



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE QUIXADÁ**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**

**RAFAEL LIMA PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LORA NO  
MONITORAMENTO DAS COLÔNIAS DE ABELHAS**

**QUIXADÁ**  
**2023**

RAFAEL LIMA PEREIRA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LORA NO  
MONITORAMENTO DAS COLÔNIAS DE ABELHAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus de Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de tecnólogo em Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga

QUIXADÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P495a Pereira, Rafael Lima.  
Avaliação de desempenho e aplicação da tecnologia Lora no monitoramento das colônias de abelhas /  
Rafael Lima Pereira. – 2023.  
86 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,  
Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

1. Abelhas-criação. 2. LoRa. 3. Avaliação de Desempenho. I. Título.

CDD 004.6

---

RAFAEL LIMA PEREIRA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LORA NO  
MONITORAMENTO DAS COLÔNIAS DE ABELHAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus de Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de tecnólogo em Redes de Computadores.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antonio Rafael Braga (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Atslands Rego da Rocha  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Luis Rodolfo Rebouças Coutinho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Lourdes e Antonio, por sempre estarem comigo e aos meus irmãos por me ajudarem em mais essa conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a Deus por ter me dado força, pois sem ele certamente eu não estaria aqui. Aos meus pais por todo o apoio e ajuda ao longo desta fase, sem nunca deixarem de acreditar em mim. Ao meu irmão, Diego e em especial a minha irmã Mércia que sempre me deu força para vencer essa batalha.

A todos os amigos que fiz na vida acadêmica, são eles: Mayara Almeida, Jamerson Aguiar, Victor Farias, Ítalo, entre outros. Também àqueles que de alguma forma ajudaram durante o processo, como a Ana Kelly Lopes e o Diego Mesquita.

Ao meu orientador, Antonio Rafael Braga, pela paciência e pelo auxílio nesta pesquisa desde o início. Aos componentes da banca examinadora, Luis Rodolfo Rebouças Coutinho e a Dra. Atslands Rego da Rocha, por todas as observações e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, aos professores João Marcelo, Michel Sales e Júlio Martins, por todo seu empenho e dedicação na transmissão de conhecimento durante minha graduação, meu muito obrigado.

“Em lugar da vossa vergonha tereis dupla honra.”

(Bíblia Sagrada, Isaías 61:7)

## RESUMO

O agronegócio, como um setor participativo na economia brasileira, possui dentre uma de suas atividades, a pecuária, abrangendo em especial a apicultura que tem influência não só econômica, mas também ambiental. No entanto, fatores como a temperatura e a umidade acabam por interferir negativamente as abelhas, podendo ocasionar a má formação delas afetando assim a sua saúde dos apiários. Diante do exposto, a apicultura de precisão se mostra como uma possível aliada por auxiliar no controle dessas intercorrências nas colmeias de abelhas, uma vez que permite o monitoramento das colmeias utilizando redes sem fio. No entanto, cumpre destacar que a maior parte dos apiários são postos em zonas rurais onde muitas das vezes não há oferta de rede elétrica e de comunicação, o que dificulta a adoção deste método. Assim, por conseguir alcançar grandes distâncias e possuir baixo consumo de energia, a tecnologia *Long Range* (LoRa) torna-se ideal para ser usada na apicultura de precisão. Todavia, a maioria dos estudos dão atenção para o uso da tecnologia em áreas urbanas, montanhosas e marítimas, ignorando sua aplicação em áreas rurais. Esse trabalho fez uma avaliação do LoRa no monitoramento das abelhas observando como diferentes configurações físicas influíram no seu desempenho. Foi perceptível que essas configurações impactaram tanto na confiabilidade, como também no tempo de transmissão. Em seguida, a tecnologia foi usada para transmitir dados do interior de uma colmeia a uma distância fixa para um dispositivo capaz de enviá-los a um servidor remoto por meio de uma rede celular com o objetivo de armazená-los e apresentá-los ao usuário. Os resultados obtidos comprovam a eficácia da tecnologia fazendo do LoRa uma excelente alternativa para uso na apicultura de precisão, principalmente em locais remotos, desfavorecidos de rede elétrica e de comunicação.

**Palavras-chave:** apicultura de precisão; LoRa; avaliação de desempenho.



## ABSTRACT

The agribusiness, as a participative sector in the Brazilian economy, encompasses among its activities livestock farming, particularly beekeeping, which has influence not only economically but also environmentally. However, factors such as temperature and humidity negatively interfere with bees, potentially causing malformation and affecting the health of apiaries. In light of this, precision beekeeping emerges as a potential ally in controlling these issues in bee colonies, as it allows for monitoring using wireless networks. However, it is worth noting that most apiaries are located in rural areas where there is often no electricity or communication infrastructure, making the adoption of this method difficult. Thus, due to its ability to cover long distances and its low energy consumption, Long Range (LoRa) technology becomes ideal for use in precision beekeeping. However, most studies focus on the use of the technology in urban, mountainous, and maritime areas, overlooking its application in rural areas. This study evaluated LoRa in bee monitoring, observing how different physical configurations influenced its performance. It was evident that these configurations impacted both reliability and transmission time. Subsequently, the technology was used to transmit data from inside a beehive at a fixed distance to a device capable of sending them to a remote server via a cellular network to store and present them to the user. The results obtained confirm the effectiveness of the technology, making LoRa an excellent alternative for use in precision beekeeping, especially in remote locations lacking electricity and communication infrastructure.

**Keywords:** precision apiculture; LoRa; performance evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Figura rupestre que representa a coleta do mel realizada pelo homem primitivo.	27
Figura 2 – Três propostas de arquiteturas IoT.	31
Figura 3 – Arquitetura de Rede LoRaWAN.	34
Figura 4 – Pilha de protocolo LoRaWAN.	35
Figura 5 – Fluxograma das etapas metodológicas.	37
Figura 6 – Arquitetura proposta.	40
Figura 7 – Processo de requisição e consulta de configuração do lado sensor.	42
Figura 8 – Processo de requisição e alteração do parâmetro de configuração do lado sensor.	44
Figura 9 – Processo de requisição e observação do tempo resposta.	45
Figura 10 – Processo de requisição e obtenção de pacotes recebidos para observação do PDR e integridade dos dados.	46
Figura 11 – Estrutura do pacote para observação do PDR e integridade dos dados.	47
Figura 12 – Processo de requisição, tratamento e envio das informações climáticas.	48
Figura 13 – Formato do pacote com informações climáticas.	48
Figura 14 – Formato do pacote JSON.	49
Figura 15 – Sensor de temperatura e umidade AM2302.	52
Figura 16 – Módulo LoRa E32-915T20D.	54
Figura 17 – Arduíno Nano.	54
Figura 18 – Módulo SIM800L.	55
Figura 19 – Esquema de ligação dos módulos LoRa.	56
Figura 20 – Troca de mensagens entre os módulos emissor e receptor.	57
Figura 21 – Arranjo de ligação do módulo SIM800L.	58
Figura 22 – Comandos AT para envio de dados a plataforma ThingSpeak.	59
Figura 23 – Gráfico de Dados recebidos na plataforma ThingSpeak.	59
Figura 24 – Estrutura de ligação para o teste de coleta de temperatura e umidade.	60
Figura 25 – Dados coletados pelo sensor AM2302.	61
Figura 26 – Valores de temperatura e umidade apresentados pelo termo-higrômetro.	61
Figura 27 – Estruturas de ligação dos componentes na placa PCB.	63
Figura 28 – PCB do dispositivo sensor sem os módulos.	64
Figura 29 – Placas dos dispositivos após encaixe dos módulos.	65
Figura 30 – Teste de tensão na integração dos módulos.	66

Figura 31 – Caixa plástica escolhida. . . . .	67
Figura 32 – Dispositivos após a instalação da placa. . . . .	68
Figura 33 – Dispositivo sensor com o AM2302 conectado. . . . .	69
Figura 34 – Dispositivos instalados no ambiente de teste. . . . .	71
Figura 35 – Distância alcançada com as antenas. . . . .	72
Figura 36 – Dispositivo sensor instalado no ambiente apícula. . . . .	74
Figura 37 – Caixa colmeia <i>langstrooth</i> . . . . .	74
Figura 38 – Mapa de cobertura da rede celular. . . . .	75
Figura 39 – Dispositivo concentrador instalado. . . . .	76
Figura 40 – Percentual de pacotes recebidos. . . . .	77
Figura 41 – Média de tempo entre tempo resposta. . . . .	78
Figura 42 – Tela de controle e autenticação de usuários. . . . .	80
Figura 43 – Tela de consulta e apresentação dos dados ao usuário. . . . .	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação dos trabalhos relacionados. . . . .	25
Tabela 2 – Estrutura dos pacotes de consulta de configuração. . . . .	43
Tabela 3 – Configuração e valores fixos do componente LoRa. . . . .	50
Tabela 4 – Configurações variáveis e os intervalos de valores. . . . .	50
Tabela 5 – Parâmetros do sensor DHT11 e AM2302. . . . .	51
Tabela 6 – Parâmetros do modulo LoRa E32-915T20D. . . . .	52
Tabela 7 – Lista de objetos utilizados. . . . .	70
Tabela 8 – Comparativos entre as antenas. . . . .	71
Tabela 9 – Taxa de dados do ar e configurações físicas. . . . .	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LoRa	<i>Long Range</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
CR	<i>Coding Rate</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
PDR	<i>Packet Delivery Ratio</i>
SNR	<i>Signal-to-noise ratio</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
RFID	<i>Radio-Frequency-Identification</i>
Wi-fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
FKS	<i>Frequency-Shift Keying</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
UART	<i>Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
TX	<i>Transmit</i>
RX	<i>Receive</i>
VCC	<i>Voltage at the Common Collector</i>
GND	<i>Ground</i>
AUX	<i>Auxiliary</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
RP-SMA	<i>Reverse Polarity - SubMiniature Version A</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

API	<i>Application Programming Interface</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>18</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
<b>2</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<i>An experimental lora performance evaluation in tree farm</i>	<i>20</i>
<b>2.2</b>	<b>Uma avaliação comparativa entre as topologias de rede estrela e malha no uso da tecnologia LoRa</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<i>Performance evaluation of lora technology for implementation in rural areas</i>	<i>22</i>
<b>2.4</b>	<i>Lora from the city to the mountains: exploration of hardware and environmental factors</i>	<i>23</i>
<b>2.5</b>	<b>Comparação entre os trabalhos relacionados</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Apicultura</b>	<b>26</b>
<i>3.1.1</i>	<i>Apicultura de Precisão</i>	<i>28</i>
<i>3.1.1.1</i>	<i>Fases da Apicultura de Precisão</i>	<i>29</i>
<b>3.2</b>	<b>Internet das Coisas</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>LoRa</b>	<b>33</b>
<i>3.3.1</i>	<i>LoRaWAN</i>	<i>35</i>
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Elaborar uma topologia lógica</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Desenvolver a arquitetura física</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Posicionar no ambiente proposto</b>	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Coletar e Analisar os dados</b>	<b>38</b>
<b>4.5</b>	<b>Implementar um sistema de visualização remota</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Elaboração da topologia lógica</b>	<b>40</b>
<i>5.1.1</i>	<i>Aplicação dos dispositivos</i>	<i>41</i>
<i>5.1.2</i>	<i>Configuração dos dispositivos</i>	<i>49</i>
<b>5.2</b>	<b>Desenvolvimento da infraestrutura física</b>	<b>51</b>

<b>5.2.1</b>	<b><i>Escolha dos componentes</i></b> . . . . .	<b>51</b>
5.2.1.1	<i>Sensor coletor de dados climáticos</i> . . . . .	51
5.2.1.2	<i>Módulo de transmissão LoRa</i> . . . . .	52
5.2.1.3	<i>Placa microcontroladora</i> . . . . .	54
5.2.1.4	<i>Módulo de conexão com o servidor externo</i> . . . . .	55
<b>5.2.2</b>	<b><i>Teste de infraestrutura</i></b> . . . . .	<b>56</b>
5.2.2.1	<i>Testes de comunicação</i> . . . . .	56
5.2.2.2	<i>Teste de coleta da temperatura e umidade</i> . . . . .	60
5.2.2.3	<i>Teste de integração e desenvolvimento do protótipo final</i> . . . . .	62
5.2.2.4	<i>Teste de distância entre dispositivos</i> . . . . .	70
<b>5.3</b>	<b>Posicionamento no ambiente proposto</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>5.4</b>	<b>Coleta e Análise dos dados</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>5.5</b>	<b>Implementação do sistema de visualização remoto</b> . . . . .	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é constituído de atividades que envolvem tanto a agricultura como a pecuária, e consiste em um dos setores mais importantes na economia brasileira. De acordo com Gomes (2019), é uma categoria que tem destacado o país no comércio internacional e tem uma função importante na balança comercial gerando emprego e renda. Este ramo não diz respeito apenas à parte de produção, mas engloba desde o cultivo até a comercialização. Furtuoso e Guilhoto (2003) afirmam que envolve os setores primário, secundário e terciário. Em especial, o setor primário está voltado à parte de produção agrícola, sendo ela a atividade responsável pelo cultivo vegetal, e a pecuária que está relacionada à criação animal. No geral, a pecuária possui variadas culturas, não é somente uma atividade voltada à criação bovina, mas outros tipos de criações também têm uma importância significativa na questão econômica e na manutenção do nosso ecossistema, dentre elas se destaca a apicultura.

Para Fontenele (2022), a apicultura é uma atividade antiga e importante para a sociedade. Isso se deve ao fato dela ter participação ativa em questões econômicas e ambientais. Na economia nacional, é notável o seu papel expressivo ao observar números relacionados à produção do mel, produto este produzido pelas abelhas, obtido e comercializado pela atividade apícola. Tomazini e Grossi (2019) afirmam que o país ocupa a décima primeira posição mundial na produção de mel e a tendência é avançar com posições ainda maiores. Ela ainda traz consigo consequências benéficas como a geração de emprego e renda. Bacaxixi *et al.* (2011) reitera que em torno de 300 mil pessoas exercem a atividade, sendo ainda responsável por empregar em torno de outras 500 mil. Na esfera ambiental, as abelhas desenvolvem um trabalho de colaboração para o desenvolvimento da flora por meio da polinização e não somente isso, ainda segundo Tomazini e Grossi (2019), elas ajudam na recuperação de áreas degradadas.

Como visto, a apicultura tem sua participação relevante na economia nacional, e o trabalho das abelhas tem um papel fundamental no meio ambiente através da polinização. Entretanto, diversos fatores ocasionados por condutas humanas, fatores naturais e climáticos têm contribuído para a redução populacional das abelhas, o que pode trazer consequências maléficas tanto a nível econômico quanto ambiental. Beringer *et al.* (2019) declaram que essa redução tem sido notada por apicultores e cientistas e vem acontecendo a mais de dez anos em diversos países do mundo. A temperatura e umidade relativa do ar são fatores climáticos que podem afetar as abelhas. Domingos e Gonçalves (2014) afirmam que o desequilíbrio na gestão da temperatura pode afetar a fisiologia das abelhas, como também lhes ocasionar consequências

negativas na vida adulta. Os autores também afirmam que o controle é importante para a sobrevivência da colônia e um descontrole da temperatura pode gerar ainda o abandono da colônia. A umidade exerce também uma participação essencial no ambiente de desenvolvimento das abelhas. Trindade (2018) alegam que é um fator decisivo e influencia na saúde das colônias de abelhas. A necessidade de manter essas condições em níveis favoráveis leva o apicultor a utilizar técnicas de manejo muitas vezes desnecessárias em virtude de desconhecer o momento exato de aplicá-las.

Esse problema pode ser contornado com a adoção de técnicas oriundas da apicultura de precisão. Mojaravski (2018) alegam que a apicultura de precisão tem por objetivo o monitoramento e controle das atividades das abelhas e do apiário. Zacepins *et al.* (2012) acrescentam que o seu propósito também é criar ferramentas de tempo real e online para monitorar as colônias incessantemente durante toda a vida e na fase de produção, evitando situações de estresse e desperdício. Os referidos autores ressaltam ainda que o intuito não é de excluir o trabalho do apicultor, mas sim de auxiliá-lo. Para realizar esse monitoramento e coleta de dados, comumente é utilizada uma rede de sensores sem fio. Zacepins *et al.* (2012) destacam que o uso de tecnologia sem fio é fundamental para a criação de condições iniciais para o desenvolvimento da apicultura de precisão. Esses sensores são formados na maioria das vezes por tecnologias oriundas da *Internet of Things* (IoT). Leite *et al.* (2017) reiteram que, uma parte das tecnologias IoT utiliza a comunicação via rádio, ou sem fio. Entretanto, alguns empecilhos dificultam a implementação da tecnologia em um ambiente apícola. Fontenele (2022) afirma que os apiários devem ser montados em zonas rurais e ainda acrescenta que, por questões de segurança, o local da instalação deve obedecer no mínimo uma distância de 500 metros da área povoada. O grande problema do posicionamento desses apiários em locais rurais é que na maioria das vezes são áreas extensas ou remotas, sem a presença da rede elétrica e de comunicação. Mesmo que uma rede celular seja uma alternativa para contornar o problema de alcance, é preciso lembrar da existência de áreas rurais que não são beneficiadas com a cobertura e mesmo que haja essa alternativa, Zacepins *et al.* (2016) destaca que a radiação eletromagnética utilizada na comunicação da tecnologia de rede celular é fortemente prejudicial para as abelhas. Um outro obstáculo presente na adoção do IoT em questão, é que a maioria das tecnologias sem fio tradicionais possuem uma cobertura limitada a curtas e médias distâncias. Uma alternativa para solucionar esse problema é a utilização da tecnologia LoRa.

LoRa também é uma tecnologia pertencente ao IoT e se caracteriza por conseguir

alcançar grandes distâncias de comunicação, podendo chegar a quilômetros, possuir baixo consumo de energia e operar em faixa de frequência livre. Yim *et al.* (2018) declaram que ela é um tipo de tecnologia ideal para ser aplicada na agricultura devido a sua capacidade de longo alcance e ao benefício de possuir um baixo consumo de energia. Entretanto, os autores ressaltam que parâmetros físicos e ambientais afetam o desempenho do LoRa e ainda acrescentam que uma grande parte dos estudos mostram a capacidade de comunicação da tecnologia em áreas urbanas, montanhosas e marítimas, sendo que poucos dão importância à aplicação da tecnologia na agricultura.

A partir desse fato, o propósito deste trabalho foi avaliar o desempenho da tecnologia LoRa no monitoramento das colônias de abelhas e aplicá-la na transmissão de dados coletados em colmeias, enviando-os para posterior visualização do usuário. O objetivo foi analisar e utilizar a tecnologia como uma alternativa de implementação na apicultura de precisão em apiários instalados em locais distantes que não são beneficiados com rede elétrica ou de comunicação. O restante do trabalho subdivide-se nas seguintes seções: Na seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados que servem de base para o projeto proposto; a 3 descreve os principais conceitos utilizados no decorrer deste projeto; na 4 são detalhados os procedimentos metodológicos que foram executados para alcançar os objetivos apresentados; Seção 5 são descritos os resultados obtidos com a execução dos procedimentos e por fim na seção 6 é feita uma análise conclusiva a respeito do trabalho apresentado e indica trabalhos futuros.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Avaliar o desempenho da tecnologia LoRa no monitoramento das colônias de abelhas em um ambiente rural e usá-la na transmissão de dados coletados no interior delas. A temperatura e umidade são exemplos de fatores escolhidos para serem observados. O propósito é analisar e utilizar a tecnologia com o intuito de facilitar a implementação da apicultura de precisão em locais remotos.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

1. Fornecer um estudo do desempenho da tecnologia em área rural;
2. Observar como a variação nas configurações físicas influenciam no desempenho do LoRa;

3. Definir qual configuração física apresentou melhor desempenho de acordo com cada métrica escolhida;
4. Aplicar a tecnologia LoRa no cenário de monitoramento real.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta trabalhos que serviram de base para o proposto. O critério de busca inicialmente adotado foi por trabalhos que tivessem o objetivo equivalente, porém, somente um chegou próximo. Diante disso, foram destacados três trabalhos que utilizaram o LoRa na observação e monitoramento das abelhas e descritos outros que avaliaram o desempenho da tecnologia independentemente do ambiente utilizado. Ao final, foi apresentada uma tabela que tem o objetivo de comparar algumas características dos trabalhos descritos em relação ao proposto.

Gabitov *et al.* (2022) desenvolve e investiga um sistema que monitora a temperatura e umidade em colmeias selvagens para ambientes com condições limitadas de acesso à comunicação e energia. Na transmissão, é utilizado o LoRa para envio entre o componente responsável pela coleta e o *gateway*. Este, além de receber os dados, teve a tarefa de enviá-los a um servidor. Com o propósito de monitoramento da produção de mel e de coletar dados essenciais, Lukovac *et al.* (2023) propôs uma infraestrutura que coleta um diversificado tipo de informações em que utiliza a tecnologia para transmissão entre o nó sensor e o *gateway* que posteriormente repassa para um sistema. Os dados são armazenados em um banco de dados na nuvem. A disponibilização das informações para o usuário foi realizada por meio de uma interface na web. Algo semelhante foi feito no trabalho de Pikri *et al.* (2022), no qual usou a tecnologia para enviar dados coletados a respeito da temperatura, umidade e nível da bateria, em seguida os enviou para um servidor a fim de apresentá-los ao usuário com uma interface web e aplicativo móvel.

Observando esses trabalhos, é perceptível que ambos têm como característica em comum a utilização do LoRa na transmissão de dados coletados em colmeias de abelhas, como também o envio desses dados para armazenamento e visualização pelo usuário. O que diferencia tais trabalhos do proposto, é a não realização de uma avaliação de desempenho. A partir disso, nos trabalhos descritos a seguir, é realizada uma análise de desempenho da tecnologia, sendo a maioria aplicados em áreas rurais.

### 2.1 *An experimental lora performance evaluation in tree farm*

Partindo da problemática em que a maioria dos trabalhos realizados sobre o LoRa ocorreu em um ambiente aberto ou urbano, Yim *et al.* (2018) apresentam um que teve por objetivo experimentar mudanças de desempenho e outras métricas a partir da variedade de configurações

em propriedades físicas e como cada uma delas afeta a tecnologia quando aplicada em área rural.

Os autores realizaram três experimentos em dias distintos em um ambiente com a presença de árvores e aplicando variações nas configurações de *Spreading Factor* (SF), *Bandwidth* (BW) e *Coding Rate* (CR), esse conjunto de diferentes parâmetros eram identificados por um número. Foram observadas as métricas como a indicação da intensidade do sinal recebido, do inglês, *Received Signal Strength Indication* (RSSI), a taxa de entrega de pacotes, ou *Packet Delivery Ratio* (PDR), no intuito de inferir sobre a confiabilidade, como também a Zona Fresnel que, segundo os autores, é a interferência causada por obstáculos entre o raio de comunicação do emissor e receptor.

De acordo com os testes realizados pelos autores, apenas duas configurações diferentes demonstraram confiabilidade abaixo de 90% a uma distância de 150 metros. Em contrapartida, outras duas apresentaram uma confiabilidade acima de 90% com 200 metros. Eles afirmam que a confiabilidade melhorou em distâncias maiores à medida que SF e CR eram altos. Com relação ao BW, os autores afirmam que não houve tanto impacto assim nos resultados. A força do sinal caiu à medida que a distância aumentava. Os resultados da Zona Fresnel ficaram de certa forma incompletos e não se pode ter uma conclusão a respeito de como a altura beneficia uma melhor comunicação.

Esse trabalho contribuiu ao fornecer métricas e metodologias de teste que podem inferir sobre o desempenho do LoRa em colmeias de abelhas. De certa forma, o autor realiza testes de desempenho ao comparar a performance da tecnologia utilizando diferentes configurações em propriedades físicas. O trabalho tem semelhança com o pretendido ao realizar esses testes em área rural, com a presença de árvores e outros objetos em comum desse ambiente.

## **2.2 Uma avaliação comparativa entre as topologias de rede estrela e malha no uso da tecnologia LoRa**

O trabalho feito por Machado (2021) propôs uma comparação das topologias malha e estrela utilizando o LoRa, também analisa os ambientes em que cada topologia obteve melhor desempenho, partindo do problema que a cobertura do sinal é afetada por fatores físicos que vão desde obstáculos a interferências. Neste contexto, observa-se a existência de poucos trabalhos com objetivo de comparar as duas topologias utilizando a tecnologia LoRa.

O autor realizou testes de desempenho em que observa várias métricas como, consumo energético, latência, perda de pacotes, saltos e distância máxima em ambas as topologias.

Para medir a distância máxima entre os nós, o autor observou a força do sinal receptor em diferentes distâncias e em ambientes com obstáculos no caso da topologia em malha. No mesmo teste também foi notada a perda de pacotes, onde uma perda superior a 8% ultrapassava o limite máximo da distância, e de até 8%, se achava o limite máximo. Com relação a medida de tempo, foi aplicada metodologia semelhante ao da latência, em que era observado o tempo em que a mensagem era enviada e o tempo de resposta. O tratamento dos dados coletados foi realizado a partir da escolha de cinquenta dados capturados e selecionados aleatoriamente. Estes dados passaram por tratamentos probabilísticos. O consumo energético foi verificado com o aumento do fluxo de mensagens na topologia estrela. Já na topologia em malha, uma bateria foi colocada em um nó intermediário e foi observado o seu consumo.

Os resultados demonstraram que a topologia malha possui um consumo de energia maior no comparativo ao consumo da topologia estrela. Em contrapartida, alcança maiores distâncias utilizando dispositivos intermediários. A dita topologia malha também se mostrou eficiente em um ambiente que possui muitos obstáculos. A topologia estrela ganhou no quesito de proximidade e latência, entretanto, Machado (2021) relata que se deve levar em consideração os saltos feitos na topologia malha. Em ambas as topologias, a perda de pacotes se mostrou baixa.

O trabalho de Machado (2021) tem semelhança com o presente trabalho ao fazer testes de desempenho da tecnologia e utilizar métricas que poderão ser observadas para se chegar ao objetivo do trabalho proposto. Por outro lado, um dos pontos em que se distingue, é ao utilizar um ambiente urbano, enquanto este propõe-se a fazer em um ambiente rural.

### ***2.3 Performance evaluation of lora technology for implementation in rural areas***

A fim de determinar a capacidade que uma tecnologia de longa distância tem de estabelecer uma comunicação de forma mais confiável possível em um ambiente agrícola, Tovar-Soto *et al.* (2021) realizaram um trabalho no qual foram feitos testes de desempenho da tecnologia LoRa em uma área rural. Os autores realizaram três testes, em três dias distintos, no período matutino, onde fizeram combinações entre o BW e o SF que deram um total de 29 combinações.

Após a escolha do local, sendo esse um local de produção de Proteas, que são plantas floridas e baixas, os autores realizaram testes em que os dispositivos emissor e receptor foram posicionados a uma distância de 500 metros um do outro. Foram observadas diversas métricas

como o tempo da comunicação, RSSI, relação de sinal e ruído, ou *Signal-to-noise ratio* (SNR), que consiste na relação entre o sinal enviado e o ruído presente nele, PDR e pacotes recebidos corretamente, sendo que estes dados foram tratados com cálculos probabilísticos e determinantes para se concluir acerca do desempenho da tecnologia.

Ao final, eles conseguiram concluir a partir de testes com os parâmetros citados acima que o BW que demonstrou melhor desempenho foi o de 125 KHz e o SF foi de 9. Logo, também o tempo de transmissão de pacotes foi baixo, com resultados positivos no RSSI e SNR, sendo consequências geradas pelo valor dessas configurações.

Este trabalho traz grande contribuição ao proposto, vez que apresenta uma metodologia de fácil compreensão e implementação, além de realizar um teste em zona rural e observar métricas que podem ser também observadas no trabalho proposto para se alcançar o objetivo pretendido. O que o diferencia é o fato de ser realizado em um ambiente mais voltado à produção agrícola, enquanto que o pretendido deve ser realizado em um ambiente de produção de abelhas.

#### **2.4 *Lora from the city to the mountains: exploration of hardware and environmental factors***

O trabalho apresentado por Iova *et al.* (2017), apoiando-se no problema de os testes com LoRa estarem mais voltados ao cenário urbano, teve por objetivo examinar a tecnologia aplicada a cenários rurais e florestais, como também analisar o alcance desta em áreas montanhosas. Um diferencial avaliado pelos autores é o de testar diversas antenas as distinguindo por tamanho e características, com o objetivo de analisar a conectividade e adequá-las a dispositivos pequenos.

Para início de estudo em campo, os autores escolheram quatro locais diferentes com características distintas. Os dois primeiros se caracterizam por ser um local aberto, sem a presença de obstáculos, com uma linha de visão livre entre emissor e receptor. O motivo da escolha desse local foi para testes de alcance. Os últimos tinham por características grandes montanhas, sendo o primeiro um campo livre de obstáculos, com poucas árvores presentes, porém com montes altos, e o segundo com altitudes mais baixas, entretanto, com a presença mais significativa da vegetação. Os autores escolheram métricas para deduzir acerca da conectividade entre emissor e receptor, são elas: PDR, RSSI, SNR e faixa de conectividade. Já relacionado a testes, os autores realizaram experimentos com limites de comunicação o mais próximo possível entre o transmissor e receptor e testes com variações de configuração do parâmetro físico no intuito de descobrir a influência destes testes na comunicação, qualidade do sinal e



impacto de diferentes antenas, onde foram selecionadas três dessas antenas para comparar com o desempenho da Dipolo, uma antena usada para comunicações por ondas de rádio frequência. Dessas três, uma é escolhida para fazer mais testes.

No teste de limites de comunicação, os resultados demonstraram que a taxa de entrega desses pacotes foram altas em um ambiente sem vegetação e obstáculos. Entretanto, o inverso aconteceu em uma área de vegetação ao apresentar uma queda expressiva no alcance, saindo de centenas para dezenas de metros e apresentando uma taxa de entrega menor. Já na influência dos parâmetros físicos do LoRa em campo, foi possível notar que o BW maior contribuiu no aumento do alcance da comunicação, em contrapartida, ao elevar o SF, o tempo de comunicação também aumenta. Ressalta-se também a influência negativa da temperatura com relação ao alcance. A qualidade do sinal apresentou bons resultados no teste em montanha e na floresta com uma taxa de entrega elevada. A antena que melhor apresentou desempenho ao ser comparada com as demais, de acordo com os requisitos criados pelos autores, foi a PC81, uma antena que tem o mesmo objetivo da dipolo, porém com um tamanho menor. No entanto, em mais testes de desempenho em área aberta, ela apresentou uma redução em determinada distância, sendo isso efeito de interferências causadas por obstáculos. Isso foi perceptível também ao realizar experimentos em área montanhosa.

O trabalho acima descrito, fez experimentos minuciosos com LoRa, principalmente na parte de comunicação e conectividade, demonstrando como o desempenho da tecnologia em ambiente urbano e rural mudam significativamente. Ele traz consigo uma contribuição para o presente projeto ao aplicar uma metodologia que pode ser adotada parcialmente. Assim como outros aqui citados, ele se distingue por não realizar esses testes em ambiente de produção apícola.

## **2.5 Comparação entre os trabalhos relacionados**

Como citado anteriormente, os trabalhos supracitados se caracterizam com um dos objetivos deste projeto ao fazer uma análise do desempenho da tecnologia LoRa. A Tabela 1 tem o intuito de fazer um comparativo entre o trabalho proposto e os descritos acima. Escolhemos características em comum, como as métricas utilizadas, e outras que diferem os trabalhos entre si, como o ambiente e obstáculos.

Tabela 1 – Comparação dos trabalhos relacionados.

<b>TRABALHOS</b>	<b>MÉTRICAS</b>	<b>AMBIENTE</b>	<b>OBSTÁCULOS</b>
Yim <i>et al.</i> (2018)	RSSI, PDR e Zona Fresnel	Rural	Árvores
Machado (2021)	Consumo energético, latência, PDR, RSSI e número de saltos	Urbano	Casas, edifícios e etc
Tovar-Soto <i>et al.</i> (2021)	RSSI, PDR, SNR, tempo de comunicação e pacotes recebidos corretamente	Rural	Plantas baixas
Iova <i>et al.</i> (2017)	PDR, RSSI, SNR e faixa de conectividade	Aberto e Rural	Montanhas, e vegetação
Proposto	PDR, integridade dos dados e latência	Rural	Vegetação e abelhas

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem o intuito de apresentar e contextualizar os conceitos-chaves presentes neste trabalho. Por meio dele, pretende-se facilitar a compreensão do leitor ao que foi proposto. Os descritos são, apicultura, apicultura de precisão, IoT e a tecnologia LoRa.

#### 3.1 Apicultura

A apicultura é uma das culturas pertencentes à pecuária e essa atividade é voltada para a criação e manejo de abelhas. Ela exerce grande importância na economia nacional, gerando um número relativo de empregos. De acordo com Bacaxixi *et al.* (2011), em torno de 500 mil pessoas são empregadas pela atividade apícola, seja ela formal ou informal. Klosowski *et al.* (2020), reforçam a capacidade dessa atividade no desenvolvimento da agricultura familiar e de gerar uma outra opção de renda ao agricultor. No que diz respeito a sua colaboração com outras culturas, as abelhas promovem a polinização cruzada, isso ocorre quando uma abelha leva uma parte do pólen coletado de uma flor para outra por meio de partes do seu corpo. Esse trabalho de polinização reflete diretamente na qualidade dos alimentos que consumimos. Klosowski *et al.* (2020), enfatizam que a maioria das plantas usadas no consumo humano tem como principal polinizador as abelhas. A falta do trabalho de polinização implica diretamente no desenvolvimento dos frutos produzidos pelas plantas.

A apicultura foi evoluindo ao longo do tempo, ganhando mais flexibilidade e correções em suas práticas que beneficiam tanto o desenvolvimento dos produtos oriundos dela, como o trabalho do apicultor e principalmente a saúde das abelhas. Segundo Bacaxixi *et al.* (2011), o mel, alimento oriundo das abelhas, era consumido junto com outros elementos que compõem a colônia. Isso era efeito de pouco conhecimento e prática do manejo das abelhas e gerava consequências graves às colônias pois essa prática radical causava morte das abelhas ou expulsão do que restava da colmeia.

Diferente de hoje, os enxames não eram manipulados em caixas de madeira em forma quadrada ou retangular. Pinturas criadas por homens primitivos e apresentadas no trabalho de Santos (2015) descrevem seres humanos realizando coleta de mel no alto das árvores ou penhascos, utilizando cordas e escadas artesanais. A Figura 1 é descrita pelo autor como um homem pendurado em cordas para coletar mel em uma colmeia de altitude elevada.

Figura 1 – Figura rupestre que representa a coleta do mel realizada pelo homem primitivo.



Fonte: (CRANE, 1963).

Santos (2015) declarou que a manipulação das abelhas foi evoluindo e os coletadores começaram a flexibilizar o seu trabalho utilizando troncos de árvores ocos para criar e manipular abelhas. Um conjunto desses troncos formava um apiário. Ele ressalta que essa prática foi uma das primordiais no surgimento da apicultura.

Práticas semelhantes de atividade apícola empregadas atualmente são observadas no antigo Egito e relatadas também por Santos (2015) como os primeiros apicultores. O autor afirma indícios da utilização de colmeias feitas pelo homem para exercício da apicultura na exploração e atividade econômica. É enfatizada ainda a forma como eram manejadas as abelhas, como a utilização de fumaça para inibi-las a fim de que pudesse ser feita a coleta do mel, ação que ainda hoje é praticada por apicultores.

A participação econômica da apicultura no Brasil pode ser descrita ao rever números. Segundo Klosowski *et al.* (2020), o Brasil ocupou em 2017 a 11ª posição na produção global de mel e produziu 41,6 toneladas de mel. Comparado a 2016, as exportações de mel tiveram alta de 31,8%. Isso se deve ao fato de o país oferecer clima favorável e os mais diferentes tipos de flora em seu território.

Além do mel, outros produtos são destacados por Tomazini e Grossi (2019) como, cera, pólen, própolis, geleia real e apitoxina. O mel é produzido pelas abelhas *apis melliferas*,

porém, é importante ressaltar que a produção não se restringe apenas a essa espécie. O produto é considerado pelos autores, o mais fácil de ser explorado e comercializado. Bacaxixi *et al.* (2011) destaca elementos que compõem o mel, dentre eles está a água, frutose e glicose.

### **3.1.1 Apicultura de Precisão**

A apicultura de precisão é uma técnica que implementa a tecnologia da informação na observação e gestão de apiários trazendo consequências benéficas à saúde das abelhas e sua produção, tornando mais fácil o trabalho do apicultor. Essa técnica contém objetivos relevantes que são alcançados no decorrer da implementação e uso. O conceito apresentado por Zacepins *et al.* (2012) descreve a apicultura de precisão como uma estratégia para reduzir o consumo de recursos e aumentar a produção, isso se dá por meio do monitoramento contínuo das colmeias. Notadamente, ela não vem com o intuito de substituir o trabalho do apicultor, mas sim auxiliá-lo na tomada de decisão no momento exato. Sem a utilização das técnicas oferecidas pela apicultura de precisão, o agricultor pode realizar ações desnecessárias prejudicando as abelhas ou até mesmo deixar de executar ações quando algo de incomum acontecer, tendo consequências graves na produção. Ainda conforme Zacepins *et al.* (2016), a apicultura de precisão tem como um dos objetivos usar ferramentas que possam ser flexíveis ao apicultor desde a implementação até o manuseio destas. Destacam ainda a necessidade de coletar e apresentar vários tipos de parâmetros como temperatura, peso, sons e etc. Já é possível visualizar estudos onde se aplicam essa técnica para inibir roubos e danos às colmeias, como no trabalho de Fontenele (2022).

A necessidade de monitorar parâmetros que implicam diretamente sobre as colmeias não é uma preocupação que tenha ganhado destaque recentemente, é possível notar que em torno de um século atrás já haviam estudos voltados à observação e medição desses parâmetros dentro e fora da colônia. Gates (1914) realizou um estudo em um período de 11 meses que utilizou termômetros de mercúrio e químicos para medir a temperatura dentro e fora da colônia, como também uma balança para observar as mudanças de peso. O autor destaca a necessidade do conhecimento de temperatura e peso em épocas de inverno. Como visto, ele utilizou instrumentos simples onde é necessário um esforço manual para coletar resultados. Hoje, com o surgimento do IoT, é possível facilitar o trabalho do apicultor ao utilizar sensores sem fio. Além disso, a redução de custos é um benefício notável.

Mesmo que a apicultura de precisão esteja mais voltada para os objetivos de melhorar a produção, auxiliar o trabalho do apicultor e prever eventos dentro da colmeia, ela torna-se

essencial ao trabalho preventivo e corretivo, uma vez que visa evitar e combater pragas que podem prejudicar a vida das abelhas ou até mesmo exterminá-las, como também assegurar a qualidade dos produtos oriundos delas. De acordo com Zacepins *et al.* (2015), diagnosticar doenças e ainda aquelas infecciosas, evita perder colmeias em áreas maiores. Diante do contexto de que abelhas se comportam como uma sociedade, ao monitorar uma parte delas, é possível ter conclusões sobre o andamento de toda a colônia. Segundo Zacepins *et al.* (2012), um tratamento, ao invés de ser aplicado em apenas uma abelha, é aplicado em toda a colmeia. Infere-se, portanto, que se torna um exercício mais difícil monitorar um indivíduo e aplicar correções apenas nele.

### 3.1.1.1 Fases da Apicultura de Precisão

A apicultura de precisão originou-se da agricultura de precisão. Muitos estudiosos do ramo afirmam que aquela é um sub-ramo desta. Isso se deve ao fato de suas características e objetivos serem semelhantes. Zacepins *et al.* (2012) declaram que, assim como a agricultura, a apicultura de precisão pode ser dividida em três fases, são elas: coleta dos dados, análise e aplicação.

A coleta de dados é a fase em que é feita a captura de valores relacionados aos parâmetros a serem monitorados dentro da colônia e no ambiente das abelhas. O objetivo principal desta fase, defende Zacepins *et al.* (2015), é o desenvolvimento das ferramentas para o monitoramento ininterrupto dos apiários. A fase coleta de dados é classificada por eles a nível de abelhas individuais, colônia e apiário.

A abelha individual é observada para coletar dados acerca de seu comportamento no interior e exterior da colmeia. Zacepins *et al.* (2015) declaram que, por meio do monitoramento de vídeo, é possível observar a entrada e saída de abelhas, indicando força e condição da colônia. Dentre as funções que podem ser utilizados por esse método de coleta citado por eles, está a contagem de abelha que permite tirar diversas conclusões acerca do comportamento dessas abelhas.

A coleta a nível de colônia engloba um maior número de parâmetros a serem observados quando comparados a outros níveis. Isso é demonstrado no trabalho de Zacepins *et al.* (2015) em que eles destacam a temperatura, som, peso, vibrações e gases como parâmetros capazes de inferir acerca de estados da colônia como o comportamento das abelhas, morte, estados de pré-enxame e etc.

A coleta a nível apiário visa monitorar tanto as colmeias, como também sua área ao redor. Diferente da coleta a nível de colônia, que observa as colmeias de forma individual, na nível apiário é relevante observar o ambiente dessas colmeias como um todo, além das áreas próximas do apiário. Zacepins e Stalidzans (2013) afirmam que, tecnologia de vídeo é uma opção que pode ser adotada para a observação do apiário. Zacepins *et al.* (2015) citam parâmetros físicos como chuva, vento e luz. Eles ressaltam a possibilidade de uma cooperação da observação a nível apiário com a coleta a nível colônia.

Análise dos dados obtidos pela coleta de dados é a segunda fase da apicultura de precisão e se resume a observar os dados e interpretá-los para que se possa chegar a uma decisão e posteriormente a uma ação. É a fase crucial na apicultura de precisão, pois uma interpretação incorreta implica diretamente em uma ação incorreta, podendo trazer consequências e prejuízos graves à produção e saúde das abelhas. Zacepins *et al.* (2015) afirmam que detectar estados críticos da colônia é o resultado mais esperado e importante na parte de análise dos dados. Morte de colônia, enxameamento, colônia sem ninhada, sem rainha e fluxo do néctar, são exemplos desses estados citados por eles. Devido à complexidade dessa análise, busca-se auxílio para a sua interpretação através do uso de softwares. Zacepins *et al.* (2015) reiteram a existência de sistemas de apoio à decisão, do inglês *Decision Support System* (DSS), e afirmam que esses sistemas são capazes de análise e interpretação automatizada dos dados coletados. Os sistemas especialistas são também *softwares* que segundo eles tem por objetivo utilizar decisões de especialistas na área específica.

A aplicação constitui na última fase e ela é feita a partir da coleta de dados, análise, interpretação e decisão destes. Essas ações podem ser corretivas ou preventivas. Zacepins *et al.* (2015) reiteram que essas ações são exclusivamente manuais devido ao trabalho apícola ser realizado de forma manual, apesar de os autores apresentarem trabalhos em que são desenvolvidos dispositivos que realizam ações automáticas.

### **3.2 Internet das Coisas**

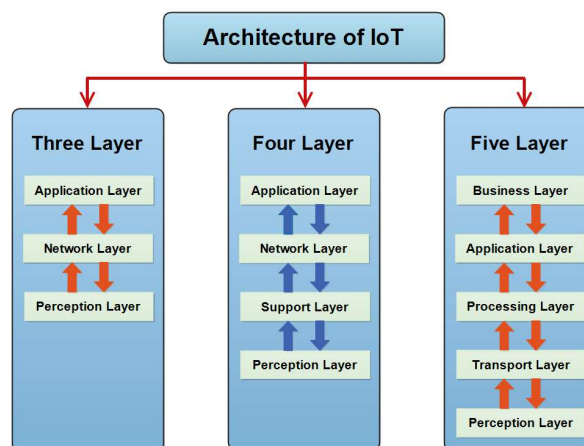
Internet das coisas é definida por Madakam *et al.* (2015) como uma rede que tem sobre o seu domínio um conjunto de objetos que se auto-organizam, compartilham informações, dados, recursos e são automatizados para reagir a mudanças. Em uma visão mais simplificada, a partir desse conceito é possível descrever o objetivo do IoT. Antes eram conectados à rede apenas dispositivos como computadores de mesa, notebooks, smartphones ou dispositivos móveis, agora,

com o surgimento dessa nova revolução tecnológica, interconecta-se novos objetos ou coisas presentes no nosso dia a dia, por exemplo, lâmpadas, roupas, alimentos, animais de estimação e etc. Logo, o objetivo do IoT é, de certa forma, informatizar tudo ao seu redor. Isso pode ser percebido na declaração de Leite *et al.* (2017) onde afirmam que o IoT tem o objetivo de interligar dispositivos de uso diários, automatizando o nosso cotidiano por meio de um dispositivo móvel.

O termo foi utilizado inicialmente por Kevin Auston em 1999, que segundo Leite *et al.* (2017), realizou uma pesquisa para utilizar etiquetas de identificação por rádio frequência, ou *Radio-Frequency-Identification* (RFID), em uma cadeia de produção. O RFID é uma espécie de identificação que faz uso de ondas de rádio frequência. Foi uma tecnologia utilizada também na segunda guerra mundial para identificar alvos inimigos. A tecnologia é classificada por Madakam *et al.* (2015) como ativo, passivo e semi-passivo. Ainda hoje o RFID é um componente importante na composição do IoT, tendo sua participação significativa na identificação dos objetos e segurança.

Não existe uma arquitetura padrão e universal definida na tecnologia IoT, entretanto, é possível observar arquiteturas propostas em determinados estudos e entender parcialmente como funciona a tecnologia. Burhan *et al.* (2018) apresentam três arquiteturas distintas com um número de camadas diferentes. A primeira, que é a mais simples, possui três camadas, enquanto a segunda acrescenta mais uma e a terceira adiciona uma quinta camada que, de acordo com os autores, tem o objetivo de atender a requisitos de segurança e privacidade. A Figura 2 apresenta as três arquiteturas declaradas pelos autores.

Figura 2 – Três propostas de arquiteturas IoT.



Fonte: (BURHAN *et al.*, 2018).

A primeira arquitetura, mais básica, é composta por três camadas. Iniciando da



camada física para a mais lógica, a primeira camada denominada de percepção, na qual pode ser chamada de camada física, tem por objetivo coletar dados por meio de sensores. A escolha destes sensores vai depender do que precisa ser coletado. Por exemplo, sensores climáticos, vibrações, gases, medicinais e etc. A camada de rede é a segunda que compõe a arquitetura básica, fica intermediária entre a camada física e de aplicação. Ela pode ser nominada de comunicação, pois é responsável por transmitir os dados coletados pelos sensores para o nível mais lógico da aplicação. Burhan *et al.* (2018) afirmam que a forma de transmissão desses dados pode ser com ou sem fio. Já a parte de aplicação, que fica ao topo de arquitetura, visa apresentar dados aos clientes, como também uma espécie de gerenciamento do usuário. Essa camada é composta por aplicativos que oferecem uma interface ao usuário para maior facilidade e interatividade no seu objetivo.

As demais arquiteturas herdam também as camadas presentes na arquitetura básica. O que as diferenciam é a adição de mais camadas. A arquitetura de quatro camadas apresentada por Burhan *et al.* (2018) tem a adição da denominada camada de suporte. Segundo os autores, ela tem por objetivo autenticar usuários e suas informações e proteger contra ameaças, acrescentado assim uma segurança maior na tecnologia. Essa camada fica intermediária entre a física e a de comunicação. A terceira e última arquitetura possui duas camadas a mais se comparada com a quantidade da arquitetura básica. Além das três que já foram herdadas, é adicionada a de processamento e negócios. De acordo com os autores, a de processamento tem a responsabilidade de retirar a carga útil. Ela faz uma espécie de extração de uma enorme quantidade de dados recebidos da camada de comunicação e envia para a próxima apenas o que é necessário não afetando o desempenho da tecnologia. Ressalta-se que ela é uma camada intermediária entre a aplicação e comunicação. A quinta camada da terceira arquitetura está acima da camada de aplicação, ainda conforme os autores, ela tem por responsabilidade manter a privacidade do usuário e gerenciar a aplicação e as informações. Apesar de não existir uma arquitetura universal para o IoT, como foi citado acima, a análise dessas três traz consigo uma visão parcial a baixo nível de como funciona ela funciona, ainda mais com a descrição resumida do objetivo de cada uma.

O IoT abrange diversas possibilidades de implementação, desde a solução de uma necessidade pessoal até a aplicação no ramo econômico. Ela pode ser implementada em diversos ambientes como residencial, industrial, objetos moveis como veículos, áreas urbanas e rurais. O IoT em si, utiliza diversas tecnologias, segundo Leite *et al.* (2017), uma grande parte delas é

a rádio e sem fio. Por exemplo, *ZigBee*, *Bluetooth*, *Wireless Fidelity* (Wi-fi), *Wireless Sensor Network* (WSN) e etc. A maioria delas são de baixa largura de banda, baixo consumo energético e curto alcance. Entretanto, existem opções capazes de serem utilizadas para longo alcance, dentre elas podemos citar SigFox e LoRa. O uso de sensores e tecnologias de comunicação sem fio faz do IoT uma alternativa de implementação na apicultura de precisão. Zacepins *et al.* (2012) reiteram que uma das pré-condições para o desenvolvimento da apicultura de precisão é a utilização de tecnologias sem fio.

### 3.3 LoRa

LoRa é definida por Alliance (2015) como uma tecnologia sem fio, baseada no espectro espalhado chip, utilizada para criação de conexões de longo alcance. Pertencente ao grupo de tecnologias de rede de longa distância e baixa potência, em inglês *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), ela é ideal para implementações que necessitam transmitir poucas quantidades de dados.

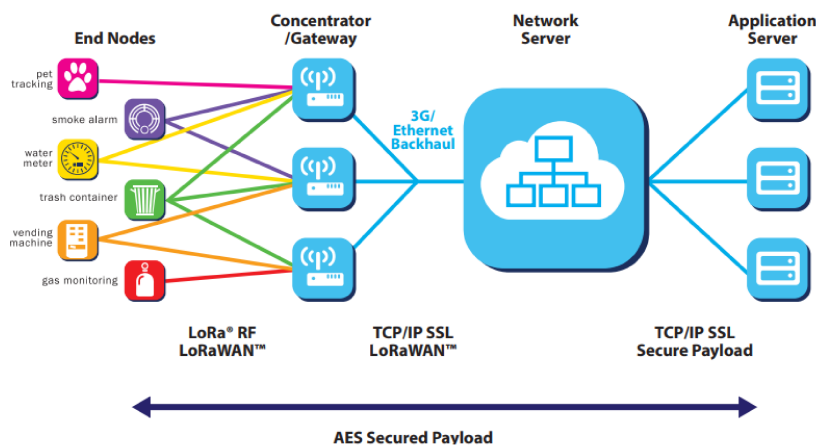
O LoRa se sobressai em relação a algumas tecnologias no que diz respeito a aspectos como consumo energético e distância. Devalal e Karthikeyan (2018) comparam no seu artigo as principais vantagens da tecnologia sobre as outras. Por exemplo, segundo os autores, o LoRa apresenta um consumo de energia menor ao ser comparado com a rede celular e *Zigbee*, e uma distância de comunicação maior quando comparada com uma rede Wi-fi comum. O ganho energético da tecnologia é consequência de adotar um funcionamento assíncrono nos dispositivos finais, eles iniciam uma comunicação somente se tiveram carga de dados para enviar. De acordo com Devalal e Karthikeyan (2018), a tecnologia LoRa adota o método ALOHA, que consiste em enviar um quadro apenas quando tem dados para serem transmitidos e com uma função de retransmissão em caso de dados perdidos. Já a questão da vantagem acerca da área de cobertura do LoRa é novamente defendida por Devalal e Karthikeyan (2018), eles afirmam que ela tem uma taxa de dados que é quatro vezes maior em cima da modulação de chave de mudança de frequência, em inglês *Frequency-Shift Keying* (FSK), utilizada em outras tecnologias.

Uma outra vantagem relativamente significativa do LoRa é a de operar em largura de banda livre, fato este que pode propiciar uma redução de custo na sua implementação. Segundo Yim *et al.* (2018), as frequências utilizadas no continente europeu são de 169, 433 e 868 Mhz, enquanto na região norte americana é de apenas 915 Mhz, a mesma utilizada no Brasil. Essas inúmeras vantagens fazem com que a tecnologia LoRa seja uma alternativa de escolha quando

se deseja implantar infraestruturas de comunicação de longas distâncias. Oliveira *et al.* (2018) reiteram que a tecnologia é apropriada para aplicações IoT.

Dentre os elementos que compõem a rede LoRa, quatro são destacados por Devalal e Karthikeyan (2018), são eles: dispositivos finais, *gateways*, servidor de rede e aplicativos. A Figura 3 apresenta uma arquitetura da rede LoRa.

Figura 3 – Arquitetura de Rede LoRaWAN.



Fonte: (ALLIANCE, 2015).

Os nós finais são compostos de sensores que tem por objetivo capturar dados ou dispositivos que esperam alguma ordem do usuário para realizar uma ação como, por exemplo, um comando para apagar a luz do ambiente e um para medir a temperatura local a cada uma hora e enviar o valor para o dispositivo móvel do usuário. Já o *gateway*, é um intermediador entre os nós finais e o servidor de rede, ele é responsável por receber dados dos nós e enviar ao servidor de rede. Segundo Zinas *et al.* (2017), o dispositivo é capaz de operar em até 8 frequências, podendo ouvir dois nós com SF distintos. O servidor de rede tem uma função de tratamento de dados. Após receber os dados oriundos dos *gateways*, estes são passados por análises de segurança e correção de erros, entre outras etapas, e então são enviados ao servidor de aplicação que apresenta os dados ao usuário.

Yim *et al.* (2018) declaram que as configurações físicas do LoRa influenciam do seu desempenho. Essas configurações incluem SF, BW e o CR. O SF é definido por Bor e Roedig (2017) como a razão entre a taxa de modulação, responsável por definir quantos chips são transmitidos a cada segundo, com a de símbolos. Um valor maior traz melhorias na sensibilidade e alcance, porém, interfere negativamente aumentando o tempo da transmissão. O valor de SF

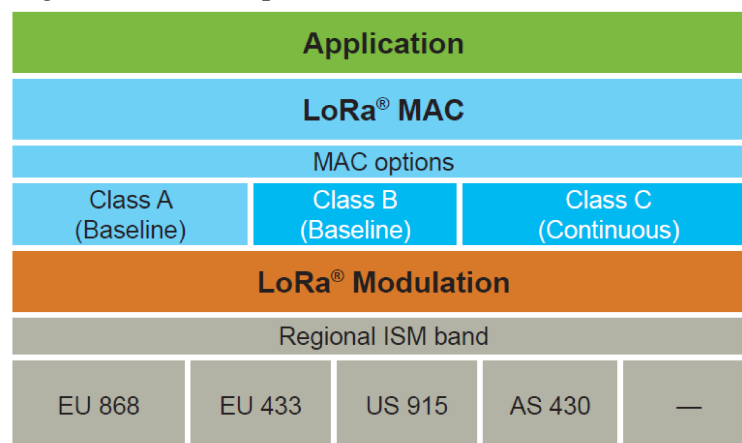
pode ser configurado entre 6 a 12. Quanto maior o valor, maior o alcance e sensibilidade, em contrapartida, maior tempo na transmissão. O BW define faixas de frequência na transmissão que podem ser configuradas em um valor de 125 a 500 KHz. O valor de BW implica diretamente no SF, uma frequência maior resulta em SF menor e vice-versa. Já o CR, de acordo com Yim *et al.* (2018), é a recuperação dos dados perdidos durante a transmissão devido à interferência. O objetivo é oferecer confiabilidade, entretanto, implica negativamente no tempo de transmissão e no consumo de energia.

Apesar de descrever apenas esses três parâmetros, é importante delinear acerca da potência de transmissão. No LoRa, essa potência pode ser ajustada de -4 a 20 dBm. O único ponto negativo no aumento da potência de transmissão é o aumento do consumo energético.

### 3.3.1 LoRaWAN

*Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) é um protocolo atuante sobre a camada física do LoRa e segundo a Alliance (2022), foi criado para redes LPWAN e visa conectar objetos sem fio, alimentados por baterias. Seu principal objetivo é cumprir os requisitos da internet das coisas. De acordo com Machado (2021), ele tem como base a especificação IEEE 802.15.4 e possui características de comunicação entre *gateways* e dispositivos de ponta, segurança e qualidade de serviço.

Figura 4 – Pilha de protocolo LoRaWAN.



Fonte: (PARK *et al.*, 2017).

Na Figura 4, é possível visualizar as camadas da pilha de protocolo LoRaWAN. A quarta camada apresenta as classes definidas pelo protocolo para nós finais com requisitos distintos. É interessante destacar também as frequências descritas na última camada que varia

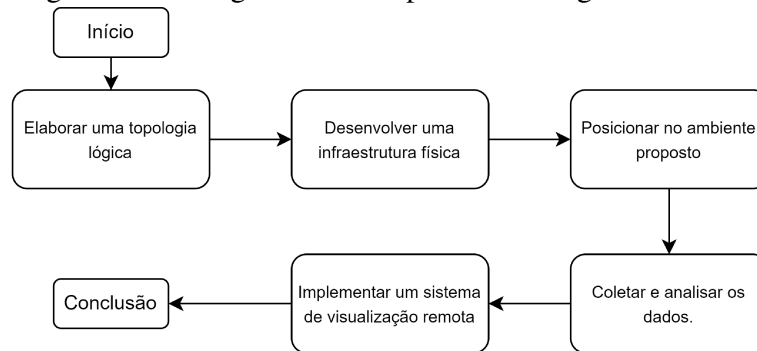
para cada continente. Os nós finais são definidos e subdividem-se no protocolo em três classes: A, B e C. A classe A possui uma comunicação bidirecional, enquanto a B adquire as mesmas propriedades da classe anterior, porém conta com slots de recebimentos *downlink* adicionais, e a última classe, classificada como C, segundo Devalal e Karthikeyan (2018), diferencia-se das demais por manter os slots de recepção abertos o tempo todo, fechando apenas quando faz comunicação *uplink*. Os autores afirmam que essa classe é a que mais consome energia.

O LoRa traz consigo a possibilidade de ser implementado em diferentes cenários como regiões urbanas, rurais, rede elétrica, residenciais, automobilístico e etc. As vantagens de baixo consumo energético e longo alcance fazem da tecnologia uma alternativa viável para a implantação em ambientes rurais remotos, com ausência de fonte de energia ou sem cobertura de rede como, por exemplo, uma rede celular.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo é descrita a metodologia proposta neste trabalho. A metodologia é dividida em etapas e devem ocorrer sequencialmente. Isso significa que a não conclusão ou insucesso de uma etapa implicam diretamente no início de outra. Precisamente, ela subdividi-se em dois períodos: o primeiro é a parte que envolve a avaliação de desempenho e o segundo está voltado para a conexão da infraestrutura e implementação de um sistema de monitoramento e visualização remota ao usuário. Na Figura 5 é possível visualizar as etapas e a sequência em que foram propostas.

Figura 5 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.1 Elaborar uma topologia lógica

Essa é a primeira etapa de início dos procedimentos metodológicos. O objetivo é elaborar uma topologia lógica que servirá de base para o desenvolvimento e implementação de toda a infraestrutura física e envolve a parte da forma de comunicação, configuração e desenvolvimento de algoritmos para a aplicação nos componentes. Essa arquitetura deve abranger desde a parte física até a parte de conexão ao servidor.

### 4.2 Desenvolver a arquitetura física

Essa etapa está dividida em 2 momentos: No primeiro será feita a escolha dos componentes que serão delegados para a função de comunicação, controle e coleta dos dados usando como base a topologia elaborada na etapa anterior. Algumas premissas devem ser consideradas no momento da escolha como por exemplo, custo, facilidade de implementação, entre outros. No segundo momento, são realizados testes individuais em cada um dos componentes escolhidos e

seu objetivo é verificar se o funcionamento está dentro do previsto de acordo com sua função encarregada. Após isso, é iniciada a integração dos componentes formando um dispositivo onde serão realizados novos testes em que se pretende verificar a interferência no funcionamento integrado. O intuito também é detectar erros e irregularidades que podem passar despercebidos nas etapas anteriores. Finalizada a primeira etapa dos testes, pretende-se começar o desenvolvimento dos protótipos no qual os dispositivos agora devem ser preparados para testes e instalação no ambiente externo.

### **4.3 Posicionar no ambiente proposto**

A execução desta etapa tem o intuito de implantar a infraestrutura desenvolvida no ambiente em que se pretende realizar os experimentos. Destaca-se que, assim como foi proposto, deve ocorrer em um ambiente de produção apícola tradicional, com a presença de vegetação e abelhas. Logo, o ambiente escolhido localiza-se na zona rural da cidade de Pedra Branca, no estado do Ceará, com vegetação predominante da caatinga. Será escolhida uma colônia para posicionar o dispositivo da forma menos invasiva possível e a uma distância fixa do dispositivo concentrador. Os demais componentes devem obedecer aos limites máximos de comunicação estipulados nos testes como também aos de proteção e segurança no ambiente em que foram implantados.

### **4.4 Coletar e Analisar os dados**

Aqui é realizada a etapa envolvendo a avaliação de desempenho da tecnologia. Necessariamente ela será composta de experimentos distintos em que serão utilizados valores diferentes nos parâmetros físicos. Ao mesmo tempo, será efetuada a coleta de dados utilizando as métricas que foram escolhidas. Após os dados serem coletados, esses dados devem passar por tratamentos envolvendo cálculos estatísticos para facilitar a interpretação. A análise deverá ser feita com o auxílio de gráficos e comparações entre os resultados dos diferentes experimentos. O resultado dessa análise deve concluir e inferir a respeito do desempenho da tecnologia no ambiente e condições em que foi aplicada.

#### **4.5 Implementar um sistema de visualização remota**

Concluindo a parte metodológica, essa última etapa tem o propósito de conectar a arquitetura física ao servidor remoto e desenvolver um sistema de visualização dos dados pelo usuário que possibilite a consulta de dados já armazenados e uma tela de apresentação interativa. Será preciso escolher uma plataforma de hospedagem com sistema de gerenciamento e armazenamento de banco de dados. Alguns critérios de busca podem ser considerados como, por exemplo, o custo e a facilidade de implementação.



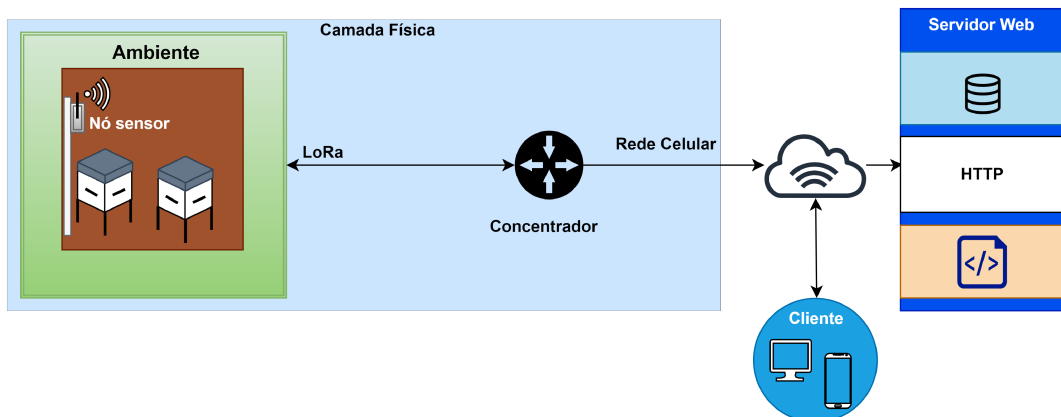
## 5 RESULTADOS

Este capítulo descreve a realização das etapas metodológicas propostas na metodologia, como também apresenta os resultados obtidos ao final da realização dessas etapas.

### 5.1 Elaboração da topologia lógica

A tecnologia LoRaWAN baseia-se na topologia estrela, assim afirmam Devalal e Karthikeyan (2018). Essa topologia utiliza um concentrador que faz o gerenciamento do fluxo da rede entre os nós; no LoRa, esse dispositivo gerenciador é o *gateway*. Entretanto, devido ao elevado custo de aquisição desse componente e a elaboração de um protótipo que faz o mesmo papel do *gateway* não propiciar uma comunicação de dados bidirecional entre sensor e concentrador, tornou-se inviável a aplicação desse tipo de topologia nesta arquitetura. Apesar de a implementação dessa topologia ser o mais aconselhado, Machado (2021) afirma que o LoRa possibilita o uso de diversas outras topologias, dentre elas, a de ponto a ponto, do inglês *Peer-to-peer*. Essa topologia se caracteriza como um conjunto de nós que pode desempenhar o papel tanto de servidor, como de cliente, exercendo uma atividade de cooperação dentro da rede. Ela se mostrou satisfatória para a implementação e execução dos experimentos que foram propostos por oferecer uma alternativa de comunicação bidirecional. A Figura 6 descreve visualmente a arquitetura desenvolvida para o trabalho.

Figura 6 – Arquitetura proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pôde ser observado, uma colônia possui um nó sensor posicionado que se comunica diretamente com um nó concentrador utilizando a tecnologia LoRa. Para se comunicar via internet com um servidor externo, é usada a rede celular. Por fim, o servidor disponibiliza uma

aplicação web que o cliente deve utilizar para observar os dados capturados na colônia. Porém, é necessário destacar que a observação de desempenho da tecnologia é feita apenas na camada física da arquitetura desenvolvida, neste caso, é formada por dois dispositivos semelhantes, a única diferença é a função de cada um dentro da rede, são esses:

- **Nó concentrador:** É responsável por enviar requisições ao nó sensor. Basicamente, no momento da avaliação, ele tem o objetivo de fazer três tipos de solicitações, as de pacotes, as de informações de configuração do módulo LoRa e as de solicitação de aplicação de mudança no parâmetro de físico no módulo do nó sensor. Na Arquitetura final, ele teve o objetivo de somente solicitar pacotes com informações climáticas e fazer o tratamento dessas informações para logo em seguida enviar ao servidor para apresentar ao usuário.
- **Nó sensor:** Responde a requisições do nó concentrador. No momento da avaliação do desempenho, é responsável por enviar pacotes de informações de configurações e pacotes para observação das métricas no lado receptor. Também atenderá a requisições de mudança de parâmetros. Na arquitetura final, ele fica responsável apenas por responder às requisições de consulta de valores climáticos.

Um outro motivo e não menos relevante para a escolha desse tipo de topologia foi a necessidade de evitar estresse nas abelhas. Para realizar testes com variações nas configurações físicas da tecnologia, era necessário modificar seus valores individualmente em cada dispositivo, logo, o manuseio repetitivo do nó sensor após instalado na colônia resultaria em momentos de estresse contínuo às abelhas. Com a utilização de requisições e comunicação bidirecional, esse problema foi contornado.

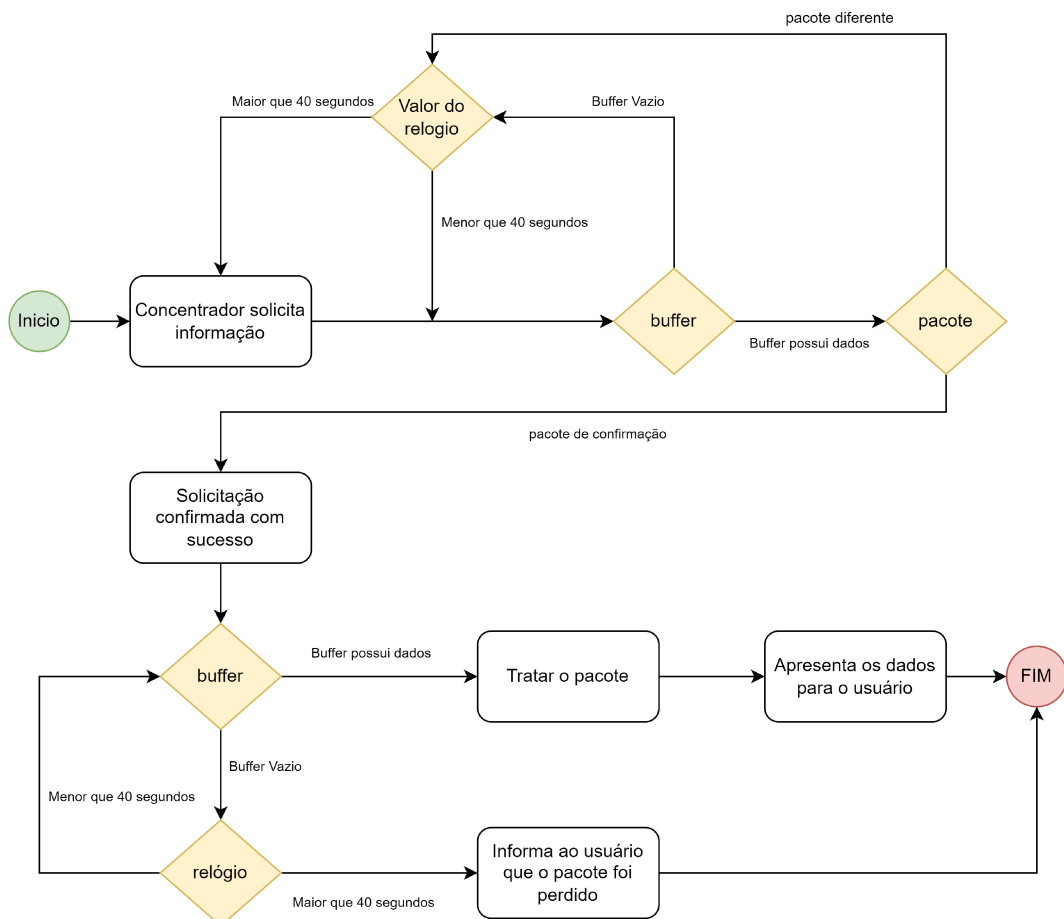
### 5.1.1 Aplicação dos dispositivos

Para que fosse possível executar as atribuições designadas para cada dispositivo, foi necessário fazer a aplicação de funções desenvolvidas utilizando a linguagem de programação C++ em uma *Integrated Development Environment* (IDE). Foram aplicadas também aproveitando as propriedades da linguagem, uma padronização de pacotes de acordo com cada necessidade.

Considerando a etapa de observação de desempenho, essas funções foram aplicadas nos dispositivos com o intuito de consultar informações e alterar valores dos parâmetros físicos. A primeira função tinha por objetivo consultar dados a respeito das configurações aplicadas ao dispositivo sensor. O concentrador faz a requisição de um pacote ao sensor que logo é respondido. Porém, diante da possibilidade de perda de pacotes, foi utilizada uma espera de

resposta não infinita ao lado do concentrador que faz a solicitação e a consulta da chegada de dados ao *buffer* por 40 segundos. Caso apresente dados dentro do tempo estimado, é feita uma verificação do tipo de pacote recebido, se este pacote não for o de confirmação, ele é descartado e o concentrador volta a fazer as verificações. Estourado o tempo, uma nova solicitação é reenviada até que se obtenha sucesso. Obtido êxito, o concentrador volta a verificar a chegada de um segundo pacote contendo as informações solicitadas, se ultrapassados 40 segundos e este pacote não estiver chegado, ele o considera como perdido e informa ao usuário via monitor serial. Em contrapartida, em caso de recepção, o pacote é tratado e as informações são apresentadas ao usuário. É necessário ressaltar que só é considerada a chegada do segundo pacote após a confirmação da solicitação, ou seja, caso o pacote de confirmação tenha sido perdido, a recepção do segundo é descartada. Todo esse processo pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Processo de requisição e consulta de configuração do lado sensor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Levando em conta o formato dos pacotes aplicados neste processo, foi utilizado apenas um formato para os três pacotes trocados. O primeiro, ao lado concentrador, tem por

objetivo fazer a solicitação, enquanto o segundo, que é enviado do lado sensor, tem o objetivo de confirmar que a solicitação foi recebida, e o terceiro, que também é enviado do lado sensor, contém os dados solicitados. Estes pacotes são do tipo estrutura, em inglês *Struct*, que consiste em uma espécie de variável que possibilita agrupar um diversificado tipo de dados. Com isso, é possível implementar dois tipos de dados diferentes. A Tabela 2 visa apresentar os tipos de dados e o identificador das variáveis aplicadas à estrutura.

Tabela 2 – Estrutura dos pacotes de consulta de configuração.

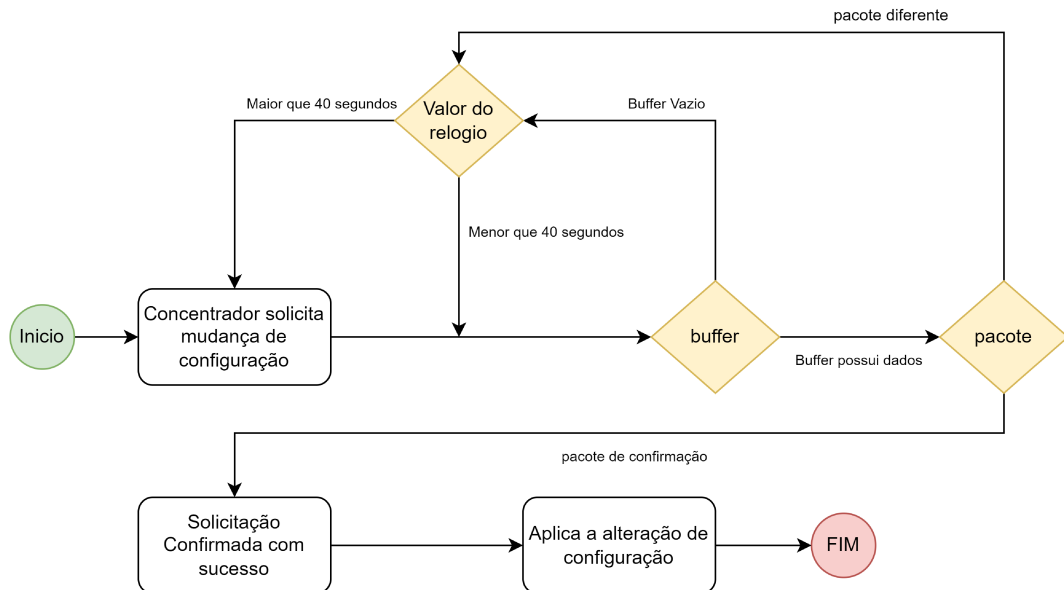
<b>TIPO DE DADO</b>	<b>VARIÁVEL</b>
byte	function
uint_8t	parâmetro

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira variável tem por objetivo auxiliar o dispositivo sensor no tipo de solicitação que foi recebida. A segunda variável é utilizada para armazenar o valor da configuração consultada. No pacote de solicitação enviado pelo lado concentrador, a variável é declarada como vazia, sendo que apenas a variável identificadora possui valor. O mesmo acontece com o pacote de confirmação que é enviado pelo sensor. Já no terceiro pacote, que contém os dados consultados, ambas as variáveis possuem valores. Cada um desses pacotes têm um tamanho máximo de apenas 2 bytes.

A segunda função aplicada teve o objetivo de solicitar a alteração de um valor de configuração no lado sensor. Ela aplica um processo semelhante ao de consulta, porém, envia juntamente com a solicitação o novo valor a ser aplicado e aguarda a recepção do pacote de confirmação por um tempo máximo de 40 segundos, reenviando-o em caso de não recepção após o tempo máximo. No lado sensor, o pacote de confirmação é enviado antes de aplicar a alteração para que seja possível a recepção no lado concentrador. É importante destacar também que, após receber a confirmação de entrega de pacote, o concentrador também modifica o valor de sua configuração, com isso, não será preciso alterar o valor manualmente. A Figura 8 descreve de forma visual o processo citado.

Figura 8 – Processo de requisição e alteração do parâmetro de configuração do lado sensor.

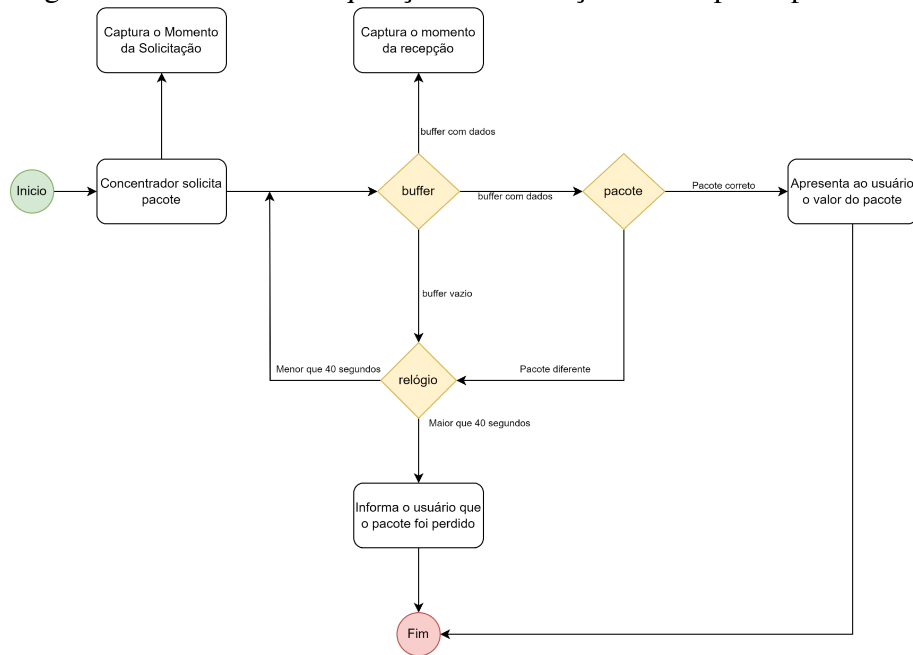


Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito ao formato do pacote utilizado nesse processo, foi aplicado também um pacote do tipo estrutura exatamente igual ao do processo anterior. A diferença está no conteúdo da solicitação e na quantidade de pacotes trocados. Inicialmente, nessa solicitação, o concentrador aplica valores em ambas as variáveis, sendo que a segunda vai possuir o novo valor que é aplicado na configuração ao lado do sensor. Logo após a recepção, o sensor envia um pacote de confirmação equivalente ao utilizado no processo anterior.

A terceira função, ainda voltada à questão de avaliação de desempenho, tem por objetivo solicitar pacotes para observação das métricas informadas na Tabela 1. Entretanto, para observar o tempo resposta e as outras duas métricas, foi necessário utilizar processos diferentes. Na observação de tempo resposta, foi aplicada uma função mais simples que descarta o uso de um pacote de confirmação. Neste caso específico, o concentrador será responsável por fazer a requisição de um pacote e o momento desta requisição é capturado pelo relógio no monitor serial da IDE. Após isso, o *buffer* de recepção é verificado até o tempo máximo de 40 segundos. Extrapolado esse tempo, o pacote é considerado perdido, porém, se houver dados no *buffer*, o momento da recepção é capturado e posteriormente é verificado se é o pacote esperado, se for um pacote incorreto, o *buffer* e o tempo voltam a ser consultados, caso contrário, ele é apresentado para o usuário e assim o tempo resposta pode ser analisado. Todo esse processo é visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Processo de requisição e observação do tempo resposta.

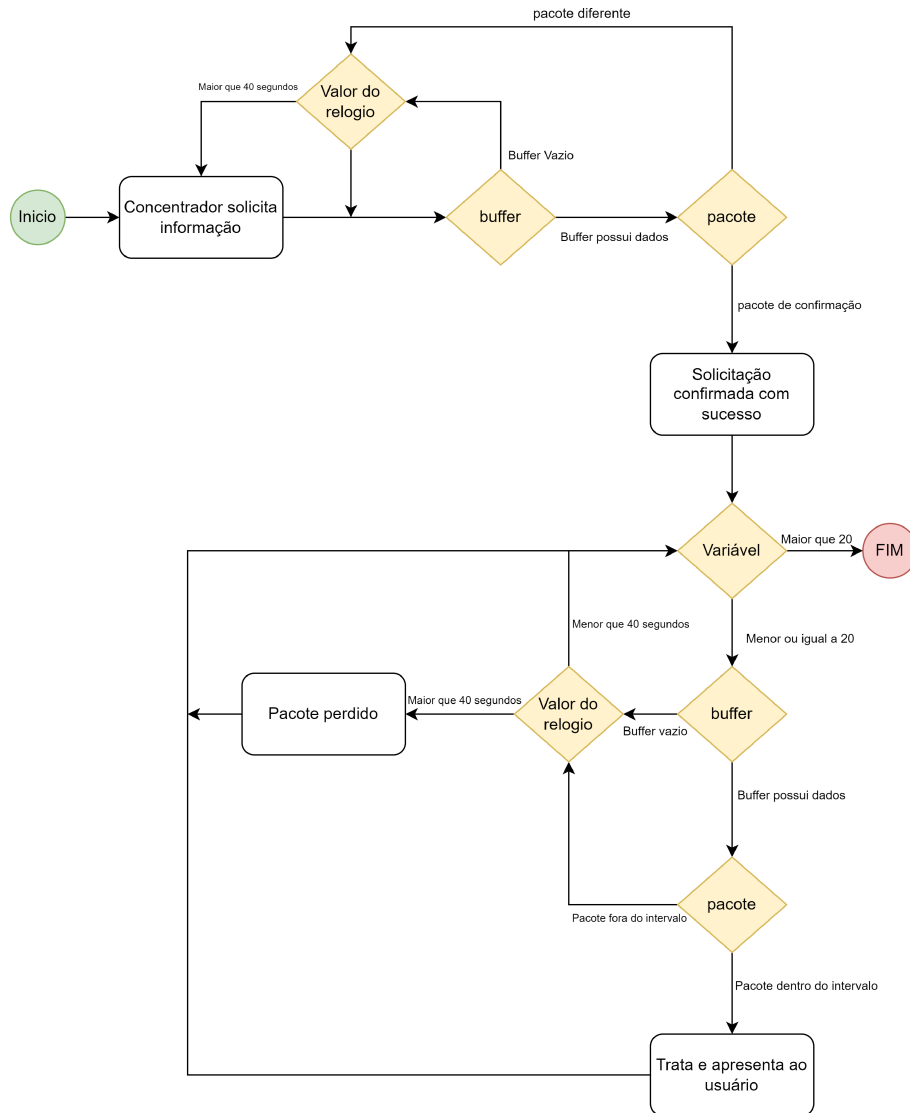


Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste processo foram aplicados dois formatos de pacotes em que a requisição utiliza uma estrutura semelhante a da Tabela 2 e somente a primeira variável é valorada. Já o pacote de resposta é bem mais simples, ele é apenas uma variável do tipo *String*, do tamanho de 8 *bytes*.

A função de observação do PDR e integridade dos dados é mais complexa que a anterior, pois ela faz uso do pacote de confirmação e espera a chegada de 20 pacotes sequenciais após a confirmação. O processo de solicitação e confirmação é semelhante com as funções anteriores, porém, para a chegada dos 20 pacotes seguidos, foi necessário criar uma interação que aguarda o tempo máximo de 40 segundos para cada pacote. A interação possui uma variável com um intervalo máximo. Na chegada de um pacote, é verificado se este pacote está dentro do intervalo de 20 pacotes, caso a condição seja satisfeita, o pacote é tratado e apresentado ao usuário e é somado mais um na variável da interação, caso contrário, o pacote é descartado e a interação volta a verificar o *buffer* e o tempo. Se tiver extrapolado o tempo, o pacote será considerado perdido e é acrescentada a variável. A Figura 10 apresenta o processo descrito.

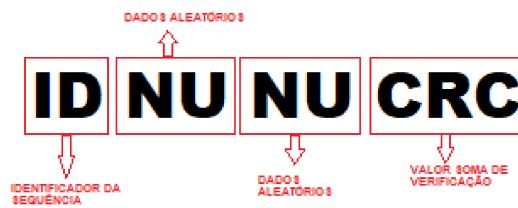
Figura 10 – Processo de requisição e obtenção de pacotes recebidos para observação do PDR e integridade dos dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pacotes aplicados para solicitação e confirmação são semelhantes aos aplicados nas funções anteriores. Porém, o formato aplicado nos 20 pacotes que o concentrador deve receber é um conjunto de caracteres do tipo *String*, que é estruturado em três partes distintas. A Figura 11 descreve como é dividida a estrutura aplicada no conjunto de caracteres.

Figura 11 – Estrutura do pacote para observação do PDR e integridade dos dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira parte da estrutura é utilizada para identificação do pacote da sequência e ocupa dois dígitos, na segunda e terceira partes, que ocupam um total de quatro dígitos, são armazenados dados aleatórios criados antes do envio do pacote. Por fim, a última parte ocupa três dígitos, onde é acrescentado o valor da soma de verificação dos seis primeiros dígitos, e é usada para identificar a integridade dos dados recebidos no momento da recepção.

Na arquitetura final, foram utilizados recursos desenvolvidos anteriormente na parte da avaliação de desempenho, logo, foi elaborada uma espécie de protocolo que aproveitava esses recursos. Assim como na aplicação anterior, os dispositivos físicos são capazes de realizar uma comunicação bidirecional. Com isso, o concentrador é capaz de requisitar informações de umidade e temperatura ambiente ao nó sensor a cada uma hora. Ao fazer a solicitação desses dados, o concentrador aguarda por quarenta segundos a confirmação dessa requisição, voltando a requisitar caso não ocorra. Após a confirmação, o concentrador espera a chegada do pacote contendo as informações solicitadas e ao ocorrer essa recepção, o pacote passa por uma soma de verificação de erros. Caso as duas últimas condições sejam válidas, as informações são tratadas e enviadas ao servidor para posterior visualização, caso contrário, o dispositivo volta a fazer uma nova solicitação até que todas as condições sejam válidas. A Figura 12 apresenta visualmente o processo.



Figura 12 – Processo de requisição, tratamento e envio das informações climáticas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito ao formato dos pacotes aplicados nesse processo, dois diferentes foram utilizados. O primeiro formato de pacote é constituído de um conjunto de caracteres, sendo usado nas solicitações e respostas entre concentrador e sensor. Em especial, o pacote enviado pelo sensor contendo as informações climáticas possui treze caracteres e um tamanho total de 6 bytes. Esses caracteres podem ser divididos em grupos que têm objetivos distintos.

Figura 13 – Formato do pacote com informações climáticas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado por meio da Figura 13, o formado do pacote é dividido em cinco grupos: o primeiro visa identificar o tipo de pacote da comunicação; o segundo identifica o dispositivo sensor de origem da informação, este torna-se útil caso sejam adicionados mais dispositivos sensores na topologia; no terceiro e quarto grupos estão os valores de temperatura e umidade, respectivamente. O quinto e último possui o valor da soma de verificação calculado

dos dados.

O segundo é utilizado no envio dos dados ao servidor. O formato aplicado é do tipo *JavaScript Object Notation* (JSON), que consiste em um padrão de troca de informações entre sistemas e utiliza valores-chaves para armazenar informações, facilitando tanto a compreensão de linguagem de máquina, como a humana, gerando ainda arquivos de tamanho reduzido. A Figura 14 apresenta a estrutura do pacote JSON aplicado para envio das informações ao servidor.

Figura 14 – Formato do pacote JSON.

```
{  
  "colmeia": "01",  
  "temperatura": "20",  
  "umidade": "70"  
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1.2 Configuração dos dispositivos

Diante da necessidade de evitar problemas de comunicação dos dispositivos, fez-se necessário definir os valores das configurações destes. Os valores podem ser definidos em fixos e variáveis. Os fixos são aqueles que não sofreram alterações durante a avaliação do desempenho e no sistema final. Já os variáveis são aqueles que foram modificados à medida em que ocorreram as coletas dos dados para observação do desempenho.

Essas configurações foram aplicadas somente no componente de comunicação LoRa. A quantidade pode variar de componente, no entanto, as fixas comuns da tecnologia que foram definidas são a frequência de operação, o canal, o endereço lógico e a potência de transmissão. A Tabela 3 apresenta os valores definidos para as configurações citadas.

Tabela 3 – Configuração e valores fixos do componente LoRa.

<b>CONFIGURAÇÃO</b>	<b>VALOR</b>
Frequência	915Mhz
Canal	15
Endereço Lógico	1 0
Potência de Transmissão	20dBm
Bit de paridade	8NI
Taxa de Transmissão	9600
Transmissão fixa	0
Interruptor FEC	0
Modo Operacional	Normal

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também é preciso destacar configurações particulares dos componentes que não vão afetar o desempenho do mesmo como, por exemplo, o bit de paridade, a taxa de transmissão e o interruptor FEC que estão diretamente ligados às definições do protocolo atuante sobre o componente. São também outras configurações adicionais o tipo de transmissão, que consiste basicamente em quantos dispositivos estarão na comunicação, e o modo operacional, que foi definido como normal para que fosse possível uma comunicação bidirecional. O valor dessas configurações também é apresentado na Tabela 3.

As configurações variáveis são as que impactam no desempenho físico particular da tecnologia LoRa. Suas alterações afetam os dados no momento da coleta e nos resultados obtidos a partir da observação das métricas definidas. São também os parâmetros alterados no dispositivo sensor à medida que solicitado pelo concentrador. Os escolhidos são SF, BW e CR. A Tabela 4 apresenta o intervalo de valores que podem ser aplicados nessa configuração. É importante destacar que esses parâmetros têm valores fixos quando aplicados à arquitetura final.

Tabela 4 – Configurações variáveis e os intervalos de valores.

<b>CONFIGURAÇÃO</b>	<b>VALOR</b>
SF	7 a 12
BW	125 a 500 KHz
CR	4/5 a 4/6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ambas as configurações, sejam elas fixas ou variantes, foram implementadas por meio da utilização de uma biblioteca capaz de facilitar a configuração do componente, ela é

de código aberto e é denominada EBYTE<sup>1</sup>. Além desta, fez-se necessário utilizar também a biblioteca *SoftwareSerial*<sup>2</sup> para comunicação entre a placa microcontroladora e o módulo LoRa.

## 5.2 Desenvolvimento da infraestrutura física

### 5.2.1 Escolha dos componentes

Na primeira fase dessa etapa, o foco foi definir os componentes necessários para as tarefas dentro da arquitetura. Os principais critérios utilizados para a seleção desses componentes foi o de custo e benefício, como também suas dimensões, por impactar diretamente no desenvolvimento do protótipo final. Entretanto, é preciso ressaltar que tais critérios podem ser desconsiderados se determinado componente oferecer maior facilidade de instalação, configuração e precisão no seu funcionamento.

#### 5.2.1.1 Sensor coletor de dados climáticos

O primeiro componente avaliado para ser utilizado no dispositivo sensor foi um capaz de coletar o valor das variáveis ambientes escolhidas neste trabalho que são: temperatura e umidade relativa do ar. Dois sensores se mostraram favoráveis para implementação por conseguir coletar ambas as variáveis, são eles DHT11 e AM2302. A Tabela 5 descreve parâmetros obtidos por meio do *datasheet* de ambos, os quais julgamos importantes para comparação entre si.

Tabela 5 – Parâmetros do sensor DHT11 e AM2302.

PARÂMETRO	DHT11	AM2302
Faixa de medição de umidade	20 a 90%	0 a 99.9%
Faixa de medição da temperatura	0° a 50° C	-40° a 80° C
Precisão da Temperatura	± 2C°	± 1C°
Precisão da umidade	± 5%	± 2%
Dimensões	23.5 x 12 55mm	32 x 15 7mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

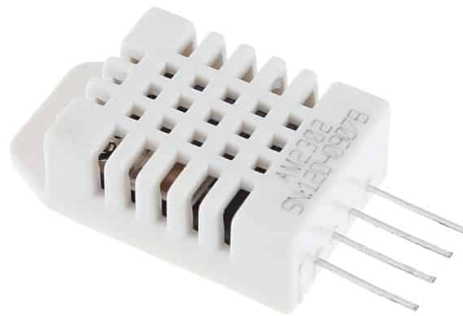
Excedendo os critérios adotados anteriormente, o sensor escolhido foi o AM2302, apesar deste sensor apresentar dimensões maiores, mesmo sendo uma diferença de poucos milímetros, e um custo de aquisição maior, com uma diferença de R\$ 35,00 a mais. O AM2302 também possui uma uma faixa de medição maior em ambos os parâmetros e uma precisão melhor

<sup>1</sup> <https://github.com/KrisKasprzak/EBYTE>

<sup>2</sup> <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial>

que o DHT11. Por fim, o componente possui um orifício com dimensão de 3 milímetros que possibilita sua instalação externo ao dispositivo sensor. Na Figura 15 é possível visualizar o sensor AM2302.

Figura 15 – Sensor de temperatura e umidade AM2302.



Fonte: MakerHero (2023).

#### 5.2.1.2 Módulo de transmissão LoRa

O módulo de transmissão LoRa é o principal componente da nossa arquitetura, ele é responsável pela comunicação entre o dispositivo sensor e o concentrador. Ambos os dispositivos utilizam um mesmo modelo para que se evite problemas de interoperabilidade na comunicação. Diante disso, escolhemos o módulo E32-915T20D, que é um componente que possui o chip microcontrolador SX1276 da Semtech e utiliza o protocolo *Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART). O dispositivo é capaz de operar no intervalo de frequência 900 a 930 Mhz e alcançar uma distância de 3 quilômetros. Mais parâmetros do componente obtidos por meio de seu *datasheet* são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros do modulo LoRa E32-915T20D.

PARÂMETRO	VALORES
Tensão de operação	2.3 a 5.2 Volts
Dimensões	36 x 21 mm
<i>Buffer</i>	512 bytes
Tamanho máximo do pacote	58 bytes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de existir outros módulos com extensões menores quando comparados ao módulo E32-915T20D, o principal motivo da escolha deste módulo foi a facilidade de implementação e por oferecer a possibilidade de configuração em um diversificado número de parâmetros, que dentre eles está a taxa de dados do ar, em inglês *Air data Rate*, que implica diretamente no valor dos parâmetros físicos. Além disso, é possível visualizar bibliotecas de código aberto disponibilizadas em comunidades de *software* livre, com o intuito de facilitar o acesso e as configurações dos parâmetros disponibilizados pelo módulo.

Outro benefício que motivou a utilização do módulo neste estudo de caso foi os modos de operação que são aplicados conforme a ligação dos pinos M1 e M0 e descritos a partir do *datasheet* do componente como:

- **Normal:** neste modo de funcionamento, o canal de comunicação do módulo fica aberto continuamente e pronto para receber ou enviar dados. É o modo que mais consome energia devido ao dispositivo estar sempre no modo espera. Para aplicar esse modo, os pinos M1 e M0 são ligados em nível baixo.
- **Wake up:** quando esse modo é aplicado em um dispositivo, antes de efetuar uma comunicação, um preâmbulo é adicionado para que possa despertar o dispositivo receptor. O pino M1 deve ser ligado a nível baixo, enquanto o M0 é ligado a nível alto.
- **Power-saving:** com esse modo, o dispositivo verifica a chegada de um preâmbulo em um determinado intervalo de tempo que é configurado pelo usuário para depois abrir o canal para recebimento dos dados do emissor. Neste caso, a transmissão de dados do dispositivo é desativada e o módulo aguarda por um início de comunicação advindo do emissor configurado no modo *Wake up*. A ligação dos pinos ocorre de maneira oposta ao modo anterior, sendo o pino M1 em nível alto e o M0 a nível baixo.
- **Sleep:** aqui os pinos M0 e M1 são ligados em nível alto, porém a emissão e a recepção de dados estão desabilitadas. O *sleep* é utilizado na configuração do módulo.

Além desses dois pinos, o módulo também possui os pinos *Transmit* (TX) e *Receive* (RX), que são usados para envio e recebimento de dados, os pinos *Voltage at the Common Collector* (VCC) e *Ground* (GND), para alimentação do módulo, e o *Auxiliary* (AUX), que é um pino que tem por objetivo indicar o status de trabalho e ativar o *Microcontroller Unit* (MCU) externo. A Figura 16 apresenta o módulo escolhido. O módulo também possui um conector fêmea do tipo *Reverse Polarity - SubMiniature Version A* (RP-SMA), algo que agradou por possibilitar a conexão de uma antena externa ao dispositivo.

Figura 16 – Módulo LoRa E32-915T20D.

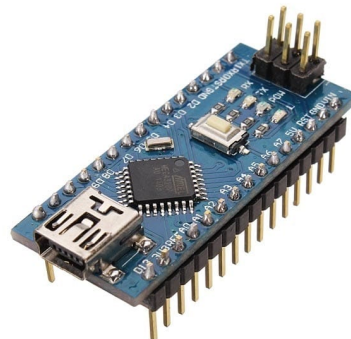


Fonte: Adaptado de Saravati (2023).

### 5.2.1.3 Placa microcontroladora

A placa microcontroladora é o componente central dos dispositivos que integram nossa arquitetura. Sua principal função é o gerenciamento dos componentes internos. Ela também fica responsável por realizar uma espécie de tratamento dos dados coletados do sensor e enviá-los ao módulo para transmissão. O Arduino é uma placa microcontroladora de código aberto que foi desenvolvida com o objetivo de implementação nos mais diversificados tipos de projetos. Ela traz consigo vantagens no custo, na disponibilidade de documentação e na facilidade de implementação. Possui diversos modelos de placas e a mais comum é a Arduino UNO R3. O modelo escolhido nos protótipos é o Arduino Nano, uma placa com função semelhante a Arduino UNO, porém, ela possui dimensões menores e é composta por um microcontrolador ATmega328. A Figura 17 apresenta a placa descrita.

Figura 17 – Arduino Nano.

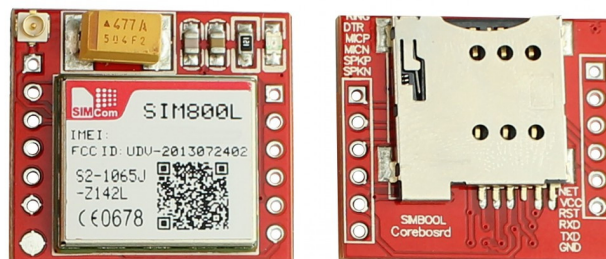


Fonte: Linkeletronica (2023).

#### 5.2.1.4 Módulo de conexão com o servidor externo

O principal objetivo deste componente é conectar toda a infraestrutura física ao servidor remoto, que é usado somente na topologia final para o envio dos dados. Para isso, escolhemos o Sim800L, que possui conexão com o *Global System for Mobile Communication* (GSM), uma tecnologia de rede celular que utiliza sinal e canal de voz digital para comunicação. O módulo é capaz de fazer e receber chamadas de voz e trocar mensagens de texto. O que torna o módulo indicado para a aplicação na arquitetura é o fato dele possuir a tecnologia *General Packet Radio Services* (GPRS), uma tecnologia cujo objetivo é integrar a telefonia móvel à internet, e também por possuir suporte ao *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), que é um protocolo do tipo requisição e resposta. Com este protocolo, o componente é capaz de enviar dados para um servidor web remoto. A Figura 18 apresenta o módulo descrito.

Figura 18 – Módulo SIM800L.



Fonte: Usinainfo (2023).

É perceptível que o módulo possui um conector IPX macho que possibilita, por meio de um cabo *pigtail*, conectar uma antena externa. Diante disso, é usada uma antena com este fim, considerando também um ganho na qualidade do sinal. A antena escolhida foi uma de 2 dBi, com conexão RP-SMA fêmea e com um comprimento de 19 centímetros.



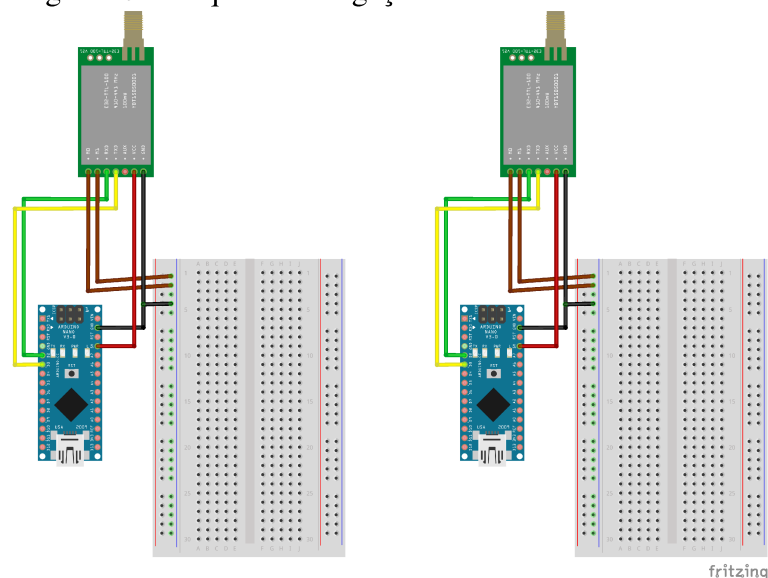
### 5.2.2 Teste de infraestrutura

No segundo período, foram realizados testes na infraestrutura proposta com o objetivo de identificar possíveis problemas antes de ser instalada no ambiente proposto. Essa análise tornou-se necessária devido ao risco de o funcionamento incorreto de um determinado componente prejudicar todo o sistema e também os resultados posteriores. Logo, os testes foram realizados de forma gradual, onde cada componente anteriormente descrito é testado individualmente e adicionado à infraestrutura. Após todos os componentes estarem interligados, formando assim um dispositivo, novos testes foram feitos, desta vez para analisar se a integração não afetou seu funcionamento e detectar erros de implementação.

#### 5.2.2.1 Testes de comunicação

O primeiro teste realizado envolve os dispositivos de comunicação, são eles: o módulo LoRa E32-915T20D e o SIM800L. O objetivo era analisar se os dispositivos se comunicavam conforme o esperado. No caso do LoRa, os módulos foram conectados a uma placa microcontroladora e foi realizada uma troca de mensagens entre si. O esquema de ligações foi projetado e aplicado com o auxílio do *software* Fritzing<sup>3</sup>, na Figura 19 é possível observá-lo.

Figura 19 – Esquema de ligação dos módulos LoRa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram utilizadas duas *protoboard*, dois cabos *Universal Serial Bus (USB)*, *jumpers*

<sup>3</sup> <https://fritzing.org/>

para conexão e a IDE oficial do Arduino para escrita e visualização das mensagens trocadas. Além disso, foram utilizadas também junto aos módulos LoRa duas antenas dipolo de 2.5 dBi com conector RP-SMA macho.

Por meio deste teste, foi possível observar o envio e a recepção das mensagens em ambos os dispositivos. A função principal na placa microcontroladora verificava constantemente a entrada de dados no monitor serial e o *buffer* de recepção do módulo, com isso, era possível escrever a mensagem a ser enviada e ler a chegada de outras mensagens. Observando as Figuras 20, é perceptível a função aplicada em ambos os lados da troca de mensagem. Também pode-se notar por meio da Figura 20(a) que o lado emissor faz o envio de uma mensagem que logo é recebida e apresentada pelo lado receptor na Figura 20(b).

Figura 20 – Troca de mensagens entre os módulos emissor e receptor.

The figure consists of two side-by-side screenshots of an Arduino IDE. Each screenshot shows a C++ code snippet in the editor and a corresponding serial monitor window below it.

**(a) Lado Emissor:** The code in the editor (lines 17-35) defines a `void loop()` function. It checks if the serial port is available (`Serial.available() > 0`). If so, it reads a character (`Serial.read()`). If the character is an asterisk (`'*' == caractere`), it prints "Emissor: " to the serial monitor, sends the current `texto` to the module (`modulo.print(texto)`), and resets `texto` to an empty string. Otherwise, it concatenates the character to `texto`. It also checks if the module is available (`modulo.available() > 0`), reads a string (`modulo.readString()`), and prints "Receptor: " followed by the received string to the serial monitor.

The serial monitor output shows:
 

```
20:26:54.685 -> Emissor:
20:26:54.685 -> Teste Sensor Para Receptor
20:27:15.021 -> Receptor:
20:27:15.021 -> Teste Receptor Para Sensor
```

**(b) Lado Receptor:** The code in the editor (lines 16-35) defines a `void loop()` function. It checks if the serial port is available (`Serial.available() > 0`). If so, it reads a character (`Serial.read()`). If the character is an asterisk (`'*' == caractere`), it prints "Receptor: " to the serial monitor, reads the current `texto` from the module (`modulo.print(texto)`), and resets `texto` to an empty string. Otherwise, it concatenates the character to `texto`. It also checks if the module is available (`modulo.available() > 0`), reads a string (`modulo.readString()`), and prints "Emissor: " followed by the received string to the serial monitor.

The serial monitor output shows:
 

```
20:26:56.230 -> Emissor:
20:26:56.230 -> Teste Sensor Para Receptor
20:27:12.913 -> Receptor:
20:27:12.913 -> Teste Receptor Para Sensor
```

(a) Lado Emissor.

(b) Lado Receptor.

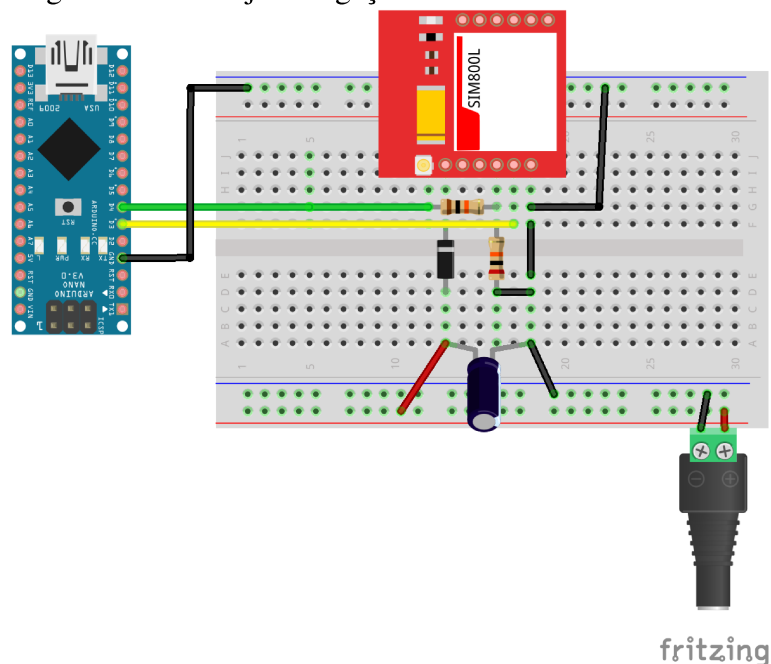
Fonte: Elaborado pelo autor.

Um ponto importante constatado nesse teste, foi a alimentação do módulo por meio do Arduino nano. A proposta inicial era alimentar os módulos com apenas 3.3 volts, porém, não foi obtido êxito na comunicação e ao investigar o possível problema, constatou-se que o pino de 3.3 volts é capaz de fornecer apenas 50 mA de corrente, sendo insuficiente para o funcionamento esperado dos módulos. Diante disso, optou-se por alimentar os módulos com uma tensão de 5 volts, fornecendo até 500 mA. Desta vez, o sucesso no teste foi alcançado.

O SIM800L é o segundo componente utilizado na comunicação da nossa arquitetura,

sendo responsável por uma conexão com o servidor remoto. Por isso, aplicar testes de comunicação é essencial para avaliar o seu funcionamento corretamente. Mesmo que o módulo possua diversas funções de uso, foi interessante testar apenas o envio de dados via GPRS por ser a única função a ser utilizada nessa infraestrutura. Devido ao módulo possuir uma sensibilidade maior quando comparado com outros componentes da infraestrutura, foi necessária a adoção de mais elementos na sua ligação. A Figura 21 apresenta o arranjo de ligação adotado.

Figura 21 – Arranjo de ligação do módulo SIM800L.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos componentes utilizados no teste anterior, foram usados resistores, um diodo, um capacitor de 1000µF e 16 volts, um conector p4 macho e uma fonte de alimentação externa de 5 volts e 3A. Todos estes elementos foram adicionados obedecendo recomendações do *datasheet*. Além dos componentes físicos citados acima, para realizar o teste de comunicação de dados foi utilizada a plataforma *ThingSpeak*<sup>4</sup> que, segundo Fontenele (2022), seu objetivo é auxiliar no desenvolvimento IoT. Na plataforma, foi criado um canal para recepção dos dados enviados do módulo. A comunicação com a plataforma ocorreu graças a utilização de comandos ATs descritos no *datasheet* do módulo. Na Figura 22 é possível visualizar uma parte dos comandos usados para o envio dos dados.

<sup>4</sup> <https://thingspeak.com/>

Figura 22 – Comandos AT para envio de dados a plataforma ThingSpeak.

```

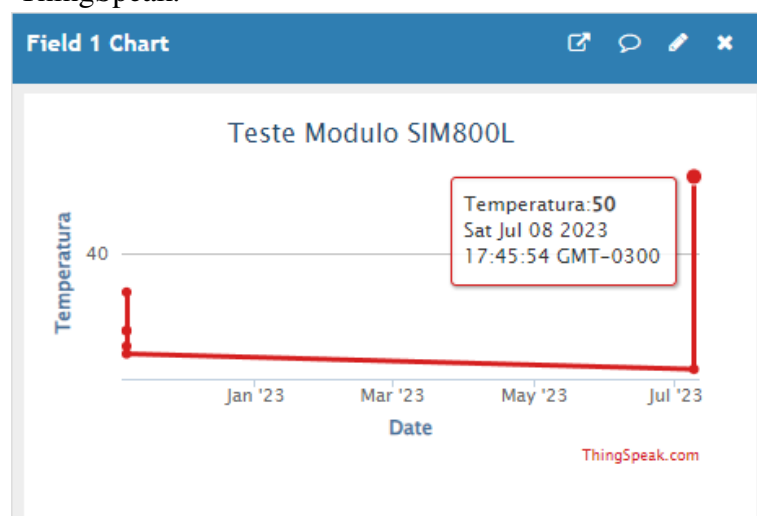
Saída Monitor Serial x
Mensagem (Arduino Nano + Enter para enviar mensagem para 'COM3' em 'undefined')
17:45:33.085 -> AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80"
17:45:33.085 -> OK
17:45:37.871 ->
17:45:37.871 -> CONNECT OK
17:45:43.678 -> AT+CIPSEND=48
17:45:43.678 -> > GET /update?api_key=BHSRLEJXKR63B8WJ&field1=50
17:45:52.836 ->
17:45:54.522 ->
17:45:54.522 -> SEND OK
17:45:54.616 -> 8
17:45:58.335 -> CLOSED

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiro é iniciada a comunicação utilizando o protocolo *Transmission Control Protocol* (TCP) na porta 80. Após a conexão ser estabelecida com sucesso, é informada a quantidade de *bytes* a serem enviados e por último o valor que deve ser recebido na *Application Programming Interface* (API). Além disso, também é perceptível que o próprio módulo informa via serial que a operação foi concluída com sucesso e em seguida que a conexão GPRS é fechada. No teste em si, é enviado o valor 50, que logo é apresentado no gráfico da plataforma, conforme se mostra na Figura 23.

Figura 23 – Gráfico de Dados recebidos na plataforma ThingSpeak.



Fonte: Elaborado pelo autor.

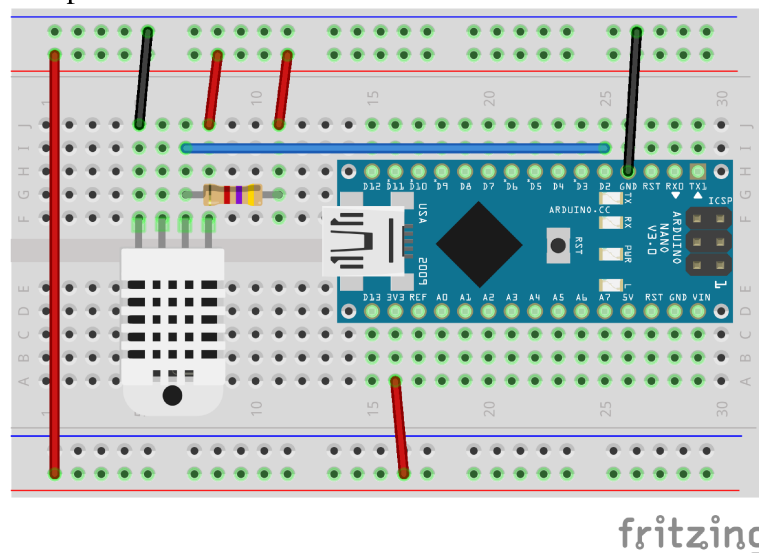
Por meio desses testes, foi possível concluir que os módulos utilizados para a transmissão dos dados estão adequados para cumprir com o seu objetivo dentro da infraestrutura.

Esse teste também contribuiu bastante para entender o funcionamento do módulo e fazer o manuseio adequado.

### 5.2.2.2 *Teste de coleta da temperatura e umidade*

Apesar deste teste ser um dos mais simples, ele é considerado importante para auferir o funcionamento correto do componente responsável por capturar os dados climáticos. Utilizando os elementos já citados nos testes anteriores, o esquema de ligação adotado é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Estrutura de ligação para o teste de coleta de temperatura e umidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A função aplicada para realizar o teste faz apenas a leitura de cada parâmetro climático, trata e apresenta ao usuário a cada dois segundos. Na Figura 25 é possível observar o resultado dos dados coletados pelo sensor AM2302.

Figura 25 – Dados coletados pelo sensor AM2302.

```

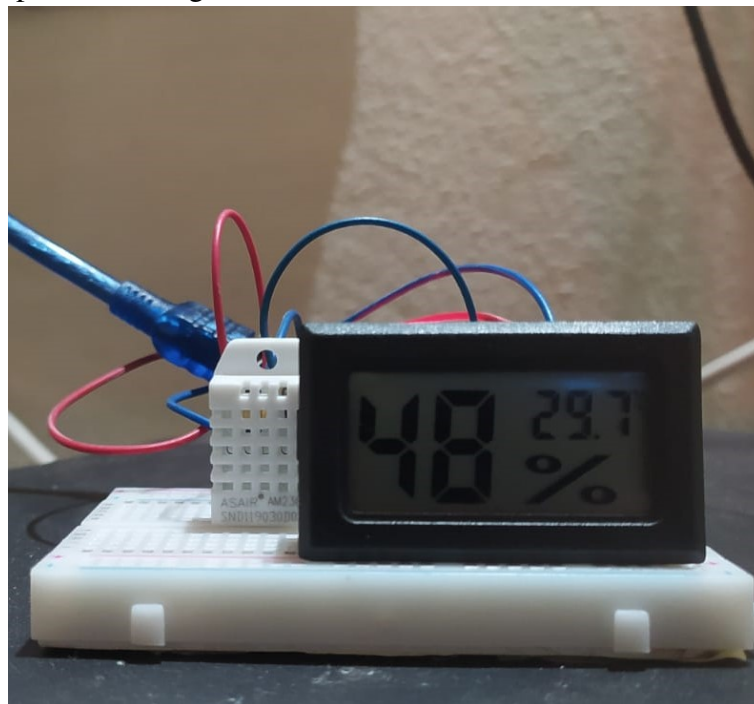
Monitor Serial x Saída
Mensagem (Arduino Nano + Enter para enviar mensagem para 'COM3' em 'undefined')
17:14:45.097 -> Umidade: 49.10% / Temperatura: 29°C
17:14:47.128 -> Umidade: 49.20% / Temperatura: 29°C
17:14:49.132 -> Umidade: 49.30% / Temperatura: 29°C
17:14:51.149 -> Umidade: 49.40% / Temperatura: 29°C
17:14:53.138 -> Umidade: 49.50% / Temperatura: 29°C
17:14:55.162 -> Umidade: 49.70% / Temperatura: 29°C
17:14:57.157 -> Umidade: 49.80% / Temperatura: 29°C
17:14:59.175 -> Umidade: 49.80% / Temperatura: 29°C
17:15:01.182 -> Umidade: 49.70% / Temperatura: 29°C
17:15:03.178 -> Umidade: 49.70% / Temperatura: 29°C
17:15:05.192 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C
17:15:07.180 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C
17:15:09.208 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C
17:15:11.205 -> Umidade: 49.50% / Temperatura: 29°C
17:15:13.221 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C
17:15:15.212 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C
17:15:17.234 -> Umidade: 49.60% / Temperatura: 29°C

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para constatar a respeito do real funcionamento do componente, os resultados impressos foram comparados com valores apresentados pelo dispositivo termo-higrômetro, que consiste em um objeto capaz de medir a temperatura e umidade relativa do ar no ambiente. O resultado apresentado pelo termo-higrômetro é observado na Figura 26.

Figura 26 – Valores de temperatura e umidade apresentados pelo termo-higrômetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os resultados apresentados nas Figuras 25 e 26, é possível concluir que houve pouca diferença nos resultados e assim afirmar que o sensor AM2302 está apto a integrar

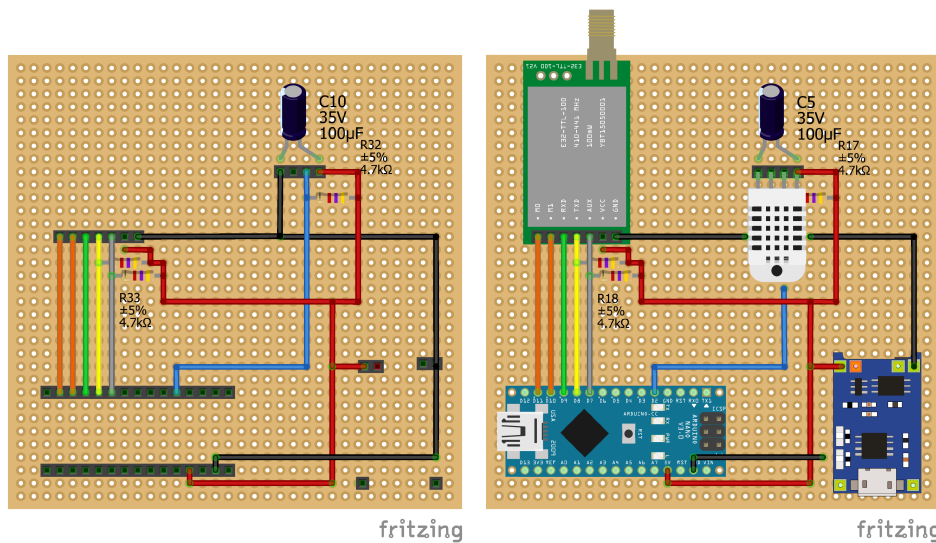
a infraestrutura para executar sua função designada.

### 5.2.2.3 *Teste de integração e desenvolvimento do protótipo final*

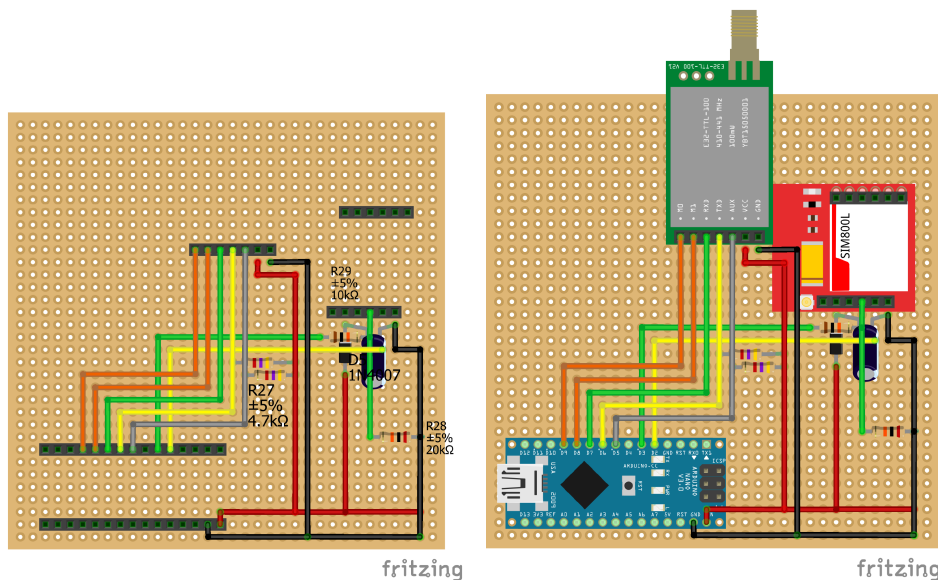
Após ser verificado o funcionamento de cada componente individualmente e constatado o seu funcionamento padrão, foi dada continuidade, agora, interligando os componentes e formando os dispositivos. Uma preocupação relevante ao realizar essa etapa, foi a respeito da tensão elétrica aplicada nos módulos. Um outro objetivo dessa integração é realizar um teste de funcionamento da arquitetura lógica desenvolvida anteriormente.

O ponto inicial da integração foi a escolha de uma placa do tipo *Printed Circuit Board* (PCB). O motivo principal para passar a usar esse objeto foi devido aos componentes serem bastante sensíveis ao mau contato, um problema persistente ao utilizar *protoboards*. O uso dessa placa contorna este problema de mau contato ao possibilitar a conexão dos componentes de forma direta. Para melhor distribuição dos componentes na PCB, escolhemos uma placa de extensão maior, medindo 10 centímetros de comprimento por 10 centímetros de largura. Antes de iniciar o posicionamento dos componentes na placa, foram projetadas as estruturas de ligação no *software Fritzing* com o intuito de servir de base no momento da montagem física. A Figura 27 apresenta as estruturas planejadas para os dispositivos.

Figura 27 – Estruturas de ligação dos componentes na placa PCB.



(a) Estrutura dispositivo sensor sem os módulos. (b) Estrutura dispositivo sensor com os módulos.



(c) Estrutura dispositivo concentrador sem os módulos. (d) Estrutura dispositivo concentrador com os módulos.

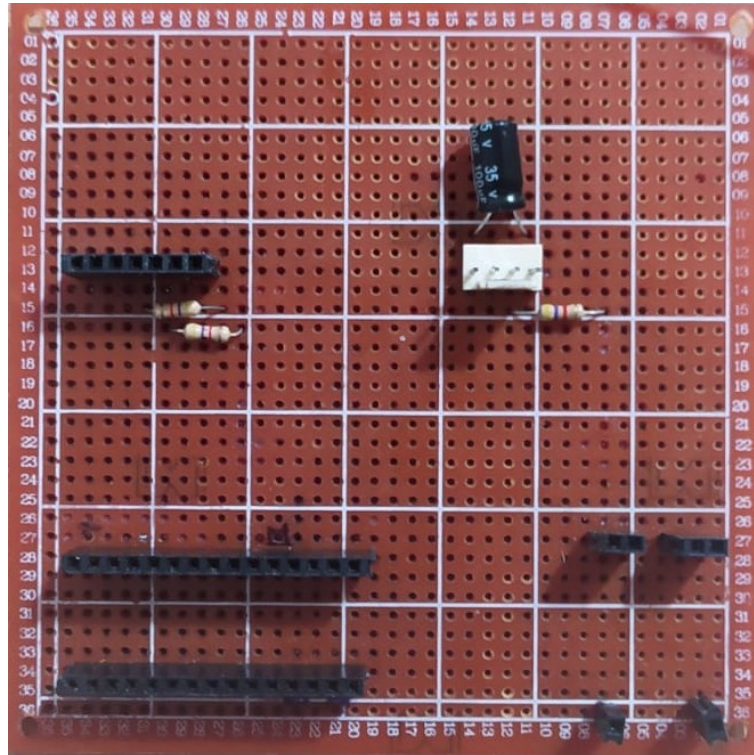
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 27, é possível notar o uso de outros componentes não citados na etapa de implementação como, por exemplo, na Figura 27(b), em que o módulo TP4056 é usado para carregar e oferecer proteção a baterias de lítio sem que estas sejam removidas. Outros elementos presentes como resistores, capacitores e diodos são aplicados seguindo recomendações do *datasheet* dos componentes ou por indicações de outros usuários que já têm conhecimento destes componentes. Ainda em observância à Figura 27(a) e Figura 27(c), é possível observar a aplicação de barras de pinos. O objetivo da utilização dessas barras foi facilitar não só o



posicionamento dos componentes, como também a sua troca quando necessário. Utilizando os circuitos base, partiu-se para a montagem física dos elementos na placa, começando pela instalação dos objetos essenciais, como os resistores e capacitores, e das barras de encaixe de cada componente. A Figura 28 apresenta a disposição destes na placa do dispositivo sensor.

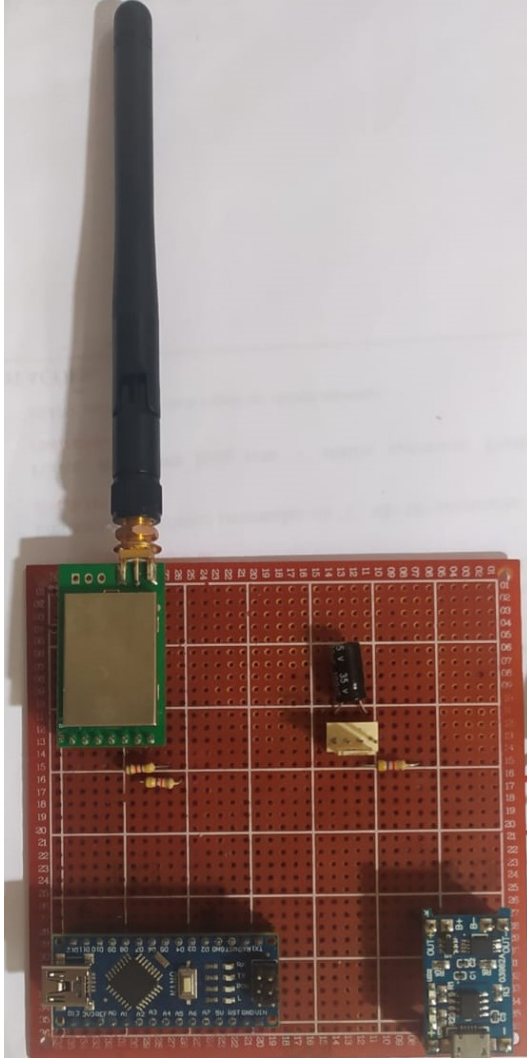
Figura 28 – PCB do dispositivo sensor sem os módulos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar a Figura 28, nota-se que a escolha de uma placa de maior extensão propiciou uma melhor distribuição dos componentes facilitando o seu encaixe e desencaixe na placa. Finalizada a etapa de instalação das barras de encaixe, partiu-se para a parte de conexão entre os componentes, na qual foram usados fios flexíveis e de espessura que suportam as condições elétricas impostas sobre ele. Com isso, os fios foram soldados obedecendo minuciosamente o circuito de ligação criados e apresentados na Figura 27. Finalmente, após interligados os componentes, os módulos foram encaixados e os testes de integração entre os dispositivos foram iniciados. As Figuras 29(a) e 29(b) apresentam a placa dos dispositivos após a ligação e encaixe dos módulos.

Figura 29 – Placas dos dispositivos após encaixe dos módulos.



(a) Placa do dispositivo sensor.

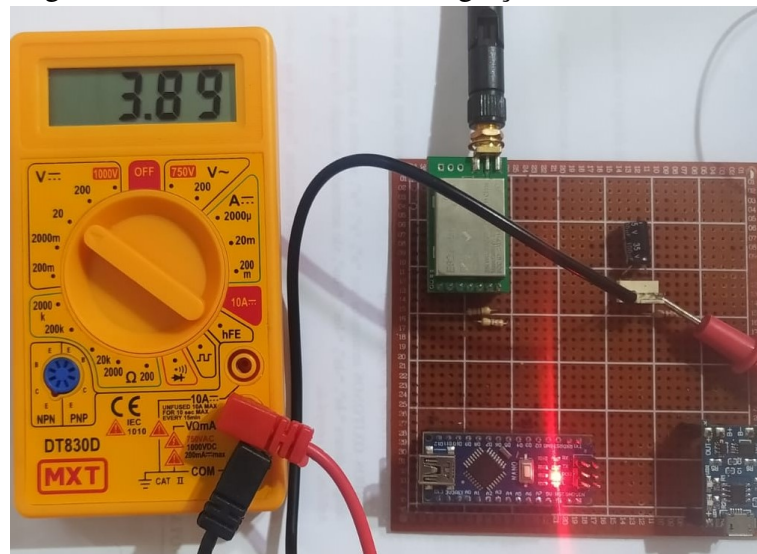


(b) Placa do dispositivo concentrador.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como já citado, foi necessário averiguar a tensão que estava sendo aplicada em cada componente, isso ocorreu devido ao fato de cada um destes componentes requerer mais desses recursos, ocasionando uma má distribuição e conseqüentemente um funcionamento incorreto, prejudicando toda a infraestrutura. A partir disso, utilizamos um multímetro digital para observar os valores da tensão após a integração dos módulos. Um momento da execução desse teste é observado na Figura 30.

Figura 30 – Teste de tensão na integração dos módulos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

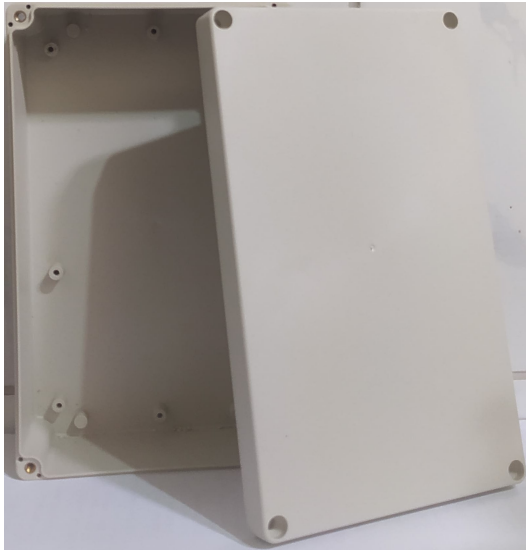
Um ponto importante decidido a partir deste teste foi a escolha da forma de alimentação em ambos os dispositivos. Como o sensor deve ser instalado em uma área que não disponibiliza rede elétrica, foi necessário selecionar uma bateria capaz de manter em operação todos os módulos do dispositivo. Partindo dessa necessidade, a bateria escolhida foi a NCR18650B de lítio, capaz de fornecer 3,7 volts de tensão e uma corrente máxima de 3.400 mA, sendo mais que suficiente para operação do sensor. Já para a alimentação do concentrador, considerando que este deve ser posicionado em um local que oferece rede elétrica, foi escolhida uma fonte chaveada contínua de 5 volts e 3000 mA, a mesma utilizada no teste de comunicação do SIM800L. Ela se tornou a mais ideal para ser usada, devido a necessidade de corrente no concentrador ser maior.

Um segundo teste realizado com a integração dos componentes foi em cima da parte lógica da infraestrutura. O objetivo principal deste teste foi observar o funcionamento de ambos os dispositivos e detectar possíveis erros na programação e configuração. Junto dessa etapa, retorna a utilização da IDE do Arduíno para observação das mensagens expressas no monitor serial. Com isso, foram observados todos os processos elaborados na seção anterior.

Tendo em consideração que os testes de integração apresentaram resultados positivos, foi iniciada a parte do desenvolvimento dos protótipos finais e a preparação dos dispositivos para serem implantados em um ambiente externo. De início, foram aproveitados os arranjos desenvolvidos para a etapa de teste de integração, como também os elementos utilizados, isso tornou-se favorável para a redução de custo e tempo para a produção dos protótipos. Logo,

o foco foi para a proteção dos componentes que integram o dispositivo internamente. Para isso, foram escolhidas duas caixas com melhor oferta de espaço que possibilitasse uma fixação adequada das placas. As escolhidas possuem as dimensões de 20 centímetros de comprimento, 12 centímetros de largura e 5 centímetros de altura, e foram as mais ideais para o proposto por questão de disponibilidade. Na Figura 31 é possível visualizar uma delas. Posteriormente, essas caixas foram adaptadas para melhor fixação e disposição dos componentes internos e externos.

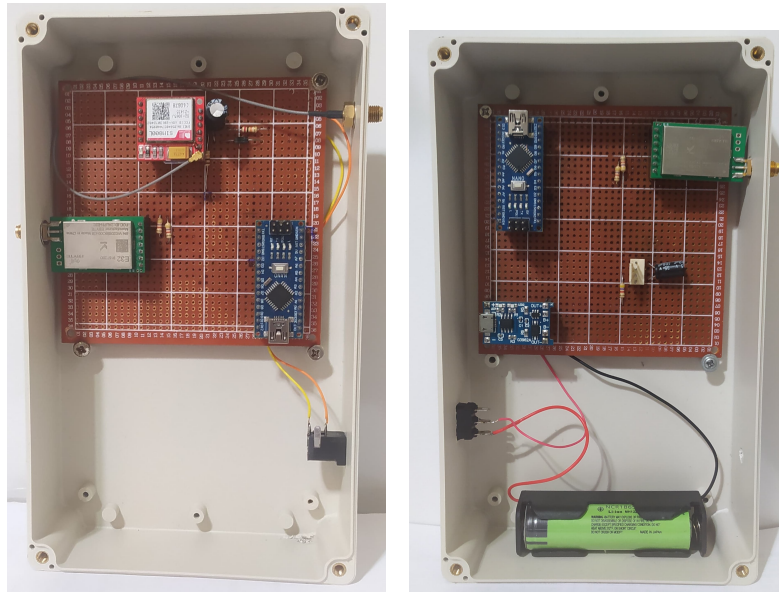
Figura 31 – Caixa plástica escolhida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a caixa plástica escolhida, iniciou-se a fixação das placas. Essa etapa tornou-se um procedimento complexo devido à busca por uma fixação segura e em razão de algumas partes dos componentes necessitarem estar posicionadas externamente à caixa como, por exemplo, os conectores RP-SMA dos módulos LoRa. Logo, a caixa foi analisada e foi encontrada uma forma de sanar todas essas complicações. A Figura 32 ilustra como ficaram os dispositivos após a instalação das placas.

Figura 32 – Dispositivos após a instalação da placa.



(a) Concentrador.

(b) Sensor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O próximo ponto de atenção na montagem do protótipo sensor foi o posicionamento do AM2302. Além de ser um componente que deve ser conectado ao dispositivo, ele será colocado no interior da colmeia no momento em que o dispositivo for instalado no ambiente proposto. Diante desta necessidade, a estratégia adotada foi a utilização de um fio com 2,5 metros de comprimento, junto com alguns conectores, permitindo a conexão de uma ponta a placa interna e a outra ponta ao AM2302, proporcionando facilidade na instalação do sensor da forma menos invasiva possível. Foi utilizada também uma tela do tipo mosquiteiro, de material poliéster, cujo objetivo era proteger o sensor contra ações das abelhas. A Figura 33 mostra como ficou a conexão e a montagem do sensor junto ao protótipo.

Figura 33 – Dispositivo sensor com o AM2302 conectado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalizada a montagem, os dispositivos estão aptos a serem testados e instalados no ambiente externo, proporcionando segurança e resistência aos componentes internos. A Tabela 7 discrimina a maioria dos elementos usados e sua quantidade na montagem final dos dispositivos até o momento.

Tabela 7 – Lista de objetos utilizados.

COMPONENTE	QUANTIDADE
Módulo LoRa E32-915T20D	2
Antena Omni 2dbi 2.4Ghz	1
Cabo Pigtail U.FL IPX conector RP-SMA fêmea	1
SIM800L	1
CHIP GSM	1
Arduino Nano	2
Sensor AM2302	1
Módulo TP4056	1
Bateria 18650B 3.7v 3A	1
Suporte Bateria 18650	1
Fonte de alimentação chaveada 5v 3A	1
Conector de alimentação jack P4 Macho	1
Capacitor 16v 1000uf	1
Capacitor 35v 100uf	1
Resistor 4.7k	5
Resistor 10k	1
Resistor 20k	1
Diodo 1N4007	1
Barra de pinos	12
Placa PCB	2
Caixa plástica para montagem	2
Micro chave gangorra ON/OFF	1
4,5m de cabo manga 4 vias awg 22	1
Conector kk 2,54mm fêmea 5 vias	2
Terminal conector KK	6
Conector kk 2,54 macho 4 vias	1
Tela mosqueteiro poliéster	1
<b>TOTAL</b>	<b>52</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.2.2.4 Teste de distância entre dispositivos

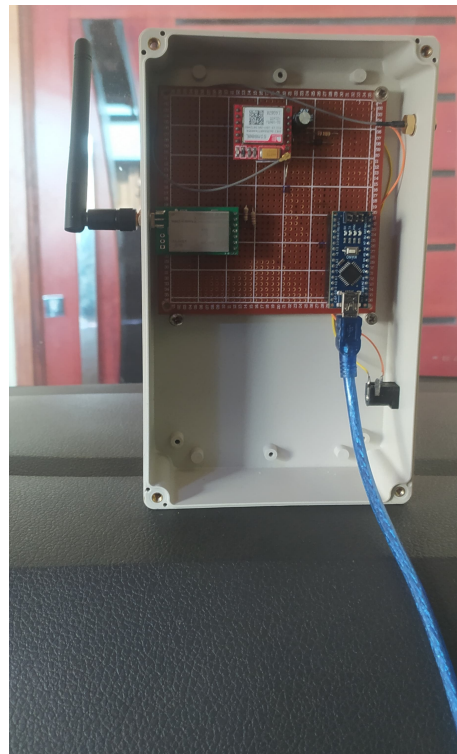
Considerando que uma das principais vantagens do LoRa é a distância, o objetivo deste teste foi conhecer o limite de conexão entre os dispositivos e também examinar qual antena proporcionava maior ganho de distância. É importante ressaltar que o *datasheet* do componente LoRa escolhido informa que foi realizado um teste da mesma natureza em que se obteve uma distância máxima de 3 quilômetros, mas é necessário destacar as condições em que esse teste foi aplicado. O documento afirma que o teste foi realizado em área aberta, usando uma antena de 5 dBi, posicionada a uma altura de 2,5 metros e foi aplicada uma taxa de dados do ar de 2.4 Kbps. Já o trabalho proposto, foi realizado em um ambiente rural, com a presença de vegetação nativa da região e grandes montanhas, haja vista que se pretende aplicar o estudo do caso neste trabalho.

O dispositivo emissor foi posicionado a uma altura de 2,5 metros, enquanto o receptor não foi colocado em uma altura fixa por estar em movimento durante o teste, porém, considerando o local de posicionamento do receptor no veículo, afirma-se que este estava a aproximadamente 1,2 metros do solo irregular. As Figuras 34(a) e 34(b) expõem o posicionamento descrito. Semelhante ao teste descrito no *datasheet* do componente, utilizamos também uma taxa de dados do ar de 2.4 Kbps.

Figura 34 – Dispositivos instalados no ambiente de teste.



(a) Emissor.



(b) Receptor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito às antenas observadas, foram escolhidas a TX915-JK-11 e TX915-XPL-100, ambas recomendadas pelo *datasheet* do componente LoRa, que se distinguem pelo seu ganho e tamanho. A Tabela 8 faz um breve comparativo dessas antenas.

Tabela 8 – Comparativos entre as antenas.

PARÂMETROS	TX915-JK-11	TX915-XPL-100
Comprimento	110mm	260mm
Ganho	2.5dBi	3.5dBi
Frequência	900 ~ 925 MHz	900 ~ 925 MHz
Conexão	SMA-J	SMA-J

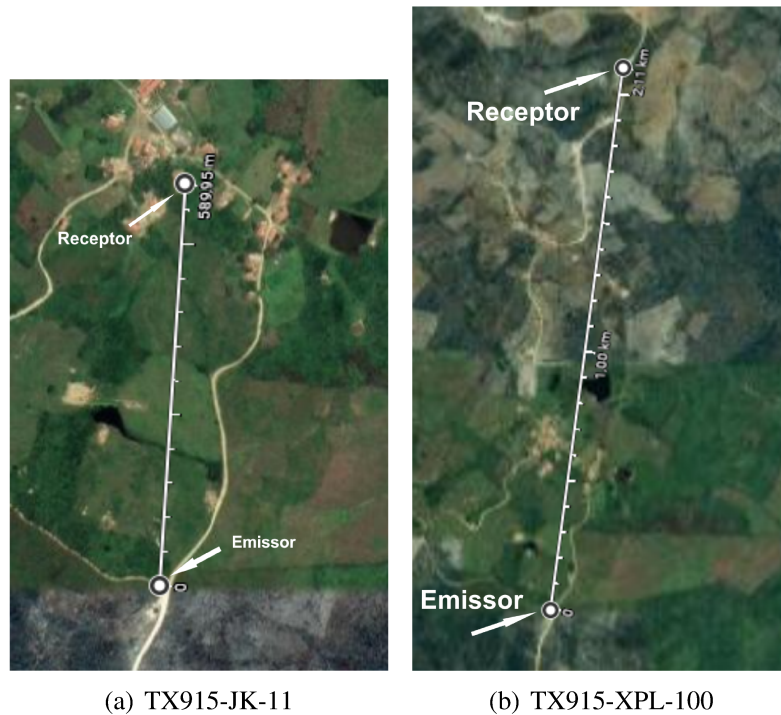
Fonte: Elaborado pelo autor.



Com o ambiente pronto, partiu-se para a execução dos testes. Para visualizar a recepção dos dados, foi utilizado um notebook para apresentar os dados ao usuário e um cabo USB para conexão. Para calcular a distância, foi utilizado o hodômetro do veículo em que o dispositivo estava posicionado. Desta forma, o distanciamento entre os dispositivos foi iniciado de forma gradativa, enquanto se observava, por meio da recepção dos dados, a comunicação destes dispositivos até que fosse interrompida. Assim, foi possível calcular o limite máximo aproximado da distância alcançada.

Ao comparar as duas antenas, os resultados obtidos demonstraram distâncias relativamente diferentes. Com a antena TX915-JK-11, foi alcançada uma distância máxima de aproximadamente 590 metros. Se comparado com o teste descrito no *datasheet*, a diferença foi relativamente baixa. Porém, o cenário muda ao ser utilizada a antena TX915-XPL-100, em que foi obtido um espaço entre os dispositivos de aproximadamente 2 quilômetros. Apesar de ambos os testes terem dado um distanciamento baixo se comparados ao informado no documento, acredita-se que os obstáculos presentes, principalmente os morros, influenciaram negativamente no alcance. Com o auxílio da plataforma Google Maps<sup>5</sup>, é possível medir e visualizar a distância alcançada com as diferentes antenas, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Distância alcançada com as antenas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>5</sup> <https://www.google.com.br/maps>

É preciso ressaltar um ponto importante ao se observar a distância de comunicação entre os componentes LoRa. Visualizando testes de terceiros, é possível afirmar que a tanto a altura aplicada nas antenas, como a fonte de alimentação elétrica aplicada nos módulos também influenciam no ganho de espaço entre os eles. Por isso, é preciso considerar as condições em que esse teste foi realizado, levando em conta que o objetivo deste trabalho não inclui a influência da altura e nem da alimentação. Como observado, a antena TX915-XPL-100 proporcionou maior ganho de espaço na comunicação quando comparada à TX915-JK-11, por isso, essa foi a escolhida para ser usada nos dispositivos.

### **5.3 Posicionamento no ambiente proposto**

Esta seção descreve a instalação da infraestrutura desenvolvida no ambiente de coleta de dados e monitoramento. Destaca-se que, como proposto, foi fixada em um ambiente de produção apícola, em área rural, com obstáculos comuns do ambiente, prevalecendo a vegetação nativa da região. O local escolhido localiza-se a aproximadamente 9,5 quilômetros do município de Pedra Branca - CE.

A instalação da arquitetura no ambiente foi iniciada primeiro com a escolha de uma colmeia entre as trinta que compõem o apiário, sendo que a escolhida foi a mais distante de onde deve ficar o dispositivo concentrador. Após isso, foi dado início ao posicionamento do sensor ao lado da colmeia escolhida. Foi utilizado um mini poste de 3 metros de comprimento, o dispositivo foi fixado ao meio do poste e sua antena ficou na borda superior a uma altura de 3 metros. A Figura 36 expõe como ficou posicionado o aparelho.

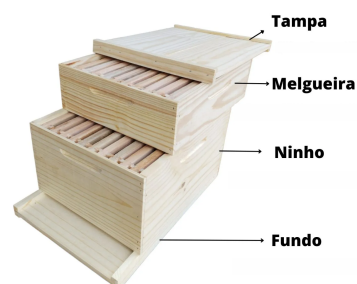
Figura 36 – Dispositivo sensor instalado no ambiente apícola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda a respeito da instalação do sensor, o ponto de atenção se voltou para o posicionamento do sensor AM2302 no interior da colmeia. Inicialmente, foi preciso estudar a estrutura desta colmeia para determinar o ponto exato em que deve ficar o sensor. O design da colmeia escolhida é do tipo *langstroth*, sendo a mais comumente utilizada na apicultura. Na Figura 37, é possível observar como a colmeia foi ordenada. Considerando a estrutura da colmeia, o AM2302 foi posicionado ao centro do ninho, entre os quadros que o compõem.

Figura 37 – Caixa colmeia *langstroth*.

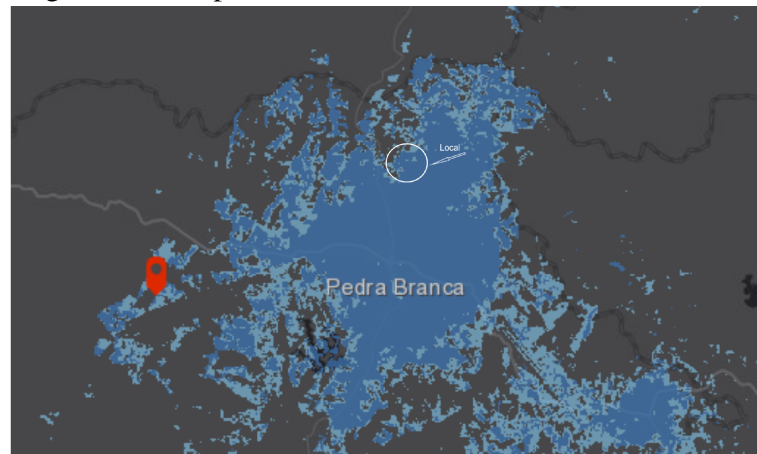


Fonte: Adaptado de Madervalia (2023).

O próximo passo foi a montagem do dispositivo concentrador, que foi instalado a

uma distância de aproximadamente 162 metros do dispositivo sensor. Foi um procedimento simples, em que a preocupação inicial foi a conexão da rede celular. Com isso, foi necessário averiguar se a região escolhida dispunha de cobertura por meio do mapa disponibilizado pelo site da operadora. A Figura 38 apresenta um panorama da cobertura alcançada no município com destaque na localidade escolhida. De acordo com a legenda disponível no mapa, as áreas demarcadas de azul escuro possuem cobertura total e as de azul claro, cobertura parcial.

Figura 38 – Mapa de cobertura da rede celular.



Fonte: Adaptado de Tim (2023).

Após averiguada e constatada a disponibilidade de comunicação com a rede celular, foi instalado o dispositivo em uma altura fixa de 2,5 metros e em um local distante das abelhas, evitando que elas pudessem ser afetadas com a comunicação. Visando também a segurança do dispositivo contra danos e furtos, ele foi posicionado no interior de uma residência. A Figura 39 expõe como ficou instalado o dispositivo.

Figura 39 – Dispositivo concentra-  
dor instalado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4 Coleta e Análise dos dados

A coleta dos dados foi feita no ambiente em que estava posicionada a infraestrutura e somente na parte em que envolve a comunicação usando a tecnologia LoRa. Em conformidade com o que foi articulado, foram realizados experimentos com variações nas configurações dos fatores físicos em que foram usadas seis variações. Esse número limitado de variações se deve ao fato de o componente escolhido para a comunicação LoRa não permitir a alteração dos parâmetros físicos individualmente, mas já vir com valores predefinidos que são alterados de acordo com o valor colocado na taxa de dados do ar. Na Tabela 9 são apresentados os valores desses dados e das configurações físicas que cada um aplica.

Tabela 9 – Taxa de dados do ar e configurações físicas.

<b>TAXA DE DADOS DO AR</b>	<b>BW</b>	<b>SF</b>	<b>CR</b>
0.3Kbps	125Khz	12	4/5
1.2Kbps	250Khz	11	4/5
2.4Kbps	500Khz	11	4/5
4.8Kbps	250Khz	8	4/6
9.6Kbps	500Khz	8	4/6
19.2Kbps	500Khz	7	4/6

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dessas seis variações, a coleta dos dados foi iniciada colhendo primeiramente

informações a respeito da perda de pacotes e da integridade dos dados recebidos. Para a coleta e observação dessas métricas, foram enviados do dispositivo sensor quinze sequências de 20 pacotes para cada configuração, correspondendo a 300 pacotes, totalizando 1800 pacotes para todo o experimento. Os dados coletados foram tratados por meio de técnicas da estatística descritiva com o intuito de facilitar a análise desses dados. O gráfico da Figura 40 descreve os resultados obtidos.

Figura 40 – Percentual de pacotes recebidos.

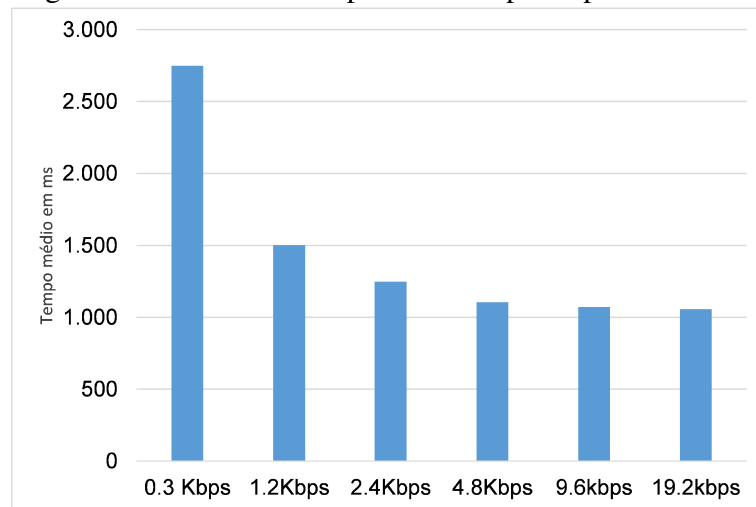


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 40, observando o percentual de pacotes recebidos, é perceptível que três variações ficaram entre 98% e 99%. Atentando ainda ao valor de SF aplicado, é possível concluir que um SF maior proporcionou uma perda menor de pacotes, por outro lado, quando foi reduzido, o percentual ficou entre 89% e 96%. Sendo assim, por meio dos percentuais obtidos, conclui-se que a configuração que apresentou melhor desempenho no PDR foi a de 0.3Kbps, com um percentual de 99% dos pacotes recebidos. No que diz respeito à integridade dos dados recebidos, estes foram aferidos a partir dos pacotes recebidos e a maioria das configurações aplicadas obtiveram 100% dos pacotes recebidos corretamente. Somente a configuração 4.8Kbps apresentou um percentual menor, de 99,65%, que ainda assim é considerada extremamente alta.

Já para coletar os dados a respeito do tempo resposta, foram trocados um total 40 pacotes para cada configuração, considerando a solicitação e a resposta. Porém, é preciso ressaltar que na observação dessa métrica, não foi considerado o tempo de processamento do módulo de transmissão e da placa microcontroladora, uma vez que esse tempo de processamento não exerce altas consequências nos resultados obtidos. O gráfico da Figura 41 tem por objetivo expor a média de tempo obtida para cada variação.

Figura 41 – Média de tempo entre tempo resposta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado, na variação em que o BW foi configurado para um valor menor, o tempo médio foi de 2749 milissegundos. O oposto ocorre quando o valor de BW é elevado, onde a média de tempo começa a baixar, alcançando 1057 milissegundos. É perceptível também, ao observar a Tabela 9, que pelo menos três variações de configurações apresentaram um valor de BW de 500 KHz, dois com 250 KHz e somente um foi configurado para 125KHz. Com isso, voltando a observar o gráfico da Figura 41, é possível perceber a interferência do SF. Por exemplo, na variação 2.4 Kbps, onde esse estava configurado para 11 e o BW estava em 500 KHz, o tempo médio foi de 1248, porém, ao reduzir o valor do SF para 8 e 7, esse tempo caiu para 1071 e 1057, respectivamente. O mesmo ocorre nas variações 1.2 Kbps e 4.8 Kbps, nestes são aplicados 250 KHz no BW, porém, os valores de SF usados são de 11 e 8. No primeiro, o tempo médio registrado foi de 1500, já no segundo, essa média caiu para 1103, uma diferença de quase 400 ms. Desta forma, a variação que apresentou melhor tempo resposta foi a 19.2 Kbps, com um valor de SF mínimo e um BW elevado, essa variação apresentou o menor tempo, com apenas 1057 ms.

Comparando os resultados obtidos com os de outros trabalhos, é possível notar uma semelhança nos resultados. Por exemplo, em Yim *et al.* (2018), um melhor nível de confiabilidade foi alcançado ao elevar o valor de SF, ainda segundo os autores, o percentual baixou conforme o SF era reduzido. Outros resultados similares podem ser observados no trabalho de Tovar-Soto *et al.* (2021), no qual, ao medir o tempo de transmissão, notaram um aumento ao elevar o valor de SF e reduzir o valor do BW. Ao fazer o oposto, notaram uma redução do tempo que saiu de 35 segundos para abaixo de um segundo. No que diz respeito ao percentual de confiabilidade

percebida pelos autores, os resultados se assemelham com o proposto, como também com o de Yim *et al.* (2018). Com um valor de SF reduzido para 7, o percentual caiu para 40%, em contrapartida, ao aumentar o valor, o percentual ultrapassou os 90%. Apesar do trabalho de Tovar-Soto *et al.* (2021) apresentar uma análise a respeito da integridade dos dados do pacotes recebidos, tornou-se inviável comparar os resultados obtidos neste trabalho com os do proposto, devido as suas disparidades. Ao comparar os resultados do trabalho proposto com os citados, é preciso considerar as condições em que estes trabalhos foram realizados. Tovar-Soto *et al.* (2021) aplicou uma distância maior entre os dispositivos, como consequência, isso teve impactado no tempo de transmissão maior e também em um percentual de confiabilidade menor. Yim *et al.* (2018) diversificou a distância em seus testes e obteve uma alternância maior no percentual de pacotes recebidos, diferente do trabalho proposto. Mas o que torna esses trabalhos e o proposto semelhantes, é a influência da aplicação de diferentes valores das configurações físicas.

Diante desses resultados, foi possível perceber a influência que os valores de SF exercem sobre a confiabilidade da comunicação, no qual um valor maior proporcionou menor perda de pacotes, mas em compensação, maior tempo de comunicação. Ao reduzir o valor de SF e aumentar o BW, o tempo reduziu significativamente, porém, o percentual de confiabilidade caiu para 89%. No que concerne à integridade dos dados, foi percebida pouca variação, impossibilitando inferir a respeito da influência do CR sobre a tecnologia.

## 5.5 Implementação do sistema de visualização remoto

O propósito desta seção é descrever como foi implementado o sistema de visualização remoto. Inicialmente foi explorada uma plataforma de hospedagem gratuita que oferece uma facilidade de implementação e configuração. Diante disso, foi escolhido o 000webhost<sup>6</sup> por ser gratuito, com possibilidades de expansão, se necessário, além de possuir um sistema de banco de dados MySQL com facilidade de gerência e operação.

Definida a plataforma, a atenção foi dada à construção das interfaces gráficas para apresentação dos dados ao usuário e para que estas interfaces pudessem se adaptar automaticamente a diferentes telas. Essas interfaces foram desenvolvidas junto com as tecnologias *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e *Hypertext Preprocessor* (PHP). A primeira a ser criada teve a função de controle de acesso aos dados coletados, em que usuários previamente cadastrados precisam informar nome de usuário e senha para conseguir

---

<sup>6</sup> <https://br.000webhost.com/>



acessar a tela principal do sistema. A Figura 42 exibe de acordo com o que foi descrito. A tela principal foi a segunda desenvolvida, sendo tal tela dividida em duas partes. Conforme apresentada na Figura 43 à esquerda, é possível o usuário consultar dados recebidos filtrando por meio da data, já à direita, é apresentado o resultado da última coleta recebida pelo servidor.

Figura 42 – Tela de controle e autenticação de usuários.



LoRa B

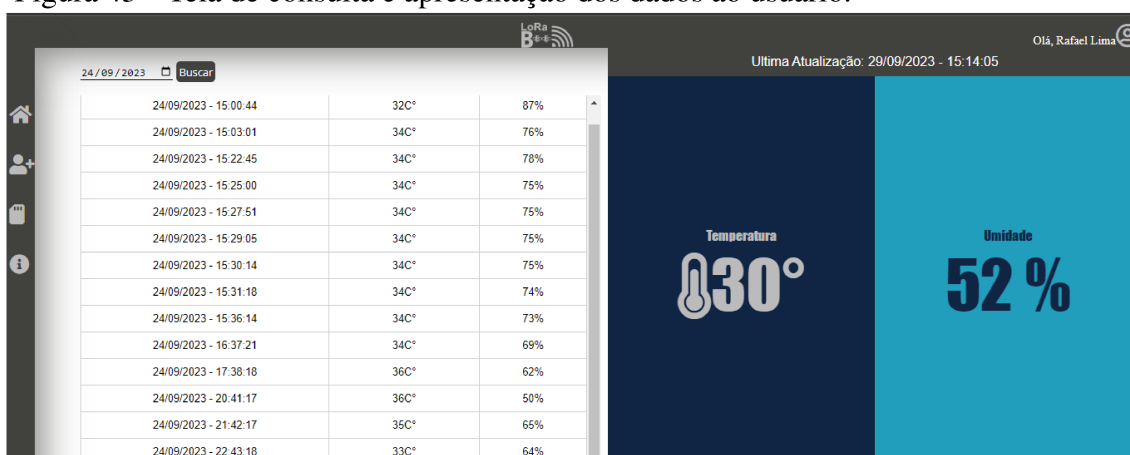
Usuário

Senha

Entrar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 – Tela de consulta e apresentação dos dados ao usuário.



Data	Tempo	Temperatura	Umidade
24/09/2023	15:00:44	32C°	87%
24/09/2023	15:03:01	34C°	76%
24/09/2023	15:22:45	34C°	78%
24/09/2023	15:25:00	34C°	75%
24/09/2023	15:27:51	34C°	75%
24/09/2023	15:29:05	34C°	75%
24/09/2023	15:30:14	34C°	75%
24/09/2023	15:31:18	34C°	74%
24/09/2023	15:36:14	34C°	73%
24/09/2023	16:37:21	34C°	69%
24/09/2023	17:38:18	36C°	62%
24/09/2023	20:41:17	36C°	50%
24/09/2023	21:42:17	35C°	65%
24/09/2023	22:43:18	33C°	64%

Temperatura 30°

Umidade 52%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado na Figura 43, além dos dados coletados na colmeia, são apresentados também o dia e o horário de recepção, sendo que estes são acrescentados após o servidor identificar a chegada dos dados. Deste modo, são enviados do dispositivo concentrador via

protocolo HTTP somente os valores referentes à temperatura, umidade e identificação da colmeia, sendo que este último é ocultado ao usuário. Após isso, os dados são armazenados no serviço de banco de dados oferecidos pela plataforma para posterior consulta e apresentação desses dados.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho realizou um estudo sobre o desempenho da tecnologia LoRa em área rural, especificamente em um ambiente de produção apícola, a partir do problema que parâmetros físicos e ambientais afetam o desempenho da tecnologia e a maioria dos estudos apresentados se concentram em áreas urbanas, montanhosas e marítimas.

Diante disso, foi desenvolvida uma topologia lógica que serviu de base para a infraestrutura física e foram desenvolvidos algoritmos para serem implantados nos componentes responsáveis pela tarefa de coleta, controle e comunicação dos dados. Em uma fase posterior, esses componentes foram escolhidos conforme critérios adotados e testados de acordo com cada função. Averiguado e constatado o funcionamento dos componentes, estes foram integrados formando os dispositivos, testados e posteriormente instalados no ambiente de monitoramento e coleta dos dados.

A partir das métricas escolhidas e com a realização da coleta de dados por meio da transmissão de pacotes entre os dispositivos e da variação dos valores nas configurações físicas, foi possível analisar o desempenho da tecnologia e a influência que o SF, o BW e o CR exercem sobre ela, alcançando assim o primeiro e segundo objetivos descritos na seção 1.1.2. O aumento do valor do SF ao máximo proporcionou um percentual de pacotes recebidos de até 99%, porém, ao reduzir o valor deste, o percentual caiu para 89%. O BW, assim como o SF, influenciaram no tempo de transmissão entre os dispositivos. Um valor de SF maior promoveu tempos de transmissão maiores, no entanto, o oposto ocorreu ao reduzi-lo na configuração. Já o valor de BW promoveu o inverso ao permitir menores tempos de transmissão alcançando uma média de até 1057 milissegundos. Os resultados obtidos nessas duas métricas se assemelham com os de outros trabalhos observados, todavia, no que diz respeito ao CR, não foi possível ter uma conclusão sobre a sua interferência na tecnologia em razão de os resultados relacionados à métrica da integridade dos dados não apresentarem disparidade, sendo que somente um apresentou um percentual mínimo de 99%. Sendo assim, consumando o terceiro objetivo, é possível concluir que a configuração que obteve melhor percentual de pacotes recebidos foi a de 0.3Kbps. Relacionado ao tempo resposta a 19.2kbps, se destacou ao apresentar a menor média no tempo de comunicação. Grande parte das variações apresentaram um percentual de 100% na integridade dos dados nos pacotes recebidos, sendo que somente a 4.8Kbps apresentou um percentual de 99%.

Com a infraestrutura instalada no ambiente de produção apícola, também foi possível

coletar dados a respeito da temperatura e umidade no interior da colmeia, transmiti-los via LoRa e enviá-los usando a tecnologia de rede celular e o protocolo HTTP a um servidor remoto hospedado na nuvem, com o intuito de armazenar e apresentar os dados ao usuário criando um cenário de monitoramento real. Por meio de uma interface gráfica amigável, o usuário conseguiu visualizar e consultar dados recebidos de uma colmeia completando o quarto e último objetivo.

Com isso, por meio dos resultados apresentados, a tecnologia LoRa se torna uma excelente alternativa para uso na apicultura de precisão, principalmente em locais remotos, com tecnologias de comunicação limitadas e até mesmo naqueles que não oferecem rede elétrica, contribuindo não apenas com o trabalho do apicultor, mas com a preservação das abelhas por meio do monitoramento e manejo controlado. Nos próximos trabalhos, pretende-se levar a tecnologia para outros ramos do agronegócio como a bovinocultura, que é uma atividade dedicada à criação de gado, ou a Horticultura, que é direcionada ao cultivo vegetal, observando desta vez o uso de outras topologias.

## REFERÊNCIAS

- ALLIANCE, L. **LoRaWAN What is it?** Disponível em: <https://resources.lora-alliance.org/document/what-is-lorawan>, 2015. Acesso em: 29 jun. 2022.
- ALLIANCE, L. **What is lorawan® specification.** Disponível em: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>: [S. n.], 2022. Acesso em: 29 jun. 2022.
- BACAXIXI, P.; BUENO, C. E. M. S.; RICARDO, H. A.; EPIPHANIO, P. D.; SILVA, D. P.; BARROS, B. M. C.; SILVA, T. F.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. A importância da apicultura no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, p. 1–6, 2011. Disponível em: [http://www.faeF.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/4obaFHM5hPoTX99\\_2013-5-17-17-41-22.pdf](http://www.faeF.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/4obaFHM5hPoTX99_2013-5-17-17-41-22.pdf). Acesso em: 29 jun. 2022.
- BERINGER, J.; MACIEL, F. L.; TRAMONTINA, F. F. O declínio populacional das abelhas: causas, potenciais soluções e perspectivas futuras. **Revista Eletrônica Científica Da UERGS**, v. 5, n. 1, p. 18–27, 2019. Disponível em: <https://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1686/411>. Acesso em: 30 jun. 2022.
- BOR, M.; ROEDIG, U. Lora transmission parameter selection. In: IEEE. **2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)**. [S. l.], 2017. p. 27–34. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8271941>. Acesso em: 30 jun. 2022.
- BURHAN, M.; REHMAN, R. A.; KHAN, B.; KIM, B.-S. Iot elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 18, n. 9, p. 2796, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/9/2796>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- CRANE, E. The world's beekeeping-past and present. In: LANGSTROTH, L. L. (Ed.). **The hive and the Honey Bee**. [S. l.]: Dadant Sons, 1963. p. 1–10. Disponível em: <https://www.evacranetrust.org/uploads/document/dc025169ff5d34280f72b85826e4075c7c1fdb40.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2022.
- DEVALAL, S.; KARTHIKEYAN, A. Lora technology-an overview. In: IEEE. **2018 second international conference on electronics, communication and aerospace technology (ICECA)**. [S. l.], 2018. p. 284–290. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8474715>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- DOMINGOS, H. G. T.; GONÇALVES, L. S. Termorregulação de abelhas com ênfase em *Apis mellifera*. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 3, p. 151–154, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/aaf6/123da4d2a35fe875e1acb0cb06afb620c8f9.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- FONTENELE, T. A. **Um sistema baseado em IoT para detecção e notificação de dano ou furto de colmeias de abelhas**. 107 p. Monografia (Graduação em Sistemas da informação) – Universidade Federal do Ceará, Campus Quixadá, Quixadá, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65432>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- FURTUOSO, M. C. O.; GUILHOTO, J. J. M. Estimativa e mensuração do produto interno bruto do agronegócio da economia brasileira, 1994 a 2000. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, v. 41, p. 803–827, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032003000400005>. Acesso em: 10 fev. 2022.

GABITOV, I.; LINENKO, A.; YUMAGUZHIN, F.; AKCHURIN, S.; VALISHIN, D. The system of remote monitoring of microclimate parameters of bee colonies. **Journal of Ecological Engineering**, v. 23, n. 1, p. 264–273, 2022. ISSN 2299-8993. Disponível em: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-e386275e-8b56-4d94-b394-6fba12a5224d>. Acesso em: 17 out. 2023.

GATES, B. N. **The temperature of the bee colony**. [S. l.]: US Department of Agriculture, 1914. (Bulletin of the U.S. Department of Agriculture, 96). Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vBspAAAAYAAJ>. Acesso em: 20 Jun. 2022.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, jun. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13160>. Acesso em: 2 mar. 2022.

IOVA, O.; MURPHY, A. L.; PICCO, G. P.; GHIRO, L.; MOLTENI, D.; OSSI, F.; CAGNACCI, F. Lora from the city to the mountains: Exploration of hardware and environmental factors. In: UPPSALA UNIVERSITY. **International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN) 2017**. [S. l.]: Uppsala, 2017. p. 317–322. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10449/42132>. Acesso em: 2 mar. 2022.

KLOSOWSKI, A. L. M.; KUASOSKI, M.; BONETTI, M. B. P. Apicultura brasileira: inovação e propriedade industrial. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 1, 2020. ISSN 2317-224X. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1461>. Acesso em: 03 fev. 2022.

LEITE, J. R. E.; MARTINS, P. S.; URSINI, E. L. A internet das coisas (iot): Tecnologias e aplicações. In: **Brazilian Technology Symposium**. Campinas, Brazil: researchgate, 2017. BTSYM-2017. ISSN 2447-8326. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/325807577\\_A\\_INTERNET\\_das\\_COISAS\\_IoT\\_Tecnologias\\_e\\_Aplicacoes\\_ISSN\\_2447-8326](https://www.researchgate.net/publication/325807577_A_INTERNET_das_COISAS_IoT_Tecnologias_e_Aplicacoes_ISSN_2447-8326). Acesso em: 07 mai. 2022.

LINKELETRONICA. **Arduino Nano V3**. 2023. Disponível em: <https://www.linkeletronica.com/produtos/arduino-nano-v3/>. Acesso em: 10 out. 2023.

LUKOVAC, P.; SIMIĆ, M.; RADENKOVIĆ, B. Iot system for smart beekeeping. **E-business technologies conference proceedings**, v. 3, n. 1, p. 159–162, Jun. 2023. Disponível em: <https://www.ebt.rs/journals/index.php/conf-proc/article/view/194>. Acesso em: 10 out. 2023.

MACHADO, M. J. F. **Uma avaliação comparativa entre as topologias de rede estrela e malha no uso da tecnologia lora®**. 49 p. Monografia (Graduação em Engenharia da computação) – Curso de Engenharia de Computação, Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2021.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 05, p. 164–173, 2015. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=56616>. Acesso em: 05 jun. 2022.

MADERVALIA. **Caixa de abelha langstrooth (Colméia), para abelha apis, abelha Europa Montada**. 2023. Disponível em: <https://www.madervalia.com.br/caixas-de-abelha/caixa-de-abelha-langstrooth-para-abelha-apis-abelha-europa-montada>. Acesso em: 10 out. 2023.

MAKERHERO. **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22**. 2023. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>. Acesso em: 10 out. 2023.

MOJARAVSCKI, D. F. **Apicultura digital**. 79 p. Monografia (Dissertação(Mestrado)) – Curso de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/20162>. Acesso em: 06 abr. 2022.

OLIVEIRA, L. de; CONCEIÇÃO, A. da; NETO, L. S. Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias lora e lorawan. In: **Anais Estendidos do VIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2018. ISSN 2763-9002. Disponível em: [https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc\\_estendido/article/view/11002](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc_estendido/article/view/11002). Acesso em: 05 de mai. 2022.

PARK, S.-K.; HWANG, K.-i.; KIM, H.-S.; SHIM, B.-S. Challenges and experiment with lorawan. In: **Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering**. Singapore: Springer Singapore, 2017. v. 448, p. 269–276. ISBN 978-981-10-5041-1. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5041-1\\_46](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5041-1_46). Acesso em: 05 mai. 2022.

PIKRI, M. I. M.; IBRAHIM, S. A.; FAISAL, N. M. S. M.; MUSTAFA, M. Z.; MANSOR, S. Iot-based temperature and humidity real-time monitoring system for beekeeping using lora technology. In: **Proceedings of the Multimedia University Engineering Conference (MECON 2022)**. [S. l.]: Atlantis Press, 2022. p. 334–342. ISBN 978-94-6463-082-4. ISSN 2352-5401. Disponível em: [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-082-4\\_29](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-082-4_29). Acesso em: 16 out. 2023.

SANTOS, J. O. **Um estudo sobre a evolução histórica da apicultura**. Monografia (Dissertação(Mestrado)) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2015. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/873>. Acesso em: 16 fev. 2022.

SARAVATI. **LoRa SX1276 915 MHz RF Módulo Longo Alcance E32-915T20D**. 2023. Disponível em: <https://www.saravati.com.br/lora-sx1276-915-mhz-rf-modulo-longo-alcance-e32-915t20d.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

TIM. **Cobertura de Antenas**. 2023. Disponível em: <https://tim.img.com.br/mapa-cobertura/>. Acesso em: 10 out. 2023.

TOMAZINI, C. G.; GROSSI, S. d. F. A importância da apicultura para o agronegócio brasileiro. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 6, n. 1, p. 48–61, dez. 2019. Disponível em: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/432>. Acesso em: 05 fev. 2022.

TOVAR-SOTO, J. P.; PAREJA-FIGUEREDO, C. F.; GARCÍA-NAVARRETE, O. L.; GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, L. C. Performance evaluation of lora technology for implementation in rural areas. **Dyna**, scieloco, v. 88, n. 216, p. 69–78, 03 2021. ISSN 0012-7353. Disponível em [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532021000100069&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532021000100069&nrm=iso). Acesso em: 05 abr. 2022.

TRINDADE, N. C. **Análise temporal de dados de monitoramento de colmeias de abelhas.** 50 p. Monografia (Dissertação(Mestrado)) – Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/14925>. Acesso em: 02 mar. 2022.

USINAINFO. **Módulo GSM Arduino SIM800L GPRS/SMS Quad-Band - ORIGINAL.** 2023. Disponível em:<https://www.usinainfo.com.br/gps-arduino/modulo-gsm-arduino-sim800l-gprssms-quad-band-original-8526.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

YIM, D.; CHUNG, J.; CHO, Y.; SONG, H.; JIN, D.; KIM, S.; KO, S.; SMITH, A.; RIEGSECKER, A. An experimental lora performance evaluation in tree farm. In: **IEEE. 2018 IEEE sensors applications Symposium (SAS).** [S. l.], 2018. p. 1–6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8336764>. Acesso em: 07 fev. 2022.

ZACEPINS, A.; BRUSBARDIS, V.; MEITALOV, J.; STALIDZANS, E. Challenges in the development of precision beekeeping. **Biosystems Engineering**, Elsevier, v. 130, p. 60–71, 2015. ISSN 1537-5110. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511014002086>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ZACEPINS, A.; KVIESIS, A.; AHRENDT, P.; RICHTER, U.; TEKIN, S.; DURGUN, M. Beekeeping in the future—smart apiary management. In: **IEEE. 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC).** [S. l.], 2016. p. 808–812. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7501207>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E. Information processing for remote recognition of the state of bee colonies and apiaries in precision beekeeping (apiculture). **Biosystems and Information technology**, v. 2, n. 1, p. 6–10, 2013. Disponível em: [https://bit-journal.eu/publications/2013-05/bit\\_id\\_130502\\_zacepins.pdf](https://bit-journal.eu/publications/2013-05/bit_id_130502_zacepins.pdf). Acesso em: 06 jun. 2022.

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E.; MEITALOV, J. Application of information technologies in precision apiculture. In: **Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture (ICPA 2012).** [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: [https://www.ispag.org/abstract\\_papers/papers/abstract\\_1023.pdf](https://www.ispag.org/abstract_papers/papers/abstract_1023.pdf). Acesso em: 06 mar. 2022.

ZINAS, N.; KONTOGIANNIS, S.; KOKKONIS, G.; VALSAMIDIS, S.; KAZANIDIS, I. Proposed open source architecture for long range monitoring. the case study of cattle tracking at pogoniani. In: **Proceedings of the 21st Pan-Hellenic Conference on Informatics.** New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. p. 1–6. ISBN 9781450353557. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3139367.3139437>. Acesso em: 15 abr. 2022.