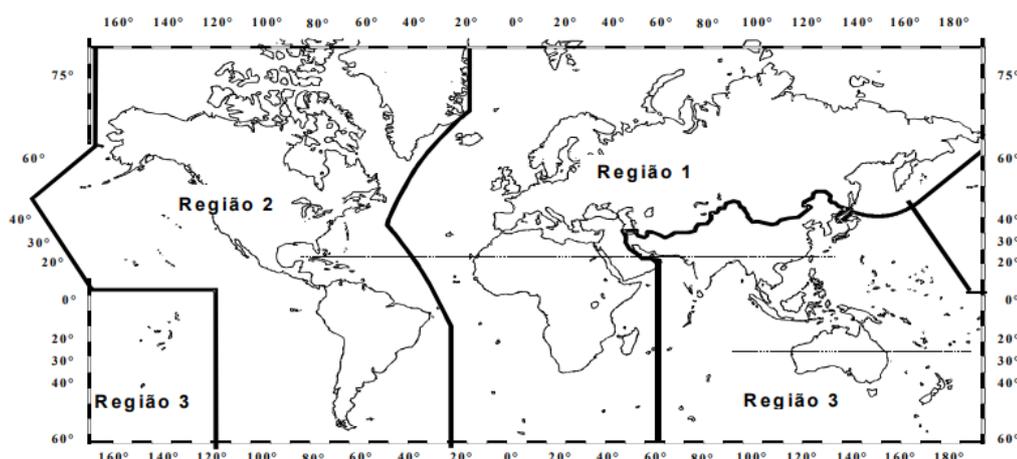
A UIT (União Internacional de Telecomunicações) administra o espectro de radiofrequências e divide o globo terrestre em três regiões, o Brasil se encontra na Região 2 e em nível nacional as faixas de frequência são administradas pela ANATEL, conforme a Figura 2.1 (ANATEL, 2019).

2.1.1.1 FREQUÊNCIAS NÃO LICENCIADAS E ISM

Segundo a “Atribuição de Faixas de Frequências no Brasil” da ANATEL, a faixa de frequência de 902 a 928 MHz está destinada para aplicações do tipo ISM (*Industrial*,

Scientific and Medical - Industriais, Científicas e Médicas). Assim, qualquer aplicação que se encaixa em alguma destas três categorias não necessita de licenciamento para operar. Ainda existem outras faixas de frequências, como a faixa de 433 MHz à 435 MHz, que não necessitam de licenciamento para funcionarem, mas possuem algumas restrições, tais como potência máxima irradiada (ANATEL., 2006).

FIGURA 2.1 – Regiões regulamentadas pela UIT



Fonte: (ANATEL, 2019)

2.2 TOPOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

O arranjo físico e meio de conexão de uma rede de comunicação recebe o nome de topologia, assim, o modo como os módulos estão conectados e suas posições irão determinar sua topologia. Os pontos onde estão conectados os módulos são chamados de nós, sendo estes sempre relacionados à um endereço, para identificação (KUROSE; ROSS, 2013).

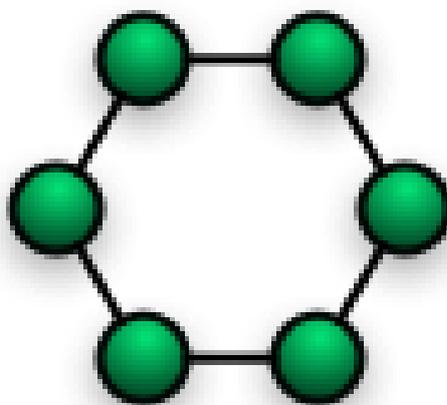
Existem diversas estratégias de topologias, contudo, todas elas derivam das três topologias básicas: Anel, Barra e Estrela. As operações desejadas para a rede irão determinar qual melhor topologia se encaixa no projeto, levando em consideração confiabilidade, custo e atender a necessidade do cliente (TELECO, 2018).

2.2.1 Topologia Anel

Uma rede em topologia anel é formada por nós interligados em um caminho fechado. Nesta disposição de nós, a maioria deles não comunicam-se diretamente com

a unidade central. A configuração mais usual para uma rede anel é a comunicação unidirecional, contudo, é possível implementar a transmissão de dados em qualquer direção, assim, melhorando o desempenho. Para o envio de dados, um nós deve solicitar acesso ao barramento de envio, a mensagem irá circular por todas os nós até chegar ao nós destino ou até retornar a fonte, assim a transmissão pode ser para um destino específico ou pode ser para múltiplos nós (TELECO, 2018). A Figura 2.2 apresenta uma topologia anel.

FIGURA 2.2 – Topologia Anel

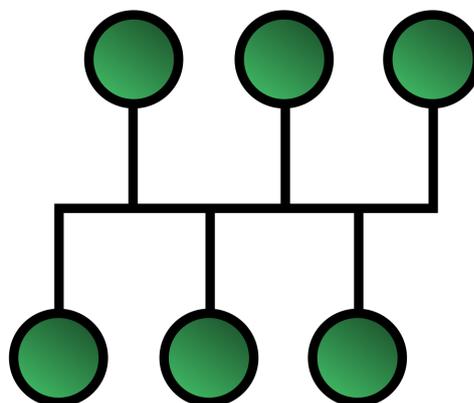


Fonte: (WIKIPEDIA, 2019)

2.2.2 Topologia Barra

A Figura 2.3 apresenta uma topologia barra.

FIGURA 2.3 – Topologia Barra



Fonte: (WIKIPEDIA, 2019)

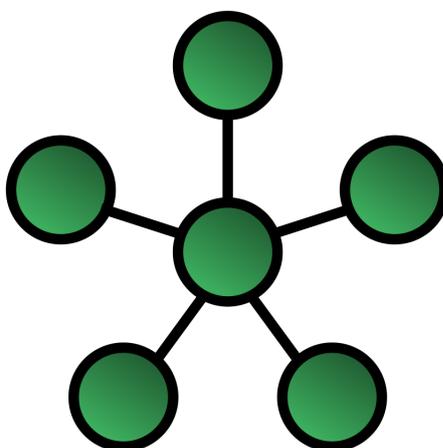
Neste tipo de topologia os nós estão conectados à um barramento central comum à todos os demais nós, sendo que a barra é compartilhada em tempo e frequência. Para transmitir um dado, o nó deve solicitar acesso ao barramento comum e então transferir os dados. Usualmente, qualquer nós conectado ao barramento pode receber os dados transmitidos, essa característica facilita a propagação de informações. A topologia ainda conta com um sistema de segurança na transmissão, para garantir que um nó não ocupará o barramento por uma quantidade de tempo indesejada (TELECO, 2018).

2.2.3 TOPOLOGIA ESTRELA

Este tipo de topologia, os usuários não se comunicam diretamente entre si, apenas com um nó central, chamado de *Host*. É através do nó central que os usuários podem se comunicar, assim, este nó funciona como um comutador de mensagens.

Este arranjo geralmente é utilizado quando módulos secundários enviam diretamente os dados obtidos para uma central, com isso o nó central atua como uma gerente de comunicação e operações. Caso haja falha de comunicação em um módulo, apenas este ramo ficará sem operação. Contudo, caso ocorra um falha no *Host*, todo o sistema ficará fora de operação (TELECO, 2018). A Figura 2.4 mostra uma topologia estrela típica.

FIGURA 2.4 – Topologia Estrela



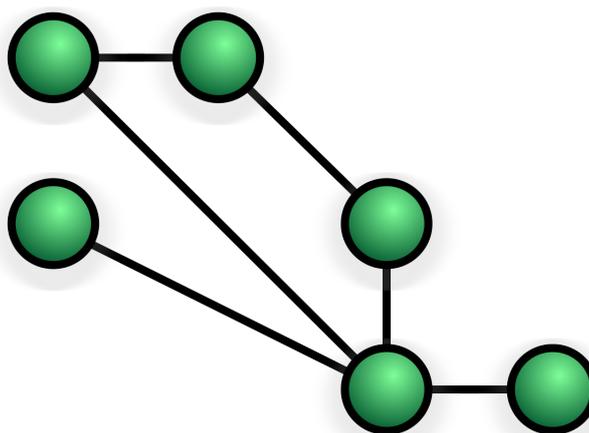
Fonte: (WIKIPEDIA, 2019)

2.2.4 TOPOLOGIA MESH

Uma rede *Mesh* é composta por diversos equipamentos funcionando como roteadores e repetidores. A rede *Mesh* também é conhecida como *Multi-Hop*, ou seja, Rede de Múltiplos Saltos. Uma mensagem enviada do emissor para o receptor pode ser roteada de nó a nó, buscando o caminho mais eficiente, embora este possa não ser o caminho mais curto.

Por exemplo, um pacote de dados pode ir Curitiba para o Rio de Janeiro realizando múltiplos saltos de nós a nós, fazendo caminhos que aparentemente não são os melhores, mas que para aquela situação é o mais eficiente (TELECO., 2004). A Figura 2.5 mostra uma topologia *Mesh* típica.

FIGURA 2.5 – Topologia Mesh



Fonte: (WIKIPEDIA, 2019)

2.2.4.1 LORAWAN

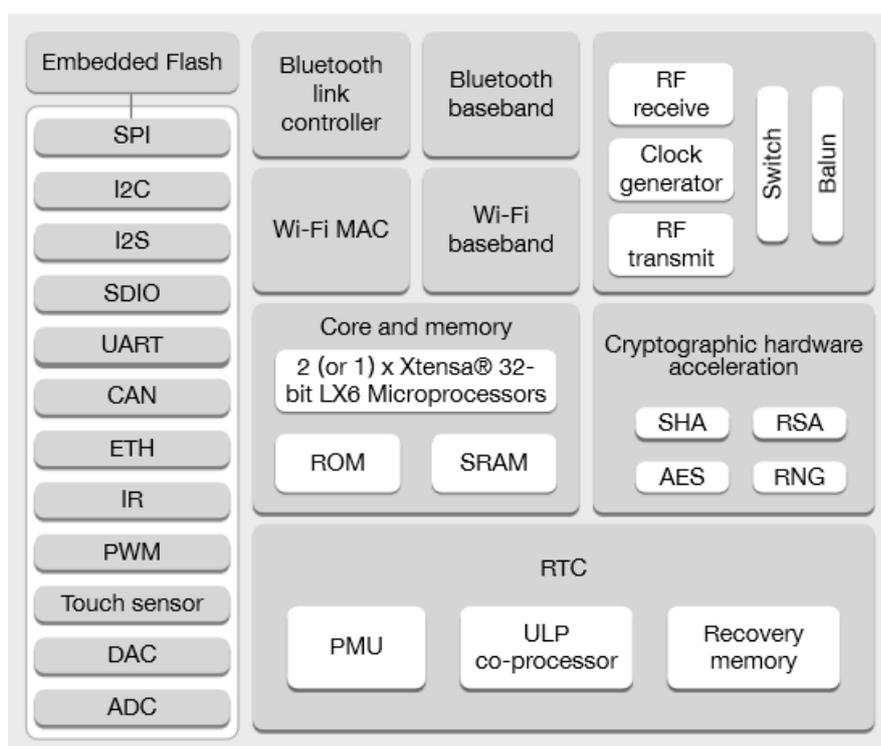
LoRaWAN é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa. Esse protocolo apresenta a topologia estrela.

O protocolo LoRaWAN implementa os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço e ajustes de potência, visando maximizar a duração da bateria dos módulos, e os tipos de aplicações tanto do lado do módulo quanto do servidor (ALLIANCE, 2018).

2.3 MÓDULO ESP32

O ESP32 é um chip desenvolvido pela Expressif Systems, para combinar a melhor desempenho em potência e comunicação RF, possuindo assim uma gama de aplicações em diferentes cenários de IoT. Atualmente existem quatro modelos de chips: ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD, ESP32-D2WD e ESP32-S0WD. A Figura 2.6 apresenta o diagrama de blocos da estrutura interna do ESP32 (ESPRESSIF, 2019). Neste trabalho será utilizado o modelo ESP32-D0WDQ6.

FIGURA 2.6 – Diagrama de blocos do ESP32



Fonte: (ESPRESSIF, 2019)

A seguir são apresentadas as especificações básicas do ESP32 (ESPRESSIF, 2019).

1) Processador:

- Processador principal: Tensilica Xtensa 32-bit LX6;
- Frequência de *clock*: até 240 MHz.

2) Conectividade *wireless*:

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2,4 GHz up to 150 Mbit/s);

- Bluetooth: v4.2 BR/EDR e *Bluetooth Low Energy* (BLE).

3) Memória Interna:

- ROM: 448 kB, para inicialização e funções de núcleo;
- SRAM: 520 kB, para dados e instruções;
- RTC fast SRAM: 8 kB, para armazenamento de dados e CPU principal durante a inicialização RTC a partir do modo *Deep-Sleep*;
- RTC slow SRAM: 8 kB, para acesso do coprocessador durante o modo *Deep-Sleep*;
- eFuse: 1 Kbit, para endereço MAC e configuração do chip.

4) Memória Externa:

- Memória flash externa e SRAM: O ESP32 tem suporte para até quatro *flashes* QSPI externos de 16 MB e SRAMs.

5) Entrada/saída periférica:

- ADCs (*analog-to-digital converter*);
- CAN 2.0 (*Controller Area Network*);
- DACs (*digital-to-analog converter*);
- I²C (*Inter-Integrated Circuit*);
- I²S (*Integrated Inter-IC Sound*);
- PWM (*pulse width modulation*);
- RMI (*Reduced Media-Independent Interface*);
- SPI (*Serial Peripheral Interface*);
- UART (*universal asynchronous receiver/transmitter*);
- Entre outros.

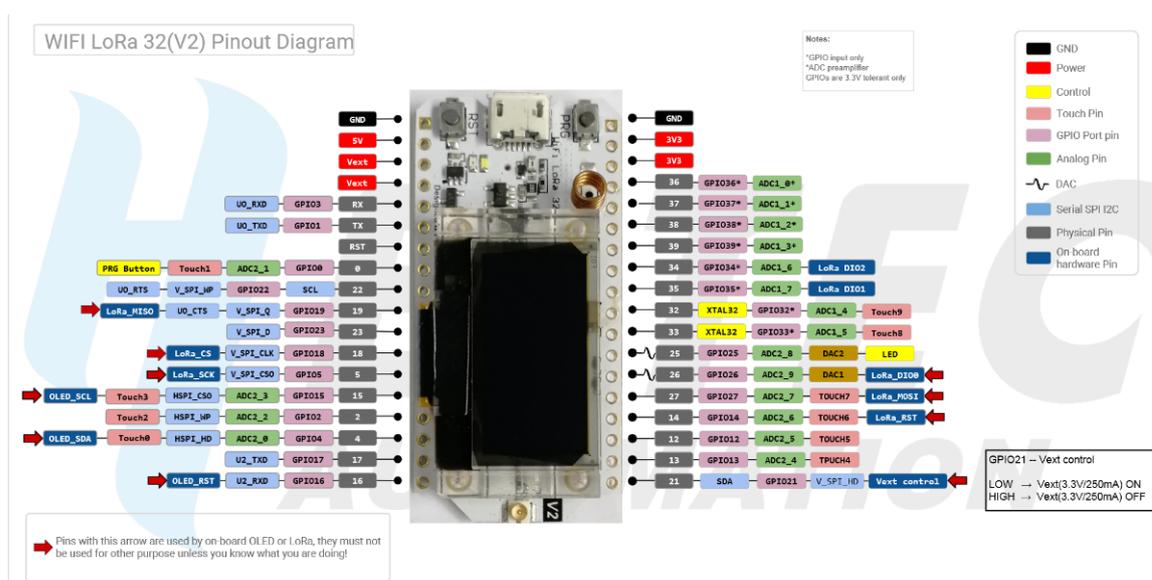
2.3.1 MÓDULO ESP32 COM LORA

O ESP32 possui uma versão do seu chip com o sistema LoRa embarcado, combinando assim todas as vantagens do chip clássico com a integração da tecnologia LoRa, isso permite grande processamento de dados à um pequeno consumo de energia, além de possuir longo alcance de seu sinal (HELTEC, 2018).

Para este projeto será utilizado cinco módulos de comunicação fabricados pela Heltec Automation, os WiFi LoRa 32 (V2), estes módulos dispõem de um *Display* OLED para visualização das informações. A Figura 2.8 apresenta o módulo utilizado. Devido ao chip LoRa e ao *Display* OLED integrados ao ESP32, alguns dos pinos já estão utilizados conforme visto na Figura 2.7, sinalizados pelas setas vermelhas. As especificações gerais do ESP32 da Heltec serão apresentadas a seguir (HELTEC, 2018).

- Potência de transmissão de 20 ± 2 dBm à 915 MHz;
- Corrente consumida de 130 mA para transmissão;
- Sensibilidade de até -139 dBm no receptor;
- Impedância de entrada de aproximadamente 50Ω .

FIGURA 2.7 – Pinagem do ESP32 com rede LoRa



Fonte: (HELTEC, 2018)

FIGURA 2.8 – ESP32 integrado com LoRa



Fonte: (HELTEC, 2018)

2.4 MONITORAMENTO AMBIENTAL

Atualmente, muitos assuntos relacionados às questões ambientais, como mudança climática, destruição do meio ambiente, poluição ambiental e uso desenfreado de recursos naturais tem recebido muita atenção e o monitoramento ambiental nos possibilita entender com maior clareza como ocorre estes efeitos e seu impacto ambiental.

Assim, a área de monitoramento ambiental utiliza princípios científicos e de engenharia para desenvolver soluções para problemas ambientais. Na última década, os sistemas de monitoramento tiveram um grande avanço tecnológico, envolvendo sistemas de computação, sensoriamento, monitoramento, tratamento e gerenciamento de informações, tais tecnologias proporcionaram uma grande evolução na eficiência e eficácia do controle de ambiente (Fang et al., 2014).

2.4.1 PROJETO MONCOR

O Projeto MONCOR (Monitoramento Contínuo de Rio) é desenvolvido no Laboratório de Medidas, Magnetismo e Instrumentação (LAMMI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O projeto visa implementar módulos sensores de baixo custo que comunicam-se um ao outro enviando dados em modo cascata até alcançarem a central que irá transmitir os dados via GPRS para armazená-los em um servidor para eventualmente serem acessados pelo pesquisador. O projeto visa a implantação de 20 a 30 módulos sensores no córrego Tarumã, o qual está poluído (MONCOR, 2019).

2.4.2 SENSOR BMP180

O sensor BMP180, apresentado na Figura 2.9, é fabricado pela Bosch Sensortec e possibilita extrair dados de pressão e temperatura utilizando a tecnologia piezo-resistiva. O sensor possui quatro pinos, sendo dois pinos para alimentação (VCC e GND) e outros dois pinos para comunicação de dados (SDA e SCL) utilizando barramento *Inter-Integrated Circuit* (I2C) (SENSORTEC, 2019).

FIGURA 2.9 – Sensor BMP180



Fonte: (SENSORTEC, 2019)

2.4.3 Variáveis Climáticas

Existem muitas variáveis climáticas que podem apontar como está o ambiente de estudo, neste trabalho serão abordadas 4 variáveis, sendo elas: Temperatura, pressão, turbidez e condutividade. No Projeto MONCOR, inicialmente serão monitorados o nível e a temperatura do rio e posteriormente serão adicionados novos sensores para medir turbidez e condutividade.

2.4.3.1 Temperatura

A temperatura é uma das variáveis utilizadas como referência de qualidade das águas, visto que a água possui a característica de armazenar muito calor, o rio após ser aquecido volta muito lentamente à temperatura anterior. Assim, as águas de um rio podem ficar impróprias para o consumo caso ela esteja fora da temperatura adequada. Muitos são as causas da elevação da temperatura das águas dos rios, como processos naturais como os geotérmicos, variações do ambiente, insolação. Como

também por processos artificiais como pela oxidação de cargas poluentes (PERCEBON; BITTENCOURT; FILHO, 2005).

2.4.3.2 Pressão

A definição de pressão é a de força exercida sobre determinada área, uma pressão atmosférica é a força que o ar exerce sobre alguma área. Assim, caso a força do ar exercida em uma área venha a aumentar, como resultado a pressão também irá aumentar. Para medir a pressão atmosférica é utilizado um equipamento chamado barômetro (CENGEL; CIMBALA, 2015). O Projeto MONCOR utiliza dois sensores BMP180, um dentro do rio e outro na superfície. Assim, é possível realizar a diferença e obter a pressão do rio isolada da pressão atmosférica (MONCOR, 2019). Com a pressão do rio, pode-se calcular a força e por conseguinte o volume de água. Assim, pode-se saber se houve aumento no nível do rio, o qual pode ser devido a chuva ou outras causas natural ou por despejos inadequados de indústrias.

2.4.3.3 Turbidez

A variável atribuída para representar a dificuldade de um onda de luz atravessar um certo volume de líquido é a turbidez, quanto mais difícil mais turvo é o líquido. O equipamento utilizado para média essa variável é o turbidímetro ou nefelômetro (UFRRJ, 21–). Assim, um teste de turbidez pode proporcionar dados referente à quão transparente é a água. Muitas são as causas que podem alterar essa característica, desde causas naturais como o despejo natural de um rio em outro como por despejos de indústrias.

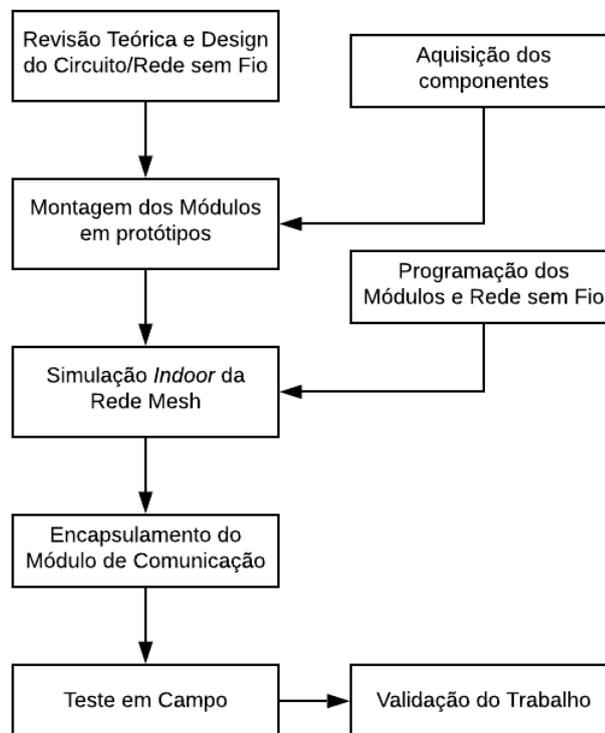
2.4.3.4 Condutividade

A condutividade elétrica é uma característica a qual pode mostrar alterações na composição da água. Há uma relação probabilística entre a concentração de certos elementos e a condutividade (PIRATOBA et al., 2017).

3 DESENVOLVIMENTO

Tendo levantado o quadro envolvido no trabalho e das tecnologias utilizadas, este capítulo visa apresentar uma panorama geral do sistema proposto, assim como caracterizar seu funcionamento. Um diagrama simplificado é apresentado na Figura 3.1 com os estágios essenciais envolvidos no desenvolvimento deste trabalho.

FIGURA 3.1 – Diagrama de atividades



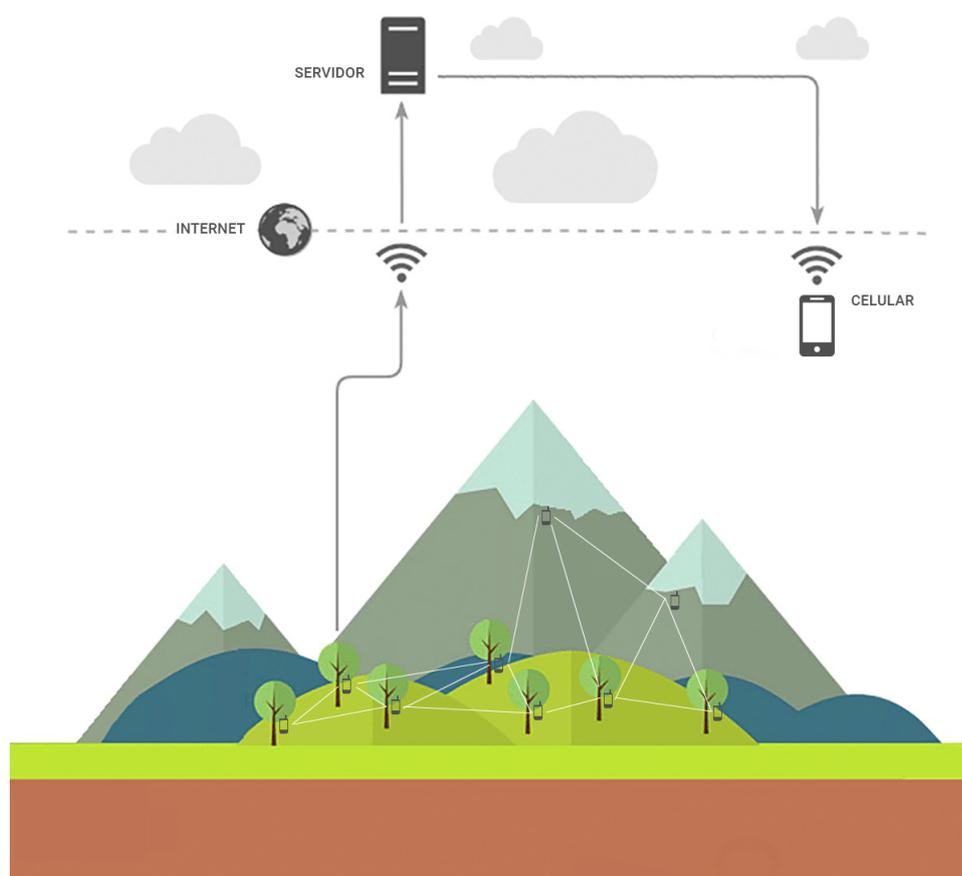
Fonte: O autor (2019)

Inicialmente serão projetados os circuitos elétricos dos módulos de comunicação com os sensores utilizados. A seguir, os os componentes para fabricação dos módulos serão comprados e em paralelo será realizada a programação dos microcontroladores ESP32 LoRa V2. Na sequência será simulado *Indoor* a rede de comunicação, após os resultados esperados, será realizada o design esquemático para confecção das placas de circuito impresso utilizando o software livre Eagle. Então será feita a montagem e encapsulamento para serem realizados os testes em campo.

3.1 METODOLOGIA

Para que haja melhor compreensão do trabalho realizado foi desenvolvido um esboço do sistema, os quais evidenciam os principais passos do funcionamento. A representação pode ser vista na 3.2.

FIGURA 3.2 – Esboço de Funcionamento



Fonte: O autor (2019)

A rede de módulos está distribuída em pontos estratégicos, onde cada nó da rede pode se comunicar com o nó adjacente, como emissor e receptor de dados. Entretanto apenas um dos módulos tem conexão com a *Internet*, assim, os dados dos módulos precisam percorrer um caminho dando múltiplos saltos até chegarem no nó que possibilita o envio desses dados para um servidor através da *Internet*. As informações estando no servidor podem ser acessadas diretamente pelo usuário final. Assim, não seria necessário o deslocamento até o local para obtenção de dados, reduzindo drasticamente o tempo para aquisição dos dados.

3.2 TESTE EM CAMPO

Para analisar a transmissão, e o desempenho do módulos de comunicação LoRa foi realizado teste em campo aberto com distâncias diferentes mantendo sempre o Transmissor e Receptor na mesma distância do chão. O transmissor do sinal era fixado em alguma posição enquanto o receptor estava móvel, permitindo assim, a coleta de dados em diversos pontos. Foram colhidos dados onde foram analisadas a robustez da mensagem, bem como seu *Received Signal Strength Indication* (RSSI), essas informações irão auxiliar na validação do sistema. Os Códigos utilizados estão no Apêndice A, bem como fotos destes ensaios no anexo B.

3.2.1 Linha Visada

Para o teste de linha visada foram realizadas 17 medidas sob as mesmas condições de operação, a Figura 3.3 apresenta 12 medidas, as 5 medidas mais próximas foram omitidas devido à escala da imagem, sendo que o ponto mais distante está a 2.100 metros. As medidas são apresentadas como pontos pretos no mapa enquanto o transmissor fica estático representado pelo ponto vermelho:

FIGURA 3.3 – Mapas com os Pontos de Medição



Fonte: O autor (2019)

Neste ensaio foi utilizado apenas os módulos de 915 MHz.

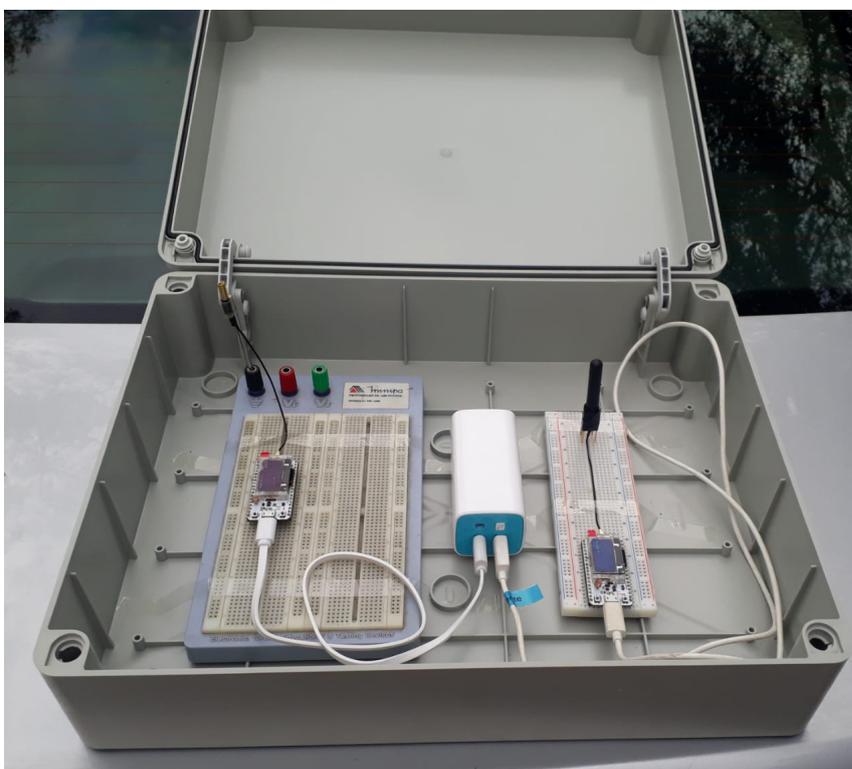
3.2.2 Sem Linha Visada

Foram realizados quatro testes de campo sem linha visada, sendo eles no Campus Centro Politécnico, Bosque de Portugal no Rio Tarumã, Parque das Nascentes no Rio Belém e Parque São Lourenço no Rio Belém. Nestes ensaios foram utilizados módulos de 915 MHz e 433 MHz.

3.2.2.1 UFPR

O primeiro teste realizado sem linha visada ocorreu na UFPR, neste teste o módulo transmissor foi posicionado no teclado do bloco de administração enquanto o receptor ficou móvel para coletar dados em diversos pontos pelo campus. Durante o ensaio, os transmissores ficaram dentro de uma caixa com IP65, o transmissor de 433 MHz ficou à esquerda e o transmissor de 915 MHz ficou a direita, foi utilizado um *Power Bank* de 10.000 mAh para alimentar os transmissores, conforme Figura 3.4.

FIGURA 3.4 – Transmissores dentro da caixa protetora



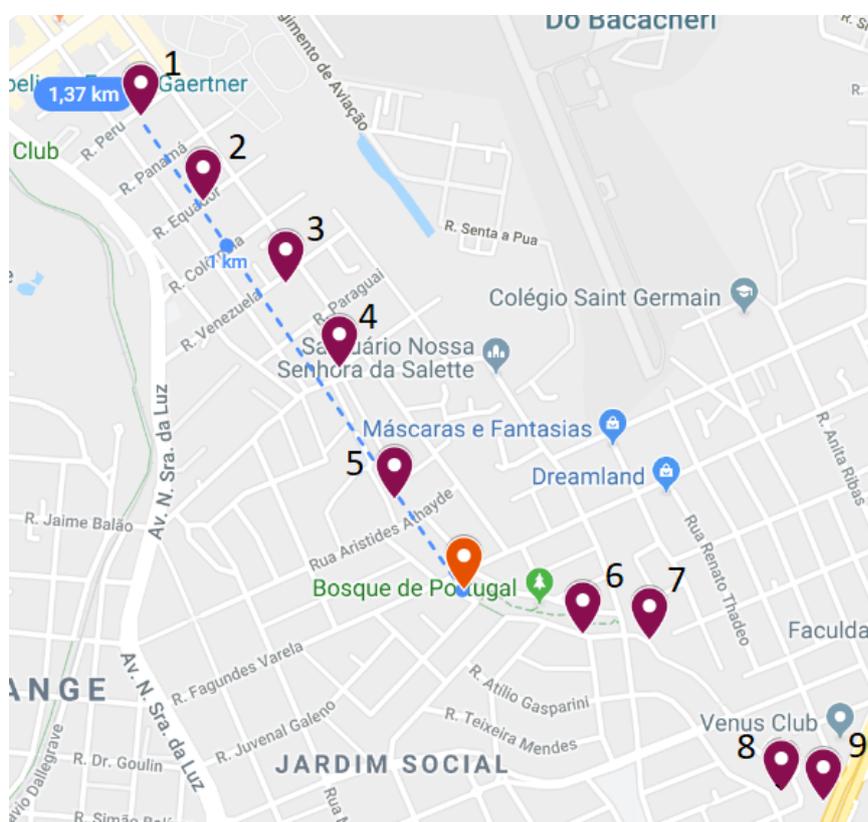
Fonte: O autor (2019)

3.2.2.2 Bosque de Portugal

Neste teste foram instalados dois transmissores no nível do solo, sendo um de 915 MHz e outro de 433 MHz, também foram instalados outros dois transmissores à 5 metros do chão, sendo um de 915 MHz e outro de 433 MHz.

Os receptores estavam móveis para circular pelo perímetro urbano e coletar dados do desempenho da transmissão de dados. Foram realizadas 9 medidas conforme Figura 3.5.

FIGURA 3.5 – Pontos do Teste no Bosque de Portugal



Fonte: O autor (2019)

O ponto em vermelho é o local onde foram instalados os transmissores e os pontos em preto são os pontos coletados. O ponto mais distante está a 1.370 metros.

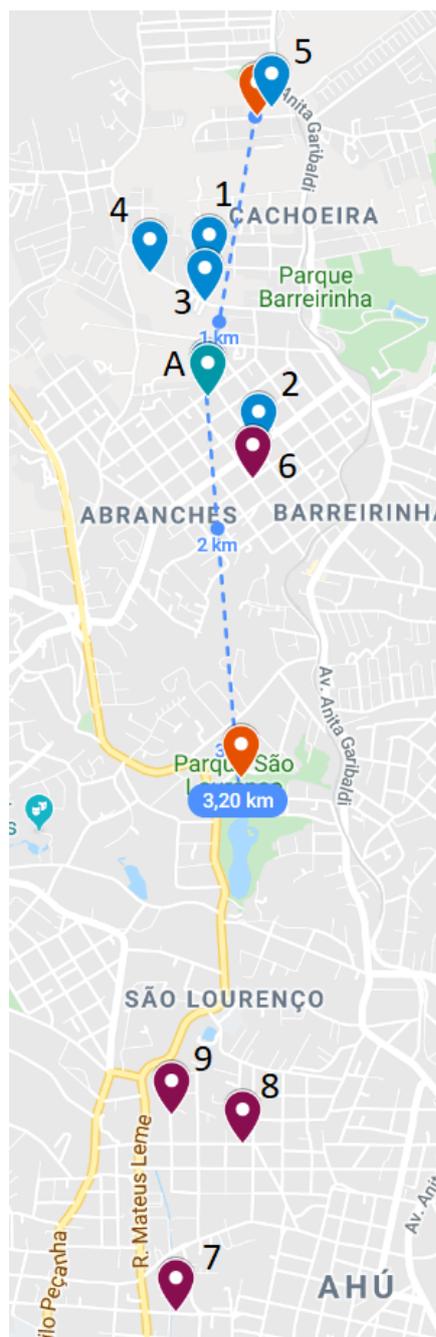
3.2.2.3 Parque das Nascentes e Parque São Lourenço

Os dois últimos ensaios ocorreram no Rio Belém e seguiram o mesmo procedimento. O primeiro deles ocorreu na sua nascente e o segundo no Parque São

Lourenço, dois transmissores foram instalados 7 metros do chão com o auxílio de uma vara, sendo um transmissor de 915 MHz e outro de 433 MHz.

Os receptores estavam móveis para circular pelo perímetro urbano e coletar dados do desempenho da transmissão de dados. Foram realizadas 11 medidas conforme Figura 3.6.

FIGURA 3.6 – Pontos do Teste no Parque São Lourenço e Parque da Nascente



Fonte: O autor (2019)

Na imagem foi agrupado os dois testes, os dois pontos em vermelho são as

localizações dos transmissores, sendo o que está mais acima relacionado ao Parque da Nascente e o que está mais abaixo relacionado ao Parque São Lourenço. Os pontos em preto são os pontos coletados referente ao transmissor no Parque São Lourenço e os pontos em Azul referente ao transmissor no Parque da Nascente. O ponto cinza representa a mesma posição onde foi coletado dados dos dois transmissores. A distancia entre os dois transmissores, passando pelo ponto cinza é de 3.200 metros.

A Figura 3.7 apresenta o módulo anexado à vara de suporte utilizada para fixar o transmissor em uma posição mais adequada.

FIGURA 3.7 – Módulo transmissor anexado à vara



Fonte: O autor (2019)

3.3 TESTE EM LABORATÓRIO

Para validar a viabilidade do módulo de comunicação foi mensurado a corrente consumida através de um amperímetro conectado em série com a alimentação. Foram medidos 4 estados do módulo, sendo eles: transmitindo, recebendo, transmitindo com a tela desligado e recebendo com a tela desligada.

Também foi ensaiado o funcionamento da rede em topologia *Mesh*, sendo os dados enviados de um nó inicial, para um nó intermediário, para finalmente chegar ao nó final e este realizar o *upload* dos dados para um servidor.

3.4 CUSTOS DO PROJETO

Para a implementação deste projeto, foi levantado o custo dos materiais utilizados, sendo este:

- 1 ESP32 WiFi Lora - 120,00 Reais
- 2 BMP180 - 14,00 Reais
- 1 Power Bank de 20.000 mAh - 140,00 Reais

O custo total para implementar um nó de comunicação é de 270,00 Reais.

4 RESULTADOS

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados obtidos em campo e em laboratório, através da metodologia proposta. Inicialmente, realizou-se os ensaios com linha visada para avaliar o alcance da comunicação, posteriormente foram realizados ensaios em locais de interesse e por fim, foram realizados ensaios em laboratório. Os resultados podem ser acessados utilizando o Google Maps através do link <<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1EekhZ0iEuhxTWdACU2WI5pOhc76Prv2n&ll>>

4.1 ALCANCE COM LINHA VISADA

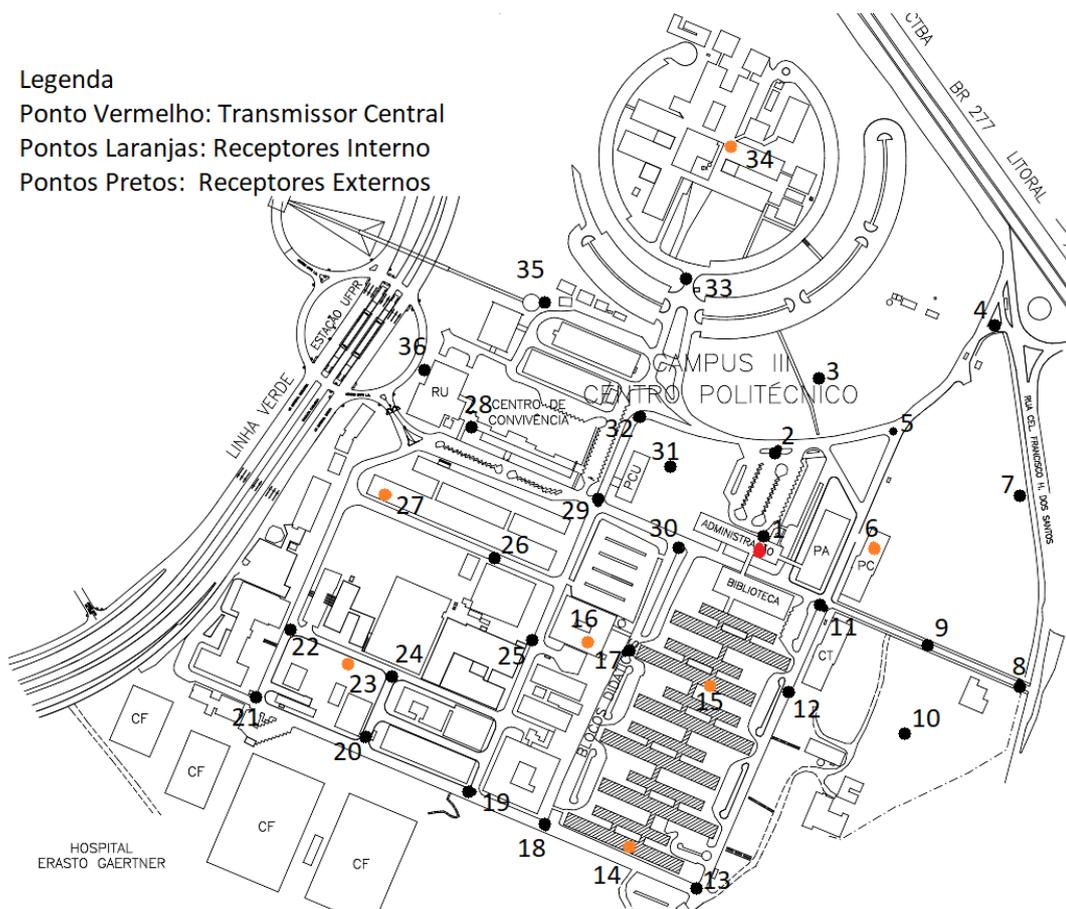
A aquisição de dados no teste para transmissão com linha visada ocorrido no Parque Náutico foi realizado com sucesso em todo o perímetro do Parque onde havia linha visada e em boa parte onde existiam obstáculos no caminho, os dados foram registrados e apresentados no Quadro 1, onde podemos ver a distância em metros e a potência recebida (RSSI) em dBm.

Quadro 1 - Relação de pontos medidos com Linha Visada

| Linha Visada | |
|---------------|------------|
| Distância (m) | RSSI (dBm) |
| 1 | -30 |
| 2 | -63 |
| 5 | -76 |
| 10 | -80 |
| 20 | -88 |
| 50 | -100 |
| 100 | -105 |
| 147 | -105 |
| 217 | -107 |
| 300 | -105 |
| 467 | -116 |
| 645 | -114 |
| 840 | -124 |
| 1120 | -125 |
| 1450 | -126 |
| 1800 | -125 |
| 2100 | -128 |

Fonte: O autor (2019)

FIGURA 4.1 – Posição dos pontos medidos na UFPR



Fonte: O autor (2019)

4.2 ALCANCE SEM LINHA VISADA

O resultados dos quatro ensaios realizados em perímetro urbano sem linha visada serão apresentados a seguir.

4.2.1 UFPR

Foram medidos 47 pontos dentro do campus politécnico da UFPR e outros 3 pontos fora, os dados do mapeamento da intensidade do sinal recebido da UFPR apresentaram valores consistentes com a teoria. Os pontos mais distantes ou com mais obstáculos apresentam RSSI menor em comparação aos pontos mais próximo ou sem obstáculos. A Figura 4.1 apresenta os pontos mapeados, os pontos pretos foram mapeados a céu aberto, os pontos em laranja foram mapeados dentro de prédios. O ponto vermelho representa o transmissor em cima do bloco de administração.

Quadro 2 - Relação de pontos medidos na UFPR

| Ponto | Distância (m) | RSSI em 433 MHz (dBm) | RSSI em 915 MHz (dBm) | Legenda | |
|-------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 27 | -104 | -106 | Célula Branca | Recepção sem perdas |
| 2 | 84 | -92 | -98 | Célula Amarela | Recepção com poucas perdas |
| 3 | 157 | -97 | -98 | Célula Laranja | Recepção com muitas perdas |
| 4 | 281 | -103 | -115 | Célula Vermelha | Sem recepção |
| 5 | 147 | -97 | -113 | | |
| 6.1 | 126 | -97 | -102 | | |
| 6.2 | 121 | -120 | -125 | | |
| 6.3 | 116 | -115 | -127 | | |
| 7 | 232 | -98 | -113 | | |
| 8 | 261 | -113 | -115 | | |
| 9 | 182 | -106 | -119 | | |
| 10 | 232 | -115 | -115 | | |
| 11 | 75 | -117 | -118 | | |
| 12 | 182 | -106 | -117 | | |
| 13 | 311 | -111 | -120 | | |
| 14.1 | 291 | -122 | -128 | | |
| 14.2 | 296 | -118 | -128 | | |
| 15.1 | 133 | -115 | -126 | | |
| 15.2 | 138 | -112 | -122 | | |
| 16.1 | 177 | -124 | - | | |
| 16.2 | 172 | -118 | -127 | | |
| 16.3 | 167 | -117 | -125 | | |
| 17 | 147 | -116 | -125 | | |
| 18 | 301 | -117 | -124 | | |
| 19 | 331 | -124 | -133 | | |
| 20 | 401 | -119 | -128 | | |
| 21 | 466 | -120 | -129 | | |
| 22 | 419 | -122 | -131 | | |
| 23.0 | 371 | -123 | -132 | | |
| 23.1 | 366 | - | - | | |
| 23.2 | 371 | -120 | -129 | | |
| 23.3 | 376 | -124 | -133 | | |
| 24 | 341 | -117 | -126 | | |
| 25 | 227 | -115 | -123 | | |
| 26 | 237 | -118 | -127 | | |
| 27.1 | 331 | -125 | -134 | | |
| 27.2 | 336 | -120 | -129 | | |
| 28 | 281 | -120 | -129 | | |
| 29 | 152 | -117 | -126 | | |
| 30 | 80 | -113 | -121 | | |
| 31 | 113 | -107 | -115 | | |
| 32 | 162 | -109 | -115 | | |
| 33 | 251 | -106 | -112 | | |
| 34.1 | 351 | -125 | -134 | | |
| 34.2 | 356 | - | - | | |
| 35 | 291 | -120 | -129 | | |
| 36 | 341 | -118 | -127 | | |
| 37 | 1200 | -125 | -134 | | |
| 38 | 1500 | - | - | | |
| 39 | 970 | -120 | -129 | | |

Fonte: O autor (2019)

Os pontos do Quadro 2 apresentam o número de identificação, a distância em metros em relação ao transmissor, e a potência em dBm para as frequências de 433 MHz e 915 MHz. As células em amarelo representam os pontos onde o sinal começa a falhar e poucos são os pacotes perdidos; as células em laranja representam os pontos onde o sinal fica muito fraco, muitos pacotes são perdidos, mas ainda existe sinal; as células em vermelho representam os pontos onde não houve sinal recebido.

4.2.2 Rio Tarumã

Ao contrário do que se esperava, o rádio de comunicação na faixa de frequência de 915 MHz apresentou melhor desempenho em relação ao rádio na faixa de frequência de 433 MHz, conforme Quadro 3, onde podemos ver a distância em metros e a potência em dBm.

Quadro 3 - Relação de pontos medidos do Rio Tarumã

| Ponto | Distância (m) | Altitude (m) | RSSI em 915 MHz (dBm) | | RSSI em 433 MHz (dBm) | |
|-------|---------------|--------------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| | | | Baixo | Alto | Baixo | Alto |
| 1 | 276 | 908 | -129 | -124 | -122 | -120 |
| 2 | 614 | 912 | -131 | -128 | - | - |
| 3 | 850 | 918 | - | -130 | - | - |
| 4 | 1120 | 924 | - | -134 | - | - |
| 5 | 1380 | 930 | - | - | - | - |
| 6 | 305 | 901 | -129 | -123 | -123 | -122 |
| 7 | 450 | 900 | - | 130 | - | - |
| 8 | 985 | 894 | - | -132 | - | - |
| 9 | 1000 | 901* | - | -127 | - | - |

Fonte: O autor (2019)

Os em marrom são a montante e os pontos em azul são a jusante do rio. O último ponto, marcado com um "*" representa uma amostra tirada a 8 metros do chão. O transmissor que estava no leito estava instalado à 905 metros acima do nível do mar e será usado como referência. Também foi instalado outro transmissor a 5 metros de altura acima do leito.

4.2.3 Rio Belém

Os dados obtidos nos ensaios do Rio Belém demonstram que o transmissor de 433 MHz teve melhor desempenho para aquele perfil topográfico. Nos Quadros 4 e 5 são apresentados os pontos medidos, a linha em amarelo em ambos os quadros representam o mesmo ponto. Pode-se notar que para aquela coordenada, um módulo poderia se comunicar com os transmissores nos dois parques.

Quadro 4 - Relação de pontos medidos no Rio Belém - Parque da Nascente

| Ponto | Distância (m) | Altitude (m) | RSSI em 915 MHz (dBm) | RSSI em 433 MHz (dBm) |
|-------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 760 | 965 | -130 | -118 |
| A | 1350 | 954 | - | -121 |
| 2 | 1590 | 966 | - | -119 |
| 3 | 924 | 958 | - | -121 |
| 4 | 900 | 987 | -130 | -122 |
| 5 | 89 | 989 | -121 | -101 |

Fonte: O autor (2019)

O transmissor foi instalado a 1011 metros acima do nível do mar e será usado como referência.

Quadro 5 - Relação de pontos medidos do Rio Belém - Parque São Lourenço

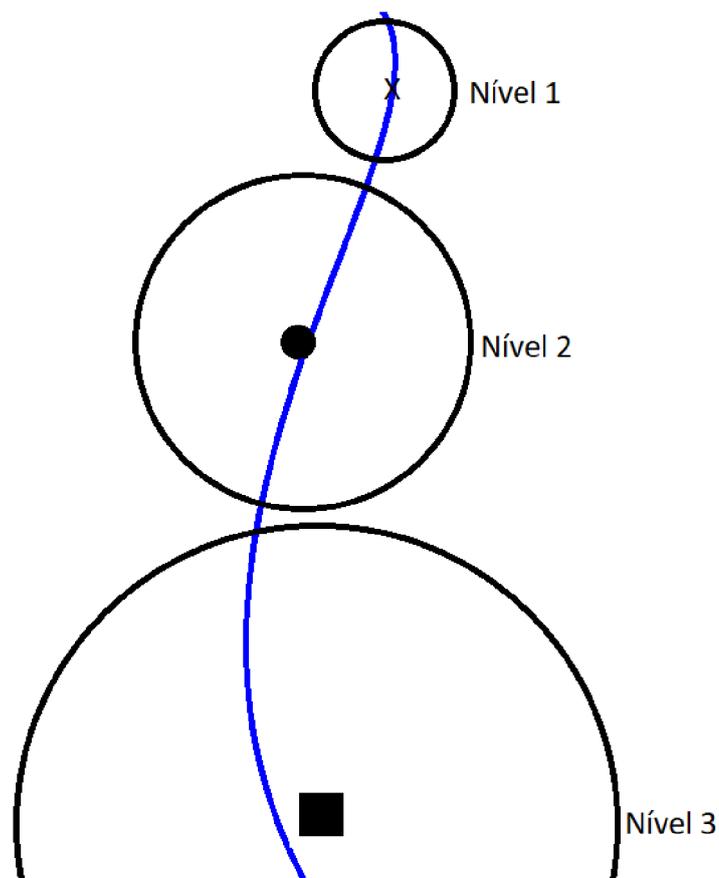
| Coordenada | Distância (m) | Altitude (m) | RSSI em 915 MHz (dBm) | RSSI em 433 MHz (dBm) |
|------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 6 | 1430 | 953 | - | -117 |
| A | 1820 | 954 | - | -122 |
| 7 | 2590 | 910 | - | -123 |
| 8 | 1760 | 928 | -129 | -115 |
| 9 | 1660 | 915 | - | -123 |

Fonte: O autor (2019)

O transmissor foi instalado a 935 metros acima do nível do mar e será usado como referência.

Para melhor entendimento dos resultados levantados, os dados foram sintetizados em 3 níveis, sendo o nível 1 instalado no leito do rio representado pelo "X", o nível 2 instalado ao lado do leito do rio representado pelo círculo preto preenchido e o nível 3 instalado em um ponto alto representado pelo quadrado preto preenchido.

FIGURA 4.2 – Níveis de Sinais



Fonte: O autor (2019)

Na Figura 4.2 os círculos em volta do pontos central representam a distância máxima de comunicação com outro ponto na mesma altura. A seguir são apresentadas as distâncias de comunicação.

Leito com:

- Leito = 100 metros;
- Baixo = 250 metros;
- Alto = 500 metros.

Baixo com:

- Leito = 250 metros;
- Baixo = 500 metros;
- Alto = 1000 metros.

Alto com:

- Leito = 500 metros;
- Baixo = 1000 metros;
- Alto = 2000 metros.

4.3 CONSUMO DE CORRENTE

No ensaio em laboratório, observou-se que os *display* do chip ESP32 afetava consideravelmente o consumo, e foi feito o desligamento do mesmo. Os valores obtidos com e sem os *displays* foram:

- Transmitindo com a tela ligada: 132 mA;
- Transmitindo com a tela desligada: 112 mA;
- Não transmitindo com a tela ligada: 67,9 mA;
- Transmitindo com a tela desligada: 41,9 mA;

Resultando em uma economia de 20 mA enquanto transmite e em 26 mA enquanto não transmite.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios no Clube Náutico, UFPR, Bosque Portugal, Parque São Lourenço e Parque da Nascente, o desenvolvimento e implementação de uma rede de monitoramento ambiental utilizando tecnologia LoRa mostrou-se viável, visto que com apenas 3 módulos adequadamente posicionados foi possível alcançar uma distância de 3,2 km. Quanto ao posicionamento dos módulos de comunicação, observou-se que os instalar no leito do rio seria inviável pois seu sinal transmitido seria muito atenuado, tendo que instalar rádios a cada 250 metros. Uma opção proposta durante os ensaios e que resultou em uma melhor comunicação é instalar os transmissores ao lado do leito, preferencialmente em locais altos, passando para 500 metros a distância entre os nós caso apenas um dos nós esteja em alguma localidade adequada. Na situação de dois pontos altos, a comunicação passa para 1500 metros.

O desenvolvimento de um protocolo para uma rede *Mesh* utilizando camada física LoRa mostrou-se aplicável, embora o *firmware* desenvolvido seja funcional, o mesmo carece de otimização e implementação de sub-rotinas de *Sleep-Mode*. A realização de ensaios neste trabalho possibilitou averiguar o funcionamento da topologia *Mesh* com a implementação do protocolo MQTT e a viabilidade da implementação em campo de uma rede de comunicação.

Contudo, a partir dos resultados obtidos em laboratório, observou-se que o consumo de corrente está 10 vezes acima do esperado, assim, o sistema não apresenta autonomia para funcionar sem a necessidade de manutenção frequente. Visto que para um Power Bank de 20.000 mAh, o transmissor funcionaria apenas por aproximadamente 19 dias. Todavia, esse resultado pode ser melhorado com a inserção de um painel solar ao sistema.

Embora não conta-se nos objetivos deste trabalho, analisando os dados, observou-se que para maioria dos casos, o transmissor em 433 MHz apresentou melhores resultados em relação ao 915 MHz.

Com isso, pode-se concluir que os objetivos gerais e específicos foram atingidos, visto que o protocolo funciona e atingiu distância consideravelmente longas, contudo o atual sistema torna-se inviável para implementação em campo devido ao

seu alto consumo de bateria.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se trabalhar a otimização do código do protocolo *Mesh*, visando implementar a função *Sleep Mode* de modo à desligar grande parte do consumo de corrente do transmissor. Outro ponto que poderá ser trabalhado é o desenvolvimento e implementação do protocolo de Auto Roteamento, este protocolo seria parte do protocolo *Mesh*, o qual aprimoraria o protocolo. Ainda quanto ao consumo, seria viável um consumo reverente à viabilidade de instalação de um painel solar para prolongar o tempo de vida da bateria.

REFERÊNCIAS

ALAM, M. et al. **Current and Future Trends in Wireless Communications Protocols and Technologies**. *Mobile Networks and Applications*, Springer, p. 1–5, 2018. Citado na página 13.

ALLIANCE, L. **What is the LoRaWAN® Specification?** 2018. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>>. (Acesso on 08/09/2019). Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.

ANATEL. **ATRIBUIÇÃO DE FAIXA DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL**. 2006. Disponível em <<https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=98580&assuntoPublicacao=null&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=radiofrequencia/qaff.pdf>>. (Acesso em 08/09/2019). Citado na página 14.

ANATEL. **PLANO DE ATRIBUIÇÃO, DESTINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL**. 2019. Boletim de Serviço Eletrônico. Disponível em <<https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=349400>>. (Acesso em 08/09/2019). Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos**, publisher = AMGH, edition = 3. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 23.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet**. 2019. Disponível em <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. (Acesso em 08/09/2019). Citado na página 18.

Fang, S. et al. **An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things**. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 2, p. 1596–1605, May 2014. Citado na página 21.

HELTEC. **WiFi LoRa 32 (V2)**. 2018. Disponível em: <<http://www.heltec.cn/project/wifi-lora-32/?lang=en>>. (Acesso on 08/09/2019). Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

Huh, H.; Kim, J. Y. **LoRa-based Mesh Network for IoT Applications**. In: *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 524–527. Citado na página 56.

KOYANAGI, F. **ESP32 LoRa: alcance de até 6,5 km!** 2018. Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/04/esp32-lora-alcance-de-ate-65-km.html>>. (Acesso on 20/10/2019). Citado na página 13.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down**, publisher = Pearson Universidades, edition = 6. [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 14.

Liang, C. et al. **Poster Abstract: Evaluation of a LoRa Mesh Wireless Networking System Supporting Time-Critical Transmission and Data Lost Recovery**. In: *2019 18th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 317–318. Citado na página 56.

MONCOR. **Monitoramento Contínuo de Rio**. 2019. Disponível em: <<https://www.eletrica.ufpr.br/moncor/>>. (Acesso on 12/10/2019). Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.

OLIVEIRA, C. d. **IMPACTOS AMBIENTAIS DERIVADOS DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS: O CASO DO CILO IV**. 2006. TCC, Geografia, Universidade estadual de Londrina - UEL, Londrina, Brasil. Citado na página 11.

Oliveira, R.; Guardalben, L.; Sargento, S. **Long range communications in urban and rural environments**. In: *2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 810–817. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 56.

PERCEBON, C. M.; BITTENCOURT, A. V. L.; FILHO, E. F. d. R. **DIAGNÓSTICO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS DOS PRINCIPAIS RIOS DE BLUMENAU, SC**. 2005. Boletim Paranaense de Geociências, n. 56, p. 7-19, 2005. Editora UFPR. Citado na página 23.

PIRATOBA, A. R. A. et al. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n3/1980-993X-ambiagua-12-03-00435.pdf>>. (Acesso em 19/11/2019). Citado na página 23.

SENSORTEC, B. **Data sheet - BMP180 - Digital Pressure Sensor**. 2019. Disponível em <<https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet-BMP180-DS000-09.pdf>>. (Acesso em 12/10/2019). Citado na página 22.

SILVA, M. N. **A educação ambiental na sociedade atual e sua abordagem no ambiente escolar**. 2012. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-educacao-ambiental-na-sociedade-atual-e-sua-abordagem-no-ambiente-escolar/>>. (Acesso on 18/11/2019). Citado na página 11.

TELECO. **Wireless Mesh Networks: Introdução**. 2004. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/pagina_1.asp>. (Acesso on 08/09/2019). Citado na página 17.

TELECO. **Redes de Computadores: Topologia**. 2018. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrcompam/pagina_2.asp>. (Acesso on 08/09/2019). Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 16.

UFRRJ. **Turbidez**. 21–. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm>>. (Acesso em 19/11/2019). Citado na página 23.

WIKIPEDIA. **Topologia de Rede**. 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Topologia_de_rede>. (Acesso em 01/10/2019). Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.

6 APÊNDICE A

6.1 TRANSMISSOR

```

1 #include "heltec.h"
2
3 #define BAND    915E6    //Defino a banda do sinal
4
5 unsigned int counter = 0;    //Defino valor do Contador
6 unsigned int counter1 = 317;    //Defino valor do Contador1 – Simulacao de
    Temperatura da Agua
7 unsigned int counter2 = 570;    //Defino valor do Contador2 – Simulacao de
    Pressao Fora da Agua
8 unsigned int counter3 = 833;    //Defino valor do Contador3 – Simulacao de
    Pressao Dentro da Agua
9 String senha = "Gala";    //Defino a senha
10
11 void setup()    //Inicializo Display e LoRa
12 {
13     Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.
        LoRa Disable*/, true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND
        /*long BAND*/);
14     Heltec.display->init();
15 }
16
17 void loop()    //Inicializo Loop
18 {
19     Heltec.display->clear();    //Limpa o Display
20     Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);    //Inicia Texto na
        Esquerda
21     Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);    //Tamanho da
        Letra
22     Heltec.display->drawString(0, 0, "Enviando_Dados:_");    //Printo na Tela
        a String
23     Heltec.display->drawString(83, 0, String(counter1));    //Printo na Tela
        o valor de Counter1
24     Heltec.display->drawString(0, 10, "Enviando_Dados:_");    //Printo na Tela
        a String

```

```

25 Heltec.display->drawString(83, 10, String(counter2)); //Printo na Tela
    o valor de Counter2
26 Heltec.display->drawString(0, 20, "Enviando_Dados:_"); //Printo na Tela
    a String
27 Heltec.display->drawString(83, 20, String(counter3)); //Printo na Tela
    o valor de Counter3
28 Heltec.display->drawString(0, 40, "Pacote:_"); //Printo na Tela a String
29 Heltec.display->drawString(40, 40, String(counter)); //Printo na Tela
    o valor de Counter
30 Heltec.display->display();
31
32 // Inicio o Envio do Packet
33 LoRa.beginPacket();
34 LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST); //Configuracao do
    PABOOST
35 LoRa.print(senha); //Envio String
    Senha
36 LoRa.print("#"); //Envio Limitador
37 LoRa.print(counter1); //Envio Contador1
38 LoRa.print("#"); //Envio Limitador
39 LoRa.print(counter2); //Envio Contador2
40 LoRa.print("#"); //Envio Limitador
41 LoRa.print(counter3); //Envio Contador3
42 LoRa.print("#"); //Envio Limitador
43 LoRa.print(counter); //Envio Contador3
44 LoRa.print("@"); //Envio
    Finalizador
45 LoRa.endPacket();
46
47 if(counter1 > 999){counter1 = 0;} //Zero
    Contador1
48 else {counter1++;} //Incremento
    Contador1
49 if(counter2 > 999){counter2 = 0;} //Zero
    Contador2
50 else {counter2++;} //Incremento
    Contador2
51 if(counter3 > 999){counter3 = 0;} //Zero
    Contador3

```

```

52     else {counter3++;}           //Incremento
        Contador3
53
54     counter++;                 //Incremento
        Contador
55 }

```

6.2 RECEPTOR

```

1  #include "heltec.h"
2
3  #define BAND    915E6    //Defino a banda do sinal
4
5  String senha = "Gala";    //Defino a Senha
6  String senhaR = "";      //Defino a Senha Recebida
7  String counter1 = "";
8  String counter2 = "";
9  String counter3 = "";
10 String counter = "";
11 String c = "";
12 String rssi = "RSSI_—";
13 String snr = "SNR_—";
14 String packSize = "—";
15 String packet;
16
17 unsigned int pula = 0;
18
19 void LoRaData()
20 {
21     Heltec.display->clear();    //Limpa o Display
22     Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);    //Inicia Texto na
        Esquerda
23     Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);    //Tamanho da
        Letra
24     Heltec.display->drawString(0 , 0 , "Recebi_pacote_de_+ packSize + "_
        bytes");
25     Heltec.display->drawString(0, 10, "Dado_1_Recebido:_");    //Printo na
        Tela a String
26     Heltec.display->drawString(85, 10, String(counter1));    //Printo na
        Tela o valor de Counter1

```

```

27 Heltec.display->drawString(0, 20, "Dado_2_Recebido:_"); //Printo na Tela
    a String
28 Heltec.display->drawString(85, 20, String(counter2)); //Printo na Tela
    o valor de Counter2
29 Heltec.display->drawString(0, 30, "Dado_3_Recebido:_"); //Printo na Tela
    a String
30 Heltec.display->drawString(85, 30, String(counter3)); //Printo na Tela
    o valor de Counter3
31 Heltec.display->drawString(0, 40, "Pacote:_"); //Printo na Tela
    a String
32 Heltec.display->drawString(40, 40, String(counter)); //Printo na Tela
    o valor de Counter
33 Heltec.display->drawString(0, 50, rssi + "_|_" + snr); //Printo
    na Tela a String
34 Heltec.display->display();
35 }
36
37 void cbk(int packetSize)
38 {
39     senhaR = ""; //Reseto a Senha
40     counter1 = ""; //Reseto o
        Contador1
41     counter2 = ""; //Reseto o
        Contador2
42     counter3 = ""; //Reseto o
        Contador3
43     counter = ""; //Reseto o Contador
44     pula = 0;
45
46     packSize = String(packetSize,DEC); //Transformo
        PacketSize em decimal
47     for (int i = 0; i < packetSize; i++) //Inicializo a
        Leitura do Pacote
48     {
49         c = (char) LoRa.read(); //Leio o Pacote
50
51         if(pula == 0){if(c != "#"){senhaR += c;} //Verificacao da Senha
52             else{pula = pula + 1;goto fim;}}
53

```

```

54     if (senha == senhaR)
55     {
56         if (pula == 1){if (c != "#"){counter1 += c;}           //Atribuicao de
                    Counter1
57                                 else{pula++;goto fim;}}
58         if (pula == 2){if (c != "#"){counter2 += c;}           //Atribuicao de
                    Counter2
59                                 else{pula++;goto fim;}}
60         if (pula == 3){if (c != "#"){counter3 += c;}           //Atribuicao de
                    Counter3
61                                 else{pula++;goto fim;}}
62         if (pula == 4){if (c != "@"){counter += c;}           //Atribuicao de
                    Counter
63                                 else{pula++;goto fim;}}
64     }
65     fim ;;
66 }
67
68 rssi = "RSSI_" + String (LoRa.packetRssi() , DEC);           //String do RSSI
69 snr = "SNR_" + String (LoRa.packetSnr() , DEC);           //String do SNR
70 LoRaData();
71 }
72
73 void setup()           //Inicializo o Display, o LoRa e o modo Receive
74 {
75     Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.
                    LoRa Disable*/, true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND
                    /*long BAND*/);
76     Heltec.display->init();
77     LoRa.receive();
78 }
79
80 void loop()           //Inicializo Loop
81 {
82     int packetSize = LoRa.parsePacket();           //Atribui o tamanho do packet
                    recebido a packetSize
83     if (packetSize)           //Inicia Protocolo de Recebimento
                    caso tenha recebido
84     {

```

```

85     cbk(packetSize);
86 }
87     delay(10);
88 }

```

6.3 PROTOCOLO

```

1  #include "heltec.h"
2  #include "WiFi.h"
3  #include "PubSubClient.h"
4
5  #define BAND    915E6  //you can set band here directly ,e.g. 868E6,915E6
6
7  unsigned int mensagem = 0;
8  unsigned int mensagemR;
9  unsigned int modo = 0;
10 unsigned int packetSize;
11 unsigned int pula = 0;
12 String nome = "A0";
13 String destino;
14 String destinoR;
15 String salto;
16 String saltoR;
17 String nomeR;
18 String nomeRO;
19 String packet;
20 String b;
21
22 const char* ssid = "Wi-Fi_do_Ed";
23 const char* password = "Galadriel";
24 const char* mqttServer = "mqtt.eclipse.org";
25 const int mqttPort = 1883;
26 const char* mqttUser = "abcdefg";
27 const char* mqttPassword = "123456";
28 WiFiClient espClient;
29 PubSubClient client(espClient);
30 char dados[30];
31
32 void setup()
33 {

```

```
34 Heltec.begin(false /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.  
    LoRa Disable*/, true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND  
    /*long BAND*/);  
35 //Heltec.display->init();  
36 WiFi.begin(ssid,password);  
37 if(nome == "A0")  
38 {  
39     modo = 1;  
40     destino = "A2";  
41 }  
42 else  
43 {  
44     LoRa.receive();  
45 }  
46 }  
47  
48 void WRP()  
49 {  
50     if(destino == "A1")  
51     {  
52         salto = "A1";  
53     }  
54     if(destino == "A2")  
55     {  
56         salto = "A1";  
57     }  
58     if(destino == "A3")  
59     {  
60         salto = "A1";  
61     }  
62 }  
63  
64 void enviando()  
65 {  
66     WRP();  
67  
68     LoRa.beginPacket();  
69     LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);  
70     LoRa.print(salto);
```

```
71     LoRa.print("#");
72     LoRa.print(destino);
73     LoRa.print("#");
74     LoRa.print(nome);
75     LoRa.print("#");
76     LoRa.print(nome);
77     LoRa.print("#");
78     LoRa.print(mensagem);
79     LoRa.print("@");
80     LoRa.endPacket();
81
82     mensagem++;
83     modo = 0;
84     LoRa.receive();
85 }
86
87 void enviando2()
88 {
89     WRP();
90
91     LoRa.beginPacket();
92     LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);
93     LoRa.print(salto);
94     LoRa.print("#");
95     LoRa.print(destino);
96     LoRa.print("#");
97     LoRa.print(nome);
98     LoRa.print("#");
99     LoRa.print(nomeRO);
100    LoRa.print("#");
101    LoRa.print(packet);
102    LoRa.print("@");
103    LoRa.endPacket();
104
105    modo = 0;
106    LoRa.receive();
107 }
108
109 void MQTT()
```

```
110 {
111     client.setServer(mqttServer, mqttPort);
112     while (!client.connected())
113     {client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttPassword);}
114     packet.toCharArray(dados,30);
115     client.publish("TCC", dados);
116 }
117
118 void recebendo(int packetsize)
119 {
120     saltoR = "";
121     destinoR = "";
122     nomeR = "";
123     nomeRO = "";
124     packet = "";
125     pula = 0;
126
127     for (int i = 0; i < packetsize; i++)
128     {
129         b = (char) LoRa.read();
130
131         if(pula == 0){if(b != "#"){saltoR += b;}
132                     else{pula++;goto fim;}}
133
134         if(pula == 1){if(b != "#"){destinoR += b;}
135                     else{pula++;goto fim;}}
136
137         if(pula == 2){if(b != "#"){nomeR += b;}
138                     else{pula++;goto fim;}}
139
140         if(pula == 3){if(b != "#"){nomeRO += b;}
141                     else{pula++;goto fim;}}
142
143         if(pula == 4 & b!= "@"){packet += b;}
144
145         fim ;;
146     }
147
148     if(destinoR == nome)
```

```
149  {
150  }
151  else
152  {
153      if (saltoR == nome)
154      {
155          destino = destinoR;
156          enviando2();
157      }
158  }
159
160  if (nome == "A2")
161  {
162      MQTT();
163  }
164
165  }
166
167  void loop()
168  {
169      if (modo == 1)
170      {
171          enviando();
172      }
173      else
174      {
175          packetsize = LoRa.parsePacket();
176          if (packetsize)
177          {
178              recebendo(packetsize);
179          }
180      }
181
182      if (nome == "A0")
183      {
184          delay(4000);
185          modo = 1;
186      }
187  }
```

6.4 IMAGENS DOS TESTES EM CAMPO

FIGURA 6.1 – Transmissor Alto



Fonte: O autor (2019)

FIGURA 6.2 – Ponto Medido - Rio aparente



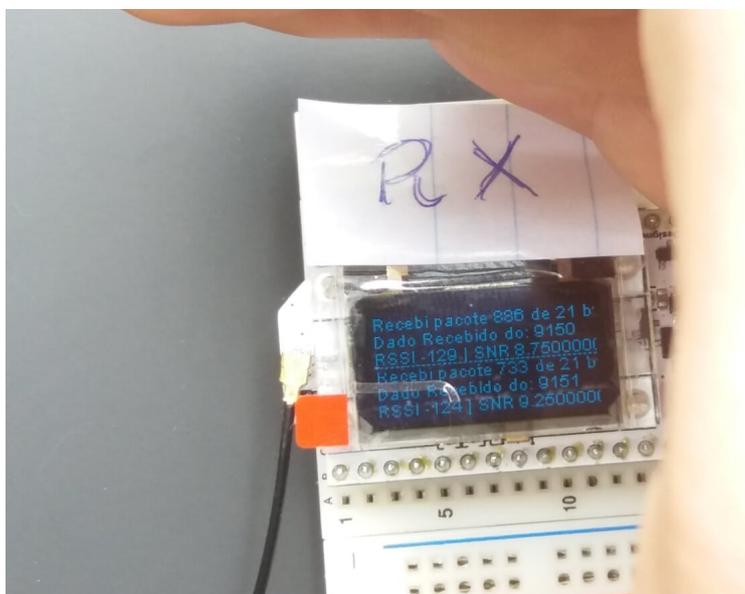
Fonte: O autor (2019)

FIGURA 6.3 – Ponto Medido - Rio não aparente



Fonte: O autor (2019)

FIGURA 6.4 – Tela do Receptor



Fonte: O autor (2019)