

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Estudo e Análise do Uso de IoT para Criar uma Rede de Comunicação nos Rios da Amazônia

Lucélia Cunha da Rocha Santos

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional (PPG-CCMC)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Lucélia Cunha da Rocha Santos

Estudo e Análise do Uso de IoT para Criar uma Rede de Comunicação nos Rios da Amazônia

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA*

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientadora: Profa. Dra. Sarita Mazzini Bruschi

USP – São Carlos
Junho de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

C237e Cunha da Rocha Santos, Lucélia
Estudo e Análise do Uso de IoT para Criar uma
Rede de Comunicação nos Rios da Amazônia / Lucélia
Cunha da Rocha Santos; orientador Sarita Mazzini
Bruschi. -- São Carlos, 2023.
87 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Ciências de Computação e Matemática
Computacional) -- Instituto de Ciências Matemáticas
e de Computação, Universidade de São Paulo, 2023.

1. IoT. 2. LoRa. 3. Comunicação. 4. Amazônia. 5.
Barco. I. Mazzini Bruschi, Sarita, orient. II.
Título.

Lucélia Cunha da Rocha Santos

**Study and Analysis of the Use of IoT to Create a
Communication Network in Rivers in the Amazon**

Dissertation submitted to the Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP – in accordance with the requirements of the Computer and Mathematical Sciences Graduate Program, for the degree of Master in Science. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Profa. Dra. Sarita Mazzini Bruschi

USP – São Carlos
June 2023

Ao meu Deus o Grande EU SOU e ao meu Senhor e Salvador JESUS CRISTO. Ao Único que é digno de receber toda honra, toda glória e todo louvor, eternamente.

Aos meus pais Jenêz e Luciene Rocha, às minhas irmãs Liene Rocha e Luciana Farias, ao meu esposo Alyson Santos e aos meus filhos Josué Alyson Santos e Caroline Santos. Bênçãos e herança que DEUS me abençoou

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu DEUS por sua infinita misericórdia em me abençoar com a direção, entendimento, sabedoria e resiliência para realizar esse trabalho e por colocar pessoas no meu caminho para me ajudar nesse grande desafio.

Aos meus pais Jenêz e Luciene Rocha, que nunca mediram esforços para me ajudar e me orientar na vida, nos meus estudos e em tudo o que fosse necessário para o meu bem estar e realizações. Muitas vezes viraram madrugadas trabalhando, não tiraram férias e realizaram várias horas extras de trabalho para que tudo fosse suprido para mim e minhas irmãs, sempre nos orientado a trilhar o caminho do bem e em temor a DEUS. Sou grata a DEUS por serem meus pais. Amo vocês.

À minhas irmãs Liene Rocha e Luciana Farias que sempre tiveram presente comigo me dando apoio e por muitas vezes sacrificaram os seus próprios interesses para que eu tivesse êxito nos meus estudos, DEUS as Abençoe. Agradeço especialmente a minha irmã Liene Rocha, que abriu mão do seu emprego e mudou-se para São Carlos-SP, para cuidar dos meus filhos, para que eu pudesse me dedicar exclusivamente ao trabalho de pesquisa. Josué e Caroline foram tão bem cuidados que passaram a chamá-la de "titia mamãe", expressão que resume o quanto se sentiam amados e cuidados. Sua dedicação e amor por nós, foram imensuráveis.

Ao meu esposo, Prof. Dr. Alyson Santos, sempre presente, nos bons e difíceis momentos, compartilhando sempre à sua experiência e conhecimento, foram muitas horas de discussões extremamente relevantes que contribuíram para o Projeto de Pesquisa, me ajudando a ser madura e segura, não mediu esforço para prover todas as coisas que fosse necessária para suprir para a nossa família, minha eterna gratidão.

Aos meus filhos Josué Alyson Santos e Caroline Santos, vocês são parte de toda a minha motivação, alegria e força. A existência de vocês na minha vida me fazem uma pessoa melhor.

Aos meus sogros José Rumão Santos e Marizete Santos (*in memoriam*), aos meus cunhados, Lissandro Santos, Lisângelo Santos e Adison Santos, por todo aprendizado e conhecimento que DEUS me abençoou através da vida de vocês. Em especial ao casal de cunhados Adison Santos e sua esposa Carla Santos, que sempre me deram apoio com os cuidados dos meus filhos Josué Alyson e Caroline, e acolhimento no período em que estivemos hospedados em sua casa.

À Profa. Dra. Sarita Mazzini Bruschi, minha orientadora. Não conseguirei colocar em palavras o quanto eu sou grata a DEUS por sua vida, a senhora foi mais que orientadora, a senhora foi acolhedora, parceira e motivadora. Por dispor do seu conhecimento, experiência

e orientações, foram horas de discussões excepcionais que nortearam para o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa em tantos desafios encontrados. Obrigada por cada palavra e gesto de incentivo, obrigada pela oportunidade de trabalhar com a senhora, serei eternamente grata.

Ao Prof. Dr. Júlio César Estrella, ao Prof. Dr. Francisco José Mônaco e ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Souza, pesquisadores do LaSDPC, por cada conselho e orientações, vocês foram muitos acolhedores e parceiros.

À Profa. Dra. Franklina Maria Toledo, sou grata a DEUS por sua vida, a senhora sempre me apresentava uma palavra de incentivo e apoio todas as vezes que nos encontrávamos pelos corredores do ICMC. Muitíssimo obrigada!

À prof. Elisa Yumi Nakagawa. Compartilhar a história da sua jornada de mestrado e doutorado me deram muita força, pois também sou mãe, e conciliar pesquisa e os cuidados com os filhos é muito desafiador. A senhora sempre foi solícita comigo, muitíssimo obrigada!

Ao casal, amigos, padrinhos e intercessores, Flávio e Lídia Phileme, jamais esquecerei o acolhimento de vocês, não tenho palavras que descrevam a minha gratidão por cada conselho e apoio. Também agradeço a filha de vocês, minha sobrinha de coração, Priscila Phileme, por tantos bons momentos que vivemos juntas, titia te ama muito.

Agradeço as minhas irmãs na fé, Sigrides Nascimento, Juraceli Pinheiro, Maria de Jesus Freitas, Átila Maria Campos e Micaele Félix que intercederam por mim e sempre transmitiam uma palavra vinda do SENHOR para me encorajar e seguir em frente.

Ao casal e amigos Vitor Silva Montes e Josiana Aparecida Fazani e aos seus filhos Samuel Henrique Fazani Montes e Samanta Carolina Fazani Montes. Não tenho palavras para agradecer o acolhimento de vocês em São Carlos-SP, vocês foram mais que amigos, vocês foram família, cuidaram de mim e de minha família, desde apresentar a cidade, encontrar moradia, escolas para crianças e o que mais fosse necessário. Vocês amaram a mim e a minha família de uma maneira tão profunda que eu jamais conseguirei expressar, ao ponto do meu filho Josué Alyson apresentar e chamar o Samuel de "meu irmão" e a Samanta e a Caroline se identificarem também como irmãs. DEUS nos presenteou com a vida de vocês. Minha profunda gratidão.

Ao Dr. em Engenharia Marcus Braga e Prof. Dr. Jucimar Britto, por confiarem no meu trabalho e darem todo o apoio no início dessa caminhada.

Ao Diretor Geral do IFAM Campus Manaus Distrito Industrial Sr. Nivaldo Rodrigues e Silva, pela parceria e por compartilhar de sua experiência e conhecimento.

Ao Capitão de Mar e Guerra da Reserva - Marinha do Brasil e Mestre em Ciências Navais, Sr. Almir Ribeiro Guimarães Júnior e ao Oficial Superior de Máquinas *Chief Engineer* da Reserva - Marinha Mercanti, Sr. Amilcar Vieira Senra, o conhecimento compartilhado por vocês foi de extrema importância para entendimento da navegação. Muitíssimo obrigada!

Ao Sr. Jezreel Barbosa, obrigada por sua parceria e orientações no desenvolvimento do

protótipo e também no auxílio nas realizações dos experimentos práticos. Também estendo o meu agradecimento ao sr. João Vitor Vieira, que também me auxiliou no Experimento Práticos *Indoor*: Salas com Obstáculos.

Ao Prof. Dr. Alyson Santos (IFAM/CMDI), o Prof. Esp. Edson Silva e sua esposa, Sra. Eline Silva (Enfermeira). Ao Sr. Goldema Francisco Oliveira (Técnico de Tecnologia da Informação - IFAM/Tefé), ao Sr. Nilton Lima e sua Sra. Evane Silva (pilotos da embarcação) e a Sra. Andreles Lima, proprietária da residência ribeirinha, utilizada como base nos experimentos. Eu jamais conseguiria realizar o Experimento Prático *Outdoor*: Barco Navegando no Rio Solimões, sem ajuda de todos vocês, voluntariamente, enfrentaram os desafios das muitas horas e dias de experimentos, sob forte calor em pleno rio Solimões, exatamente no meio da Amazônia, e não aceitaram nenhum tipo de favor, exceto o meu agradecimento. Serei eternamente grata a DEUS pela vida de vocês, não tenho palavras que exprimem a atitude de amor de vocês por mim. DEUS os Abençoe.

Ao Designer Gráfico Edmar Britto, por sua contribuição nas ilustrações no cenário do projeto de pesquisa.

Ao casal e amigos Rodrigo e Dayana Abraham, por sua contribuição na gravação e edição do vídeo referente ao Projeto de Pesquisa, que foi apresentada no evento "Elas Fazem Ciência" no Primeiro Encontro da Pós-Graduação da USP.

Aos colegas de pesquisa do LaSDPC, Antonio Marcos Ferreira, Fernanda Guidoti, Nathalia Lopes, Gabriel Tomiatti Andreazi, Welington Martins, Matheus Saldanha, Leonildo José Azevedo, Guilherme Martins e Patrícia Franco, vocês foram sempre parceiros e solícitos, jamais esquecerei.

Ao Erikson Júlio Aguiar, obrigada pelo café que preparava para todos no laboratório, pequenas coisas fazem diferença.

Ao Dr. em Ciência da Computação e Matemática Computacional, Sr. Felipe Giuntini, obrigada por compartilhar seus conhecimentos e experiência. Obrigada por sempre ser solícito. Suas sugestões foram extraordinárias. MUITÍSSIMO Obrigada!

Aos amigos Anderson Iwazaki, Isadora Ferrão, Allan Victor Mori, Mariana Souza, Vinícius dos Santos e Caio Oliveira, minha gratidão por todo apoio e parceria de vocês.

Por fim, agradeço ao CAPES, pelo financiamento deste trabalho.

*“Tudo tem o seu tempo determinado,
e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”
(Eclesiastes 3:1)*

RESUMO

SANTOS, L. C. R. **Estudo e Análise do Uso de IoT para Criar uma Rede de Comunicação nos Rios da Amazônia**. 2023. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2023.

A Amazônia é um dos biomas mais rico em biodiversidade do mundo. Ela é formada por um conjunto de ecossistemas que abrange a floresta Amazônica, considerada mundialmente a maior floresta tropical, com fauna e com flora bastante diversificada. Além disso, a Amazônia possui a maior bacia hidrográfica do planeta. As águas dos mais de 7 mil rios somam mais de 25 mil km de vias navegáveis. Entretanto, a riqueza natural da Amazônia se contrapõe dramaticamente aos baixos índices de desenvolvimento social, econômico e tecnológico da região. Na área de tecnologia, especificamente no segmento que abrange comunicação de dados, há regiões na Amazônia que não há sinal de telefonia e nem de Internet. Desta forma, esse trabalho propõe o uso de uma rede de Internet das Coisas (IoT) par-a-par, formada por um dispositivo LoRa-Transmissor e um dispositivo LoRa Receptor utilizando os barcos como veículos. Foram definidos dois cenários de experimentos práticos. O primeiro foi denominado Experimento *Indoor* e foi realizado em salas com obstáculos, em uma área urbana, porém em uma instalação predial localizada em uma área de mata no entorno. O segundo foi denominado Experimento *Outdoor* e foi realizado no Rio Solimões, em uma comunidade ribeirinha na cidade de Tefé-AM, com um dispositivo LoRa Transmissor acoplado em um barco e outro dispositivo LoRa-Receptor fixado na casa de um ribeirinho. Os resultados dos experimentos práticos mostram que é viável a transferência de dados com o barco nas velocidades de 10, 20 e 30 km/h, com distância que pode alcançar 1352 metros e tempo de comunicação de pouco mais de 2 minutos no cenário de afastamento. Já no cenário de aproximação a distância e o tempo de comunicação são reduzidos, respectivamente, a 1563 metros, e 02 minutos e 47 segundos. O projeto também contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da Organização das Nações Unidas - ONU, como a ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis e ODS 15 - Vida terrestre.

Palavras-chave: IoT, LoRa, Comunicação, Amazônia, Barco,.

ABSTRACT

SANTOS, L. C. R. **Study and Analysis of the Use of IoT to Create a Communication Network in Rivers in the Amazon.** 2023. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2023.

The Amazon is one of the richest biomes in biodiversity in the world. It is formed by a set of ecosystems that encompass the Amazon rainforest, considered the world's largest tropical forest with diverse fauna and flora. In addition, the Amazon has the largest river basin on the planet. The waters of more than 7 thousand rivers add up to more than 25 thousand km of waterways. However, the natural richness of the Amazon dramatically contrasts with the low levels of social, economic, and technological development in the region. In the area of technology, specifically in the segment that covers data communication, there are regions in Amazon where there is no telephone or Internet signal. This work proposes using a peer-to-peer Internet of Things (IoT) network, formed by a LoRa Transmitter device and LoRa Receiver using the boats as a vehicles. Two scenarios were defined for practical experiments. The first was called the Indoor Experiment and was carried out in rooms with obstacles, in an urban area, but in a building installation located in a wooded area in the surroundings. The second was called Outdoor Experiment, and it was held on the Solimões River, in a riverside community in the city of Tefé-AM, with a LoRa Transmitter device docked on a boat and another LoRa Receiver device fixed in the house of a riverside dweller. The results of practical experiments show that it is feasible to transfer data with the boat at speeds of 10, 20, and 30 km/h, with a distance that can reach 1352 meters and a communication time of just over 2 minutes in the scenario of removal. In the approach scenario, the distance and communication time are reduced, respectively, 1563 meters and 02 minutes, and 47 seconds. The project also contributes to the Sustainable Development Goals - SDGs of the United Nations - UN, such as SDG 9 - Industry, innovation and infrastructure, SDG 11 - Cities and communities sustainability, and SDG 15 - Life on Earth.

Keywords: IoT, LoRa, Communication, Amazon, Boat.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia do Projeto de Pesquisa.	30
Figura 2 – Arquitetura das Redes Veiculares.	33
Figura 3 – Alocação de canais de espectro para comunicação DSRC.	33
Figura 4 – Pilha de Protocolos Wave.	34
Figura 5 – Cenário onde a IoT pode ser aplicada.	36
Figura 6 – Arquitetura IoT	37
Figura 7 – Representação sob a forma de Bloco do conceito da IoT	39
Figura 8 – Pilha de Protocolo	40
Figura 9 – Arquitetura de Rede	40
Figura 10 – Estrutura CoDPON.	44
Figura 11 – Cenário de uma VANET fluvial.	45
Figura 12 – Cenário 1: alcance máximo de comunicação entre a unidade transmissora e a unidade receptora.	46
Figura 13 – Cenário 2: mobilidade de um veículo no enlace de comunicação.	47
Figura 14 – Cenário proposto para rede de cartografia IoTMaT	48
Figura 15 – Metodologia do Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos.	51
Figura 16 – Equipamentos LoRa.	52
Figura 17 – Cenário do primeiro experimento.	54
Figura 18 – Ilustração do Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos.	54
Figura 19 – LoRa - RSSI X SNR.	55
Figura 20 – Sinal de RSSI - Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos.	56
Figura 21 – Sinal de SNR - Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos.	56
Figura 22 – Metodologia Experimento <i>Outdoor</i> : Barco Navegando no Rio Solimões	61
Figura 23 – Cenário do segundo experimento.	63
Figura 24 – Afastamento e Aproximação entre um Barco com o LoRa Transmissor e um LoRa Receptor fixado a margem do Rio Solimões.	64
Figura 25 – Afastamento ou Aproximação em relação à Margem A do Rio Solimões.	64
Figura 26 – RSSI e SNR em Função da Distância: Afastamento (Barco deslocando da Margem A em direção a Margem B)	68
Figura 27 – RSSI e SNR em Função da Distância: Aproximação (Barco descolocando da Margem B em direção a Margem A)	69
Figura 28 – Taxa de Entrega de Pacotes nos cenários de Afastamento e Aproximação.	72
Figura 29 – Variação do ângulo de mudança de direção.	74

Figura 30 – Trajetória do barco no Rio Solimões. 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados.	48
Tabela 2 – Parâmetros de configuração da rede LoRa.	52
Tabela 3 – Experimento <i>Indoor</i> : RSSI e SNR	55
Tabela 4 – Cenário de Afastamento (Barco deslocando da Margem A em direção a Margem B).	66
Tabela 5 – Cenário de Aproximação (Barco deslocando da Margem B em direção a Margem A).	66
Tabela 6 – Variação do ângulo de Mudança de Direção - Cenários de afastamento e aproximação dos barcos com as respectivas velocidades de 10, 20 e 30 km/h.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	<i>Third Generation of Wireless Mobile Telecommunications Technology</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
CMDI	Campus Manaus Distrito Industrial
CR	<i>Code Rate</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
DACTs	Dados de Aplicação CoDPON em Trânsito
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communications</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communication</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Eletronics Engineers</i>
IFAM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Amazonas
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MADNET	<i>Ad-hoc/Delay Tolerant</i>
MANET	<i>Mobile Ad-hoc Network</i>
NS-2	<i>Network Simulator Version 2</i>
NS-3	<i>Network Simulator Version 3</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SF	<i>Spreading Factor</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
V2I	<i>Vehicle-to-Infraestructure</i>
V2V	<i>Vehicle-to-Vehicle</i>

VANET *Vehicular Ad hoc NETwork*
VHF *Very High Frequency*
WAVE *Wireless Access in the Vehicular Environment*
WLAN *Wireless Local Area Network*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Contextualização	25
1.2	Motivação	26
1.3	Objetivos	28
1.4	Metodologia	29
1.5	Estrutura	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1	Considerações Iniciais	31
2.2	Redes Veiculares	31
2.2.1	<i>Padrões de Redes Veiculares</i>	32
2.2.2	<i>Roteamento das redes VANETs</i>	34
2.3	Internet das Coisas	35
2.3.1	<i>Arquitetura da IoT</i>	36
2.3.2	<i>Blocos Básicos do Conceito IoT</i>	38
2.4	LoRa e LoRaWAN	39
2.5	Considerações Finais	41
3	TRABALHOS RELACIONADOS	43
3.1	Considerações Iniciais	43
3.2	<i>Continuous Displacement Plan Oriented Network - CoDPON</i>	43
3.3	Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica - DTN Amazônia	44
3.4	Análise de Desenvolvimento de Uma Rede Sem-Fio de Baixa Potên- cia Longo Alcance para a Internet das Coisas	46
3.5	<i>Building Novel VHF-Based Wireless Sensor Networks for the Internet of Marine Things - IoTMat</i>	47
3.6	Tabela Comparativa das Abordagens dos Trabalhos Relacionados	48
3.7	Considerações Finais	50
4	EXPERIMENTO <i>INDOOR</i> : SALAS COM OBSTÁCULOS	51
4.1	Considerações Iniciais	51
4.2	Metodologia do Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos	51
4.3	Execução do Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos	53

4.4	Resultados no Experimento <i>Indoor</i> : Salas com Obstáculos	53
4.5	Considerações Finais	57
5	EXPERIMENTO <i>OUTDOOR</i> : BARCO NAVEGANDO NO RIO SOLIMÕES	59
5.1	Considerações Iniciais	59
5.2	Visão Geral	59
5.3	Metodologia do Experimento <i>Outdoor</i> : Barco Navegando no Rio Solimões	60
5.4	Execução do Experimento <i>Outdoor</i> : Barco Navegando no Rio Solimões	62
5.5	Resultados no Experimento <i>Outdoor</i> : Barco Navegando no Rio Solimões	65
5.5.1	<i>Afastamento - RSSI e SNR em função da Distância</i>	67
5.5.2	<i>Aproximação - RSSI e SNR em função da Distância</i>	69
5.5.3	<i>Taxa de Entrega de Pacotes</i>	70
5.5.4	<i>Variação do Ângulo de Mudança de Direção</i>	71
5.6	Considerações Finais	74
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	77
6.1	Contribuições Científicas	79
6.2	Trabalhos Futuros	80
	REFERÊNCIAS	81

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O uso da Internet se faz presente sob vários aspectos na rotina diária das pessoas e das instituições públicas e privadas, seja nos segmentos de finanças, comércio, indústrias criativas e entretenimento, saúde, educação, transporte e logística, ciência, gestão ambiental e segurança (Tanenbaum; Steen, 2017; Coulouris *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2016c). Nos mais diversos segmentos do uso de internet, existem objetos físicos e virtuais em redes conectadas à Internet. Esses objetos físicos são integrados com sensores e sistemas inteligentes que podem coletar, identificar, processar, armazenar, analisar dados e compartilhá-los com "coisas"¹. Esses objetos físicos e virtuais são conhecidos como Internet das Coisas (ITU, 2015; Kassab; Darabkh, 2020; Dachyar; Zagloel; Saragih, 2019; Ray, 2018; Glaroudis; Iossifides; Chatzimisios, 2020).

Embora exista todo esse avanço tecnológico, infelizmente, existem muitas áreas habitadas no mundo em que não há uma infraestrutura de comunicação de acesso à Internet ou há uma infraestrutura de comunicação muito precária bluee há alguns lugares que não há nenhuma infraestrutura de comunicação de dados (de Souza; Costa; Francês, 2012; Liu *et al.*, 2015; Margalho; Efrat; Johnson, 2016), como por exemplo, nos municípios da Amazônia, mais precisamente, no estado do Amazonas. Esse estado tem uma característica peculiar que se difere de todas as outras regiões brasileiras. A geografia de rios e florestas (Hemming, 2012; de Oliveira *et al.*, 2012; Walker *et al.*, 2010) é predominante, dificultando a criação de estradas, fazendo com que as malhas viárias intermunicipal e interestadual sejam pequenas. Desta forma, para se deslocar entre algumas cidades e comunidades, a única via de transporte é a via fluvial, onde os rios são as estradas e os barcos, as lanchas e as balsas são os principais meio transporte de cargas e passageiros (Liu *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2011; Bonilla; Bhandari; Rodarte, 2021).

Implantar uma infraestrutura de comunicação de dados com acesso à Internet é um

¹ Objetos com tecnologia embarcada que se comunicam com outros dispositivos através da internet

desafio a ser superado nessa região. Desse modo, novas alternativas de comunicação de dados, precisam ser investigadas, como o uso de redes ad-hoc usando os barcos como veículos (Soares; Rodrigues, 2021; Tornell *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2013) em um cenário fluvial, utilizando dispositivos de Internet das Coisas em uma rede que alcance uma grande área, com baixo consumo de energia e baixo custo, como a técnica de modulação LoRa (SEMTECH, 2022; Alliance, 2022; Hwang *et al.*, 2019; Saari *et al.*, 2018; Sinha; Wei; Hwang, 2017). Deve-se considerar que as redes móveis formadas pelos barcos possuem vários desafios técnicos, tais como o alto grau de mobilidade dos nós e conectividade intermitente (Wang; Zheng; Mitton, 2016; PAUL *et al.*, 2017; Sharma; Kaushik, 2019).

Neste trabalho foi proposto o uso da Internet das Coisas em uma rede formada para-para composta por um dispositivo LoRa Transmissor e um dispositivo LoRa Receptor, em dois cenários de experimentos práticos, para caracterizar o sinal de rádio LoRa no ambiente da Amazônia. O primeiro cenário foi realizado em uma área urbana, nas instalações (salas) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM/CMDI), localizado em Manaus (Distrito Industrial). Foi fixado um dispositivo LoRa Receptor em uma sala, e um dispositivo LoRa Transmissor na sala ao lado, havendo uma parede de concreto separando as salas. Posteriormente, o dispositivo LoRa Transmissor foi posicionado nas salas seguintes. O objetivo foi verificar o comportamento do sinal de potência e a relação sinal-ruído da modulação LoRa nesse ambiente.

O segundo cenário foi realizado no rio, na hidrovia do Médio Solimões, na comunidade ribeirinha localizada na ilha Panamin, região da cidade de Tefé-AM. O dispositivo LoRa Transmissor foi acoplado em barco que se afastava ou se aproxima de uma casa ribeirinha, onde estava fixado o dispositivo LoRa Receptor. Foi caracterizado o alcance do sinal de potência e sinal-ruído da modulação LoRa e a viabilidade de transferência de dados do dispositivo LoRa Transmissor e o dispositivo LoRa Receptor.

1.2 Motivação

A região da Amazônia possui a maior bacia hidrográfica do mundo e, desta forma, essa região possui uma característica diferente em relação à malha viária tradicional. Devido ao curso dos rios, o custo para construir estradas, torna-se muito caro devido às pontes que precisam ser construídas de uma margem a outra dos rios. Por exemplo, há trechos do rio Amazonas (um dos principais rios da Amazônia e do mundo) que a sua largura chega a 20 km (não interrompido por ilhas) no período da vazante (seca dos rios) e cerca de 50 km no período da cheia dos rios. Devido a essa peculiaridade, os rios da Amazônia tornam-se estradas, onde a navegação é um dos principais meio de transporte para chegar a outras localidades. Nas vias fluviais, que são as estradas de rios, os barcos são equivalentes aos carros nas estradas de terra. Dependendo da região, ou seja, da cidade ou comunidade, os rios são as únicas estradas para chegar de um lugar

ao outro (Santos *et al.*, 2016a; Couto; Morais, 2014; Nascimento, 2019).

Um outro fator que impossibilita a criação de estradas, é a preservação da floresta nativa, ou seja, nessa região, há muitas implicações ambientais que precisam ser minuciosamente observadas (Santos *et al.*, 2016a; DNIT, 2022; Couto; Morais, 2014; Nascimento, 2019; *Marinha do Brasil*, 2017). Dado esse cenário, há regiões na Amazônia que até a pouco tempo, não havia sistema de rede elétrica, conseqüentemente, não havia sistemas de comunicação de dados. Isto implicava diretamente no desenvolvimento da região, fazendo com que as pessoas migrassem para grandes centros em buscas de oportunidades melhores para viver ou em busca de algum tipo de serviço, como atendimento médico por exemplo (Simas; Lima, 2013; Nascimento, 2019; Santos *et al.*, 2016a).

Há comunidades na região da Amazônia que estão totalmente desprovidas de uma infraestrutura de telecomunicação, implicando diretamente nos serviços de educação, atendimento médico, segurança, economia e social. Há muitos serviços nos comércios que são realizados eletronicamente, mas os comerciantes e população necessitam se deslocar para outras cidades para acessarem esses serviços (Simas; Lima, 2013). Para amenizar alguns desses problemas, alguns serviços básicos de saúde e educação são oferecidos através de barcos, como o Navio Hospital da Marinha. A equipe médica da Marinha é composta por médicos clínicos gerais, odontologistas, proctologistas, dermatologistas, ginecologistas/obstetrícia e radiologistas. O Navio Hospital é equipado com instrumentos para a realização de pequenos procedimentos cirúrgicos e com uma farmácia para fornecer medicamentos aos pacientes da comunidade e também possui um helicóptero para deslocar pacientes com casos graves para a capital Manaus (*Marinha do*, 2022). Há também um outro projeto que conta com uma equipe de médicos voluntários que realizam um trabalho similar aos serviços médicos oferecidos pela Marinha, um trabalho denominado como Doutores das Águas, também oferecendo serviços de especialidades médicas como geriatria, infectologista, pediatria, dermatologista, odontologia, enfermeiros, farmacêuticos entre outros (Prado; Leão Júnior, 2022; Record, 2018).

O Senai também presta o serviço de educação através do Barco Escola Samaúma, equipado com salas de aulas tradicionais para formação dos comunitários em cursos profissionalizantes (SENAI, 2022). Na segurança, as equipes policiais possuem lanchas patrulhas para realizar operações policiais, pois ocorrem muitos casos de pirataria/roubo a embarcações que transportam cargas, cargas/passageiros e navios petroleiros (G1 Amazonas, 2022; Rede Record, 2017; Diário do Amazonas, 2022; Profissão Repórter, 2022).

Atualmente, existem infraestruturas subfluvial de fibra óticas pelo leito do rio, criando uma rede de dados de alta velocidade, conectando Manaus – Coari – Tefé (Infovia Rio Solimões) e Manaus – Novo Airão (Infovia Rio Negro), que fazem parte do projeto Amazônia Conectada (Amazônia Conectada, 2022). Existe também um outro projeto chamado “Programa Amazônia Integrada e Sustentável - PAIS” onde pretende-se ampliar a infraestrutura de comunicações na Região Amazônica através da rede de fibra ótica subfluvial interligando as cidades de Macapá

- AP a Tabatinga - AM , passando por Manaus - AM, com ramificações para Almeirim - PA, Santarém - PA, Alenquer - PA, Breves - PA, Belém - PA, Porto Velho - RO, Boa Vista - RR, Rio Branco - AC, Cruzeiro do Sul - AC, São Gabriel da Cachoeira - AM e Parintins - AM ([Ministério das Comunicações, 2022](#); [Notícias Gov.Br, 2022](#); [Norte Conectado, 2022](#)). Entretanto, as comunidades localizadas nas áreas remotas da Amazônia, ainda não foram beneficiadas com a infraestrutura de comunicação subfluvial.

Diante da necessidade da região e partindo da infraestrutura que a área possui, ou seja, a partir das cidades que possuem infraestrutura de comunicação, surgiu a ideia de criar uma rede de Internet das Coisas, através dos barcos que trafegam nos rios. A proposta é que os barcos possam transmitir dados através de arquiteturas de Internet das Coisas existentes, ou seja, os barcos serão pontos de conexões entre pontos fluviais, como, cidade/comunidade ribeirinhas, restaurantes fluviais, hotéis fluviais, postos de gasolinas fluviais, entre outros, fazendo com que os rios tornem-se uma grande rede de conexões. Assim, foi realizado um teste de alcançabilidade entre um barco equipado com um dispositivo LoRa Transmissor, que se afastava ou se aproximava de um outro dispositivo LoRa Receptor, fixado na casa de um ribeirinho, localizado na região do Médio Solimões, nas proximidades da cidade de Tefé-AM.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste projeto é criar uma rede de comunicação de dados par-a-par, utilizando os barcos como veículos com dispositivos de Internet das Coisas, acoplados com a modulação LoRa.

Os objetivos específicos deste projeto de mestrado são:

- Avaliação do sinal de potência, relação sinal-ruído da modulação LoRa ([SEMTECH, 2022](#); [Sensing Labs, 2022](#)) na região da Amazônia na área urbana e em área ribeirinha no rio Solimões, com o dispositivo de Internet das Coisas;
- Avaliação da capacidade de transferência de dados ([Priyanta et al., 2019](#); [Almeida et al., 2018](#); [Li et al., 2018](#); [Rubinstein et al., 2009](#)) através da modulação LoRa nos cenários de Afastamento e Aproximação de um barco acoplado com o dispositivo de Internet das Coisas e um ponto fixo também acoplado com o dispositivo de Internet das Coisas na casa de um ribeirinho no Rio Solimões, proximidades da cidade de Tefé-AM;
- Análise das métricas de desempenho na comunicação (alcance máximo, tempo máximo, distância de comunicação, tempo de comunicação, sinal de potência relação sinal-ruído e a taxa de entrega de pacotes) e a caracterização das variáveis: ângulo e informações de gps (latitude e longitude) durante a transmissão e a recepção de dados na rede LoRa.

1.4 Metodologia

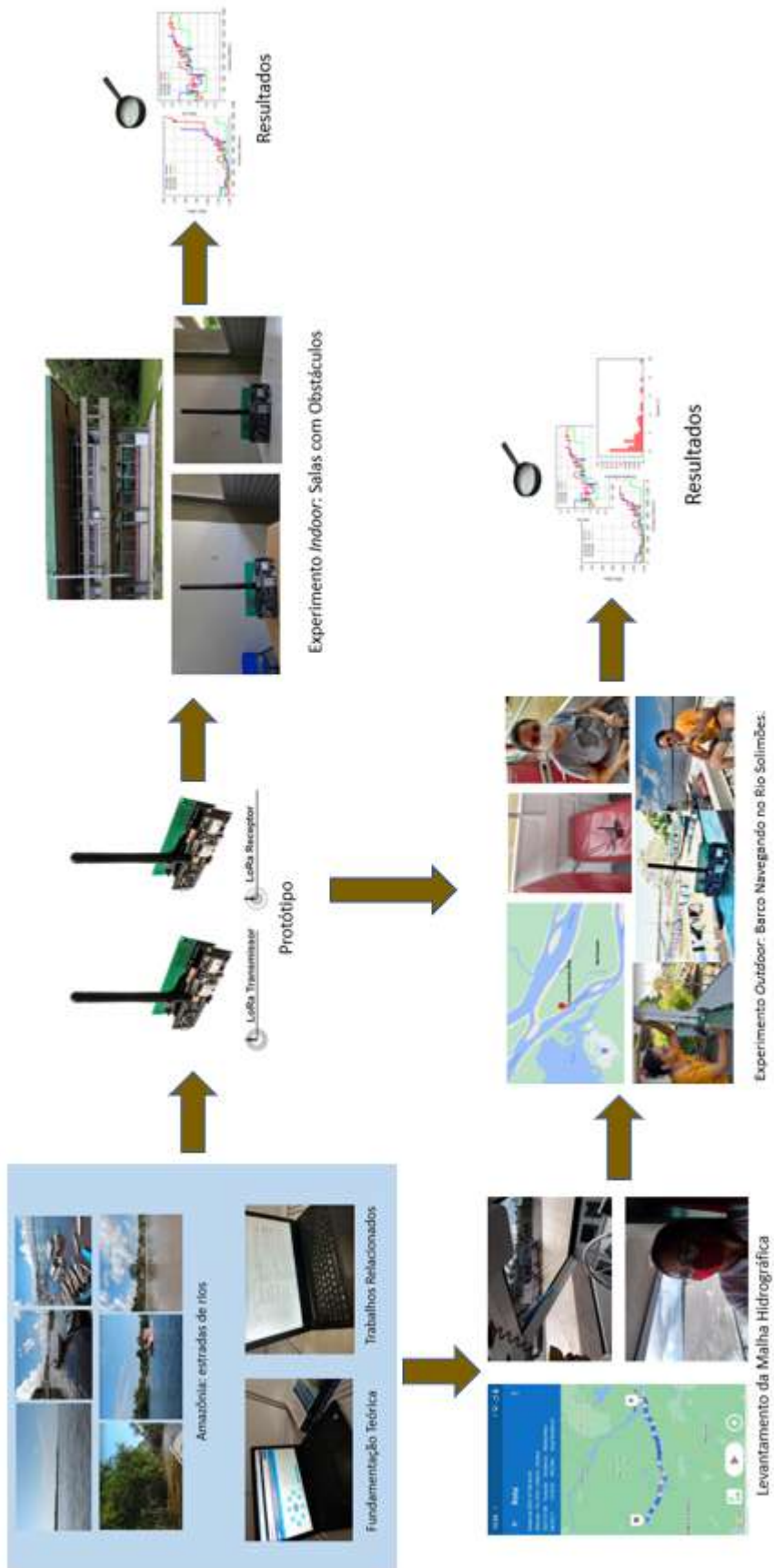
A metodologia de desenvolvimento do projeto de pesquisa (Figura 1, vide página 30), consistiu em cumprir etapas com o propósito de alcançar os objetivos especificados neste documento. As etapas realizadas no projeto de pesquisa foram:

- Levantamento bibliográfico dos assuntos que fundamentam as tecnologias utilizadas como: Redes Veiculares, IoT, LoRa e LoRaWan;
- Investigação dos trabalhos relacionados que fundamentam o projeto de pesquisa dessa dissertação.
- Realização do levantamento da malha hidrográfica do itinerário dos barcos ao longo das calhas dos rios, no trecho entre Manaus-Am e Tefé-AM, sentido indo (subindo o rio) e voltando (descendo o rio) e em torno das comunidades das respectivas cidades;
- Estudo das regras de navegação e manobras dos barcos, tanto para ultrapassagem e cruzamento e estudos dos fatores que poderiam influenciar nos resultados dos experimentos, como correnteza dos rios, espelhamento das águas dos rios, temperatura e umidade;
- Criação dos protótipos que foram utilizados nos experimentos práticos;
- Definição de Cenário dos Experimentos Práticos: foram planejados dois cenários de experimentos práticos. O primeiro cenário de experimentos foi realizado em ambiente *Indoor*, com uma rede par-a-par formada nas salas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM CMDI. Já o segundo cenário de experimentos foi realizado em ambiente *Outdoor*, às margens do rio Solimões, que consiste em caracterizar a comunicação da rede par-a-par formada entre um barco móvel com dispositivo LoRa acoplado e um dispositivo LoRa Receptor fixado na casa do ribeirinho;
- Realização dos experimentos práticos para cada cenário proposto e análise dos resultados encontrados.

1.5 Estrutura

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 explana a Fundamentação Teórica necessária para o desenvolvimento do projeto, mais especificamente os conceitos referentes a: redes Redes Veiculares, Internet das Coisas, LoRa e LoRaWan. No Capítulo 3 são apresentados os Trabalhos Relacionados a este projeto de pesquisa e uma análise comparativa entre eles. No Capítulo 4 é apresentado o Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos, bem como os resultados encontrados e no Capítulo 5 é exposto o Experimento *Outdoor*: Barco Navegando no Rio Solimões e os resultados obtidos. Por fim, no Capítulo 6 serão apresentadas as Conclusões e os Trabalhos Futuros.

Figura 1 – Metodologia do Projeto de Pesquisa.



Fonte: Própria autora

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações Iniciais

Este Capítulo apresenta os principais conceitos necessários para o desenvolvimento deste projeto de mestrado. Na Seção 2.2 serão descritos os conceitos das Redes Veiculares. Na Seção 2.3 serão abordados os conceitos relacionados a Internet das Coisas. Adiante, na Seção 2.4 serão apresentados os conceitos relacionados a LoRa e LoRaWan. Por fim, na Seção 2.5 será apresentada as considerações finais deste capítulo.

2.2 Redes Veiculares

As Redes Veiculares (*Vehicular Ad hoc NETWORK* (VANET)) são redes formadas por veículos e por equipamentos fixos localizados no entorno das vias. As suas aplicações estão voltadas para segurança no trânsito, entretenimento e assistência ao motorista (Santos *et al.*, 2016a; Menegutte; De Grade; Loureiro, 2018; Shahzamal; Pervez, 2016).

Diversas tecnologias têm sido integradas aos veículos automotores com a finalidade de reduzir os riscos e os perigos relacionados aos próprios veículos, aos condutores, às vias de trânsito e ao ambiente que o veículo está trafegando. São exemplos dessas tecnologias os sistemas de frenagem, de velocidade, de ré, de detecção da aproximação de outros veículos, dentre outros, que se utilizam dos sensores ¹ e dos atuadores ² para detectar e atuar no ambiente veicular. Somados aos sensores e atuadores tem-se o sistema de comunicação entre os veículos, que permite a interação via internet entre usuários móveis. Esse cenário de usuário e trânsito forma um Sistema Inteligente de Transporte (*Intelligent Transport System* (ITS)), o qual permite a monitoração do tráfego, como por exemplo, auxiliando o cruzamento entre vias sem sinalização

¹ são dispositivos que captam sinais físico/químico e transforma-os em sinais elétricos (medição ou monitoramento)

² são dispositivos que captam sinais elétricos e os transformam em uma saída física/mecânica

e/ou prevenindo as colisões entre veículos, além do acesso à Internet em qualquer tempo e em qualquer lugar (Costa *et al.*, 2018; Alves *et al.*, 2009; Meneguette; De Grade; Loureiro, 2018).

A arquitetura das VANETs são determinantes em como os nós se organizam e se comunicam. A arquitetura pode ser classificada em rede infraestruturada, rede *Ad Hoc* ou rede híbrida (Costa *et al.*, 2018; Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a; Meneguette; De Grade; Loureiro, 2018):

- Na rede infraestruturada (*Vehicle-to-Infrastructure (V2I)*) os veículos se comunicam com equipamentos fixos situados nas vias de tráfego. Quando o veículo encontra-se dentro do raio de cobertura do equipamento fixo na via, é realizado o envio/recebimento de pacotes de dados pela rede formada entre o veículo e o equipamento fixo. Esse equipamento funciona como um ponto de acesso, centralizando todo o tráfego da rede e servindo como um ponto intermediário para se estabelecer a comunicação. A vantagem desse modo é o aumento da conectividade e a possibilidade de se interligar com outras redes, como por exemplo, a Internet (Figura 2a).
- Na rede *ad hoc (Vehicle-to-Vehicle (V2V))* a comunicação de dados ocorre apenas entre veículos, sem qualquer suporte externo ou elemento centralizador. Os pacotes de dados são enviados e/ou recebidos de um nó (veículo) para outro nó (veículo) dentro da área de cobertura. Os pacotes são retransmitidos entre os nós intermediários até chegar ao nó destino utilizando-se da técnica de múltiplos saltos. Devido a variação da densidade dos nós e o padrão de mobilidade, poderá ocorrer desconexão entre os nós, afetando em princípio, a transmissão de dados (Figura 2b).
- A rede híbrida (*Hybrid*) é a combinação das arquiteturas V2I e V2V. Nessa arquitetura há um aumento da conectividade, dado que a comunicação ocorre entre os veículos e dos veículos com a infraestrutura fixa no entorno das vias (Figura 2c).

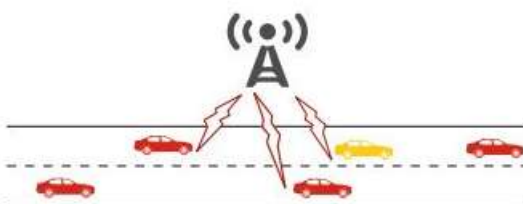
2.2.1 Padrões de Redes Veiculares

Os Estados Unidos é o país pioneiro em padronizar as redes veiculares. A *Federal Communications Commission (FCC)*, órgão do governo americano que regulamenta os meios de comunicações nos Estados Unidos, alocou 75 MHz do espectro de frequências, na faixa de 5.9 GHz (Figura 3), para comunicações dedicadas de curto alcance (*Dedicated Short Range Communications (DSRC)*). A faixa DSRC é livre, contudo, precisa ser licenciada para uso, e há restrições em termos de aplicações e tecnologias (Santos *et al.*, 2016a; Alves *et al.*, 2009; Eichler, 2007).

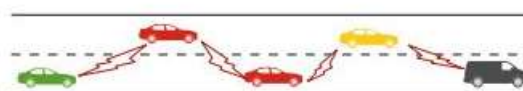
Em 2004, o *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* iniciou o processo de padronização de comunicação em redes veiculares, conhecido como IEEE 802.11p WAVE

Figura 2 – Arquitetura das Redes Veiculares.

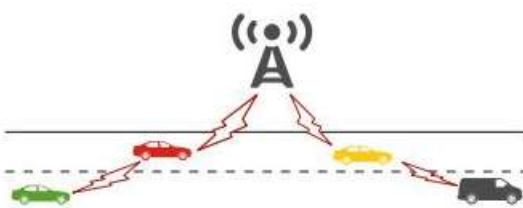
(a) Rede Infraestruturada.



(b) Rede Ad Hoc

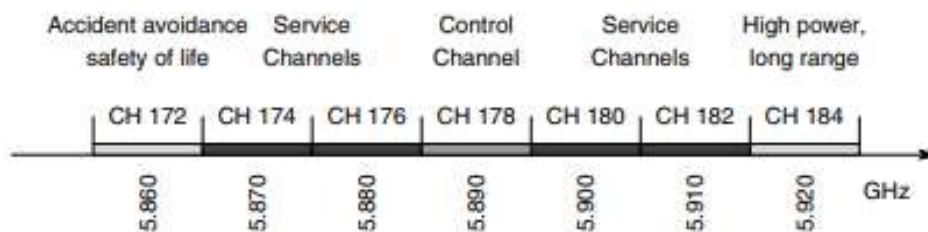


(c) Rede Híbrida



Fonte: (Meneguette; De Grade; Loureiro, 2018)

Figura 3 – Alocação de canais de espectro para comunicação DSRC.



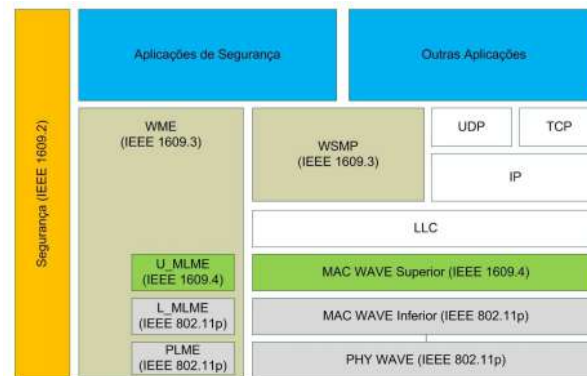
Fonte: (Eichler, 2007)

(*Wireless Access in the Vehicular Environment (WAVE)*) (Figura 4). A organização da arquitetura WAVE está documentada da seguinte forma: (Eichler, 2007; Alves *et al.*, 2009; Mir; Filali, 2014)

- IEEE P1609.1: Gerente de recursos – detalha o formato das mensagens, serviços e interfaces suportados pelo padrão;
- IEEE P1609.2: Segurança – provê os serviços de segurança das aplicações e gerenciamento de mensagens;
- IEEE P1609.3: Serviços de rede e de transportes – descreve o funcionamento da transmissão e recepção de mensagens curtas;
- IEEE P1609.4: Operação de múltiplos canais de serviços (*Service Channels - SCH*);

- IEEE 802.11: define normas para rede sem-fio local (*Wireless Local Area Network* (WLAN)) e rede Wi-Fi;
- IEEE 802.11p: define as camadas físicas e de controle de acesso ao meio para redes veiculares.

Figura 4 – Pilha de Protocolos Wave.



Fonte: (Eichler, 2007)

2.2.2 Roteamento das redes VANETs

A alta mobilidade dos nós e a inconstância dos enlaces sem-fio tornam o roteamento das redes VANETs bastante desafiador. Desta forma foram criados alguns protocolos de roteamento para operar nessas situações, como os protocolos topológicos, os protocolos geográficos, os protocolos oportunistas e os protocolos de disseminação das informações (Kurose; Ross, 2014; Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a).

No protocolo topológico é encontrado o melhor caminho entre qualquer par origem-destino da rede. O melhor caminho pode ser a rota que fornece o menor caminho na rede, dependendo da métrica a ser utilizada. Tempo de contato, distância e capacidade do enlace são exemplos de métricas que podem ser utilizadas no problema a ser solucionado em questão. Um outro ponto importante é que esses protocolos são classificados em protocolos proativos, reativos e híbridos. Os protocolos proativos geram uma lista com atualizações periódicas das rotas, para cada um dos nós da rede. Já os protocolos reativos constroem as rotas dos envios dos dados somente quando há dados a enviar. Ao passo que os protocolos híbridos atualizam sob demanda das rotas mais utilizadas (Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a).

Os protocolos geográficos, ou em posicionamento, fornecem escalabilidade em ambientes de alta mobilidade. Assim, todos os nós da rede possuem um serviço de localização como o *Global Positioning System* (GPS). O nó de origem envia pacotes em direção a localização do nó destino por múltiplos saltos. Desta forma, o nó origem precisa conhecer a posição dos seus nós vizinhos, por meio de sondas enviadas periodicamente, e precisa conhecer o posicionamento do nó destino através do seu sistema de localização (Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a).

Os protocolos oportunistas utilizam as oportunidades de contato entre os nós da rede para disseminar os pacotes dos dados. Entretanto, não há garantia do estabelecimento de caminhos fim-a-fim entre nó origem e nó destino. Este protocolo é bastante utilizado em redes DTNs (Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a).

Os protocolos de disseminação de dados levam em consideração a topologia da rede para criar caminhos de disseminação conectados. A mudança constante da topologia contribui para aumentos na taxa de *overhead* e atraso de entrega. Assim, a estratégia desse protocolo é obter informações de tráfego em tempo real para escolher os melhores veículos retransmissores de pacotes. Este processo é feito através de uma métrica calculada por cada veículo candidato, podendo priorizar as métricas como distância, tempo ao destino e velocidade (Alves *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2016a).

2.3 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (*Internet of Things* (IoT)) tem sido empregada nas atividades cotidianas das pessoas, dos órgãos públicos e privados, nas interconexões de dispositivos como cafeteiras, condicionadores de ar, impressoras, microondas, trens e carros, dentre outros. Esses dispositivos possuem capacidade computacional e de comunicação de dados com a Internet, que é um dos principais conceitos empregados pela IoT (Aazam; Huh, 2014; Santos *et al.*, 2016c; AAZAM; HUH, 2014)

A IoT surgiu dos avanços das áreas de Sistemas Embarcados, da Microeletrônica, das Redes de Comunicação e de Sensoriamento. As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e as Redes *Ad Hoc* foram áreas precursoras da IoT (Santos *et al.*, 2016c), onde havia uma grande quantidade de nós sensores distribuídos numa áreas de interesse. Os nós sensores eram utilizados para monitorar ambientes (alguns de difícil acesso como um acampamento de guerra, matas, etc.), coletando informações e enviando-as a uma estação de base, para serem analisadas, armazenadas e monitoradas remotamente (VERONA, 2010; Raber *et al.*, 2013). A evolução das RSSF, o uso de forma otimizado de memória e energia, a escalabilidade e a robustez da rede, contribuíram para o desenvolvimento e adequação de sensores e objetos e sua conexão à Internet (Sundmaeker *et al.*, 2010). Prover informações do mundo físico através de sensores e minerar essas informações, proporciona a descoberta de padrões comportamentais do ambiente ou do usuário, gerando deduções lógicas a eles (Santos *et al.*, 2016b; Al-Fuqaha *et al.*, 2015; ATLAM; WALTERS; WILLS, 2018).

As aplicações da IoT são encontradas em diversas áreas, tais como: Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), Saúde (*Healthcare*), Transportes Inteligentes, VANETs, agricultura, escolas, mercados, indústria e Casas Inteligentes (*Smart Home*), trazendo consigo grandes desafios: regulamentações, segurança e padronizações das tecnologias (ITU, 2015; Santos *et al.*, 2016b; Al-Fuqaha *et al.*, 2015; ATLAM; WALTERS; WILLS, 2018). A IoT viabiliza que objetos

físicos "vejam", "ouçam", "raciocinem" e, a partir desses sentidos, "ajam", executando tarefas, armazenando e compartilhando informações inteligentes. Como cada objeto possui tarefas específicas, tornam-se necessários aplicativos próprios do domínio (mercado vertical) ao mesmo tempo que serviços de análise computacional (mercado horizontal), os quais são independentes do domínio dos aplicativos. A Figura 5 apresenta um cenário das aplicações da IoT, onde há serviços de aplicativos próprios de domínio, interagindo com serviços independentes de domínio de aplicativos (ITU, 2015; Al-Fuqaha *et al.*, 2015, 2015).

Figura 5 – Cenário onde a IoT pode ser aplicada.



Fonte: (Al-Fuqaha *et al.*, 2015)

2.3.1 Arquitetura da IoT

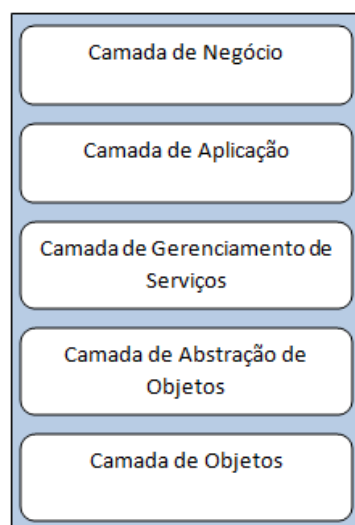
Para que ocorra a interconexão dentre inúmeros objetos heterogêneos através da Internet, faz-se necessário padronizar uma arquitetura IoT comum. Foram feitas várias propostas com o passar dos anos, como por exemplo a arquitetura de três camadas (camadas de percepção, camada de rede e camada de aplicativo) e a arquitetura de cinco camadas, que acrescenta na arquitetura de três camadas as camadas de *middleware* e negócio. Nesta seção, abordaremos a proposta de cinco camadas (Figura 6) por ser o modelo mais utilizado em IoT (ITU, 2015; Al-Fuqaha *et al.*, 2015; Aazam; Huh, 2014; Santos *et al.*, 2016b; Ibarra-Esquer *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2010):

- Camada de Objeto: representa os sensores e atuadores físicos da IoT, que coletam, processam e transferem as informações para a camada de abstração através de canais seguros;
- Camada de Abstração do Objeto: responsável pela transferência das informações obtidas na Camada de Objeto para a camada de Gerenciamento de Serviços. Essa transferência de dados pode ocorrer através *Radio Frequency Identification* (RFID), *Third Generation of*

Wireless Mobile Telecommunications Technology (3G), Global System for Mobile (GSM), Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, infravermelho e ZigBee. A computação em nuvem e os processos de gerenciamento de dados são tratadas nessa camada;

- Camada de Gerenciamento de Serviços ou *Middleware*: permite que os aplicativos dos objetos trabalhem com objetos heterogêneos independente da sua plataforma. Essa camada também processa as informações recebidas, toma decisões e entrega os serviços solicitados;
- Camada de Aplicação: provê diversas classes de serviços como serviço de identificação (física e virtual), de temperatura, de coordenadas geográficas, de serviços de agregação de dados (homogêneos e heterogêneos), de serviços de colaboração e inteligência (tomada de decisão e reação adequada ao cenário empregado) e de serviços de ubiquidade (colaboração e inteligência artificial a qualquer tempo). Essa camada compreende os chamados serviços verticais aplicados nas residências inteligentes, edifícios inteligentes, transportes, automação industrial e assistência médica;
- Camada de Negócio: cria o modelo de negócio, gráficos e fluxogramas obtidos das informações recebidas da camada de aplicação. Essa camada também gerencia as atividades e serviços do sistema. As quatro camadas descritas anteriormente, são monitoradas e gerenciadas pela camada de negócio. As saídas de cada camada são comparadas com a saída esperada para que a privacidade e os serviços dos usuários que utilizam desses recursos sejam aprimorados.

Figura 6 – Arquitetura IoT



Fonte: Própria autora.

2.3.2 Blocos Básicos do Conceito IoT

Devido a diversidade que há em conectar diferentes objetos em uma rede IoT, faz-se necessário compreender os blocos de construção da IoT (Figura 7) que compreende suas funcionalidades. Os elementos desses blocos são: (Al-Fuqaha *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016b; Ibarra-Esquer *et al.*, 2017)

- **Identificadores:** identifica os objetos de uma maneira única para conectá-lo à Internet. Também é detectado (remotamente ou fisicamente) a forma como esses objetos foram conectados e sua localização;
- **Sensores:** os sensores coletam as informações no cenário onde os objetos estão presentes e armazenam e/ou enviam essas informações para um *Data Center* (geralmente encontra-se na nuvem). Os atuadores podem reagir ao ambiente ou atuar conforme as informações obtidas;
- **Comunicação:** é estabelecida a comunicação entre os objetos heterogêneos, operando com baixo consumo de energia. Essas tecnologias permitem a transferência de informações coletadas em plataformas de serviços diferentes. Exemplos dessas tecnologias são Wi-Fi, *Bluetooth*, IEEE 802.15.4 e *RFID*;
- **Computação:** é responsável pelo processamento dos objetos (processadores e microcontroladores). Considerando que há várias plataformas de hardware e de sistemas a ideia é fornecer funcionalidades de IoT, que serão executadas durante o período de operação do objeto. Há também as plataformas em nuvem que são responsáveis por oferecer recursos de armazenamento e processamento das informações obtidas e transferidas através dos objetos inteligentes em tempo real;
- **Serviços:** é responsável por prover as classes de serviços, tais como serviço de identificação, onde os aplicativos identificam os objetos do mundo real para o mundo virtual, serviços de agregação de informações, no qual coletam e sintetizam as informações sensoriais brutas para serem processadas e informadas ao aplicativo IoT, como temperatura e coordenadas geográficas, e serviços de colaboração e inteligência, que são as tomadas de decisão e reação adequada ao cenário empregado;
- **Semântica:** responsável por extrair conhecimento dos objetos heterogêneos de maneira inteligente. Além disso, realiza o reconhecimento e a análise das informações para direcionar na decisão com o intuito de oferecer o serviço correto. A semântica é conhecida como o cérebro da IoT, transferindo as demandas certas para os recursos certos.

Figura 7 – Representação sob a forma de Bloco do conceito da IoT



Fonte: Adaptado de (Al-Fuqaha *et al.*, 2015)

2.4 LoRa e LoRaWAN

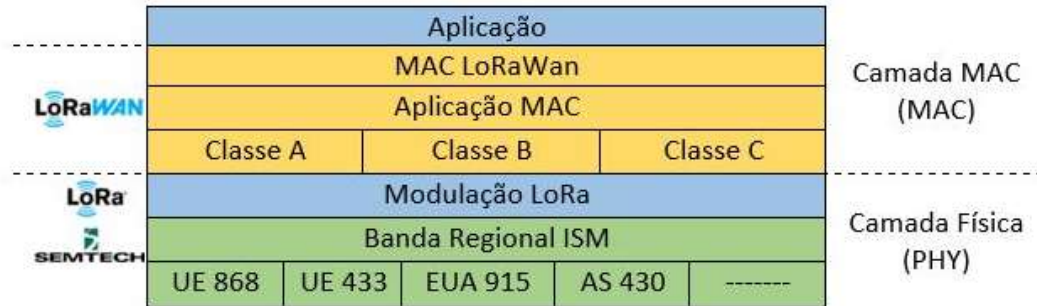
Long Range (LoRa) é uma tecnologia de modulação sem-fio do tipo *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) de propriedade da SEMTECH, que opera em nível de camada física, utilizando a modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS). LoRa é utilizada nas redes de longo alcance, que possuem um baixo consumo de energia (SEMTECH, 2022; Alliance, 2022). LoRa possui quatro parâmetros de configuração:

- **Frequência da Portadora:** é a frequência central utilizada para a banda de transmissão. A faixa de transmissão utilizada depende da legislação do país. Por exemplo, nos Estados Unidos, LoRa opera entre 902 e 928 MHz. Na Europa, ela opera na faixa de frequência entre 863 e 870 MHz. Na Austrália a faixa de frequência de operação varia de 915 a 928 MHz. O Brasil segue o padrão australiano, ou seja, opera na faixa de frequência que varia de 915 a 928 MHz;
- **Fator de Espalhamento (*Spreading Factor* (SF)):** define a quantidade de bits da modulação, ou seja a duração de um chirp. Quanto maior o SF, mais longo é o *chirp* e mais bits serão transmitidos por *chirp*. As especificações técnicas da LoRa definem seis valores diferentes como parâmetros selecionáveis de fator de espalhamento: SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 e SF12. Esses valores permitem a formação de canais ortogonais, de forma que enlaces de comunicação com fatores de espalhamento diferentes não tenham interferências entre si;
- **Largura de Banda (*Bandwidth* (BW)):** define a faixa de frequência ocupada pelo sinal modulado. Quanto mais alta for a largura de banda, maior será a taxa de dados. Entretanto, a sensibilidade será menor, em virtude da integração de ruído adicional. Os valores de BW podem ser 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz.
- **Taxa de Código (*Code Rate* (CR)):** trata da recuperação de erros (*Forward Error Correction* (FEC)) na mensagem. Os quatro valores especificados para o LoRa são 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8. Quanto maior o valor do CR, maior proteção contra a perda de dados.

Enquanto LoRa opera em nível de camada física (LoRa PHY), LoRaWAN é o protocolo de rede que estabelece a arquitetura do sistema e os parâmetros de Controle de Acesso ao Meio

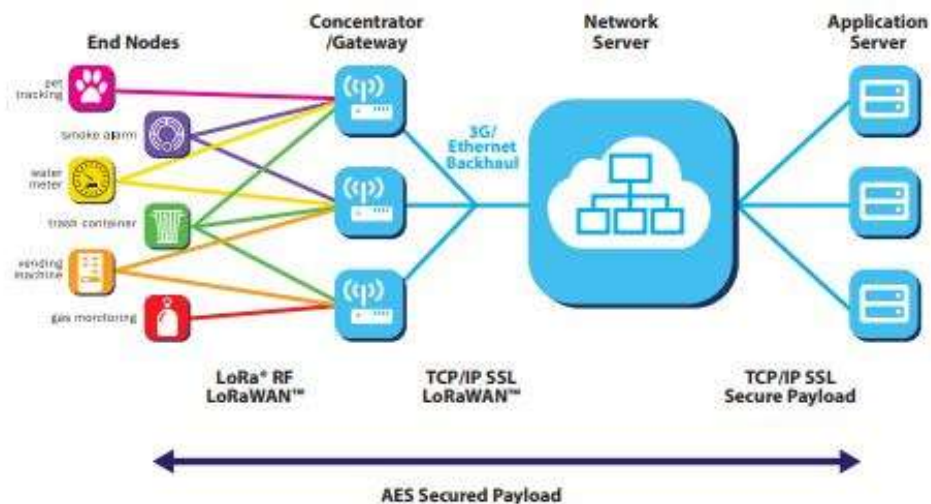
(Media Access Control (MAC)) em uma rede LPWAN (Figura 8). LoRaWAN é desenvolvida por uma associação aberta de membros colaboradores denominada LoRa Alliance (SEMTECH, 2022; Alliance, 2022).

Figura 8 – Pilha de Protocolo



LoRaWAN define taxas de transmissão de dados, o suporte na comunicação bidirecional (*uplink* e *downlink*), segurança e os serviços de mobilidade e geolocalização dos nós da rede. A arquitetura de rede LoRaWAN (Figura 9) é organizada em uma topologia tipo estrela, onde os dispositivos (*end-nod*) transmitem (através da LoRa) pacotes de dados a um *gateway* (em um ou vários salto) que por sua vez, repassa (através da Internet, ethernet, 4G, entre outros) esses pacotes de dados para um servidor (SEMTECH, 2022; Alliance, 2022).

Figura 9 – Arquitetura de Rede



Fonte: (LoRa Alliance, 2015)

Conforme o tipo de aplicação, os dispositivos finais baseados em LoRa podem operar com configurações diferentes de comunicação em rede, conforme a classe de dispositivos definidas em classe A, B e C: (Semtech, 2019; Silva *et al.*, 2020; Oliveira; Conceição; Neto, 2018):

- Classe A: O dispositivo final fica a maior parte do tempo em modo "dormindo". Quando o dispositivo recebe o sinal de "acordar"(entrega de dados) ele inicia o *uplink* dos dados coletados no ambiente, e logo após, o dispositivo "escuta" uma resposta da rede e recebe o *downlink*. Isso ocorre dentro de uma janela de tempo e, caso não ocorra nenhuma atividade de *uplink* ou *downlink*, o dispositivo volta a "dormir", acordando novamente quando houver uma ação de *uplink* ou *downlink*.
- Classe B: Os dispositivos da classe B são dispositivos de classe A configurados com uma pilha de classe B no processo de fabricação. O dispositivo da classe B, pode atuar como dispositivo de classe A e B conforme definição na camada de aplicação. Os recebimentos de *downlinks* podem ser programados em uma agenda de horário fixo, entretanto, o dispositivo sempre "acorda" para iniciar envio de dados coletados no ambiente (*uplink*).
- Classe C: Os dispositivos de classe C podem atuar como dispositivos de classe A, B e C. Os dispositivos de classe C estão sempre "acordados", ou seja, estão sempre ativos, enviando mensagens (*uplink*) e recebendo mensagens (*downlink*). Nesse modo de operação, há um maior consumo de energia (bateria), entretanto ocorre menor latência na comunicação do servidor com o dispositivo final.

2.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica aplicada no projeto de pesquisa desenvolvido durante o período do mestrado. Foram pontuados os conceitos de Redes Veiculares, Internet das Coisas e conceitos de LoRa e LoRaWan.

TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 Considerações Iniciais

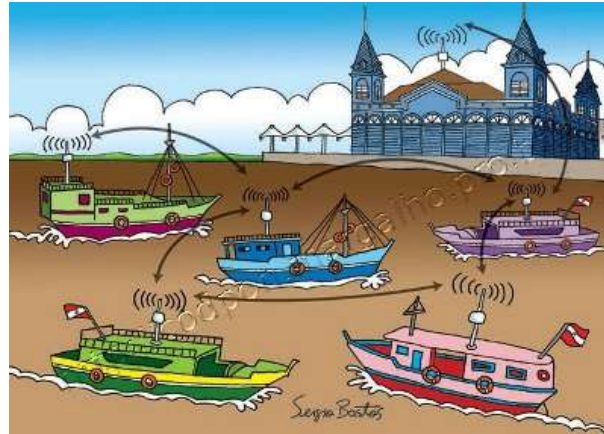
Este Capítulo apresenta os principais trabalhos relacionados ao problema abordado nesse projeto de mestrado. Assim, serão destacadas as características e as contribuições para o desenvolvimento da proposta de trabalho. Os trabalhos serão abordados nas seguintes seções: Na Seção 3.2 será apresentado o trabalho *Continuous Displacement Plan Oriented Network - CoDPON*; na Seção 3.3, será apresentado o trabalho *Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica - DTN Amazônia*; na Seção 3.4 será abordado o trabalho *Análise de Desenvolvimento de Uma Rede Sem-Fio de Baixa Potência Longo Alcance para a Internet das Coisas* e na Seção 3.5 será apresentado o trabalho *Building Novel VHF-Based Wireless Sensor Networks for the Internet of Marine Things - IoTMat*. Por fim, na Seção 3.7 serão apresentadas as considerações finais deste capítulo.

3.2 *Continuous Displacement Plan Oriented Network - CoDPON*

O projeto CoDPON (ilustrado na Figura 10) propõem uma arquitetura em redes Ad Hoc combinado com DTN em cenário fluvial. O objeto é interligar localidades privadas de acessos a meios de telecomunicações, como as comunidades ribeirinhas da Amazônia, situadas na ilha de Marajó - Estado do Pará, aos grandes centros urbanos. O acesso a essas localidades é por via fluvial e o barco é o principal meio de transporte (Coutinho, 2011; Silva; Ponciano; Coelho, 2012).

Os barcos são os nós móveis, os portos, as cidades e as comunidades são os nós fixos. Os nós móveis possuem um kit embarcado de deslocamento composto por um computador, disco rígido, sistema operacional livre e uma rede sem-fio configurada para uma rede Ad Hoc (com

Figura 10 – Estrutura CoDPON.



Fonte: (Coutinho, 2011)

rádio transmissor e antena omnidirecional). Os nós fixos possuem uma base fixa que coordena a distribuição e atualização dos planos de deslocamento dos barcos ao longo do rio. Assim, quando um barco está ancorado ou próximo do porto e das comunidades é estabelecida uma conexão com a base desse porto ou das comunidades para transmitir ou receber mensagens. Os autores utilizaram a técnica de simulação computacional *The ONE* (Keränen *et al.*,), definindo as posições geográficas dos portos, as distâncias entre cada uma das cidades, o número de pontos e a topologia. Os barcos deslocavam-se entre as cidades com uma velocidade constante de 30 km/h, numa área de 500 x 100 km e o rádio de comunicação tinha um alcance de 1 km.

Como resultado, os nós móveis que obtiveram os Dados de Aplicação CoDPON em Trânsito (DACTs) dos portos (*PeerBS*) e replicaram para outros nós intermediários tiveram uma taxa de utilização em torno de 100%. Entretanto, os nós móveis que traziam os DACTs oriundos das comunidades ribeirinhas, obtiveram taxa de utilização variando de 53% e 59%. Dada a longa distância e a baixa velocidade dos nós, a média de atraso para a transferência das DACTs foi em torno de 14,64 horas, devido a pouca quantidade de DACTs transferidas na rede.

3.3 Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica - DTN Amazônia

Neste trabalho foi proposto a combinação das redes VANETs e DTN formada por barcos que fazem o acesso a regiões remotas da Amazônia. Para caracterizar o cenário de comunicação de dados foram definidos o ambiente dos experimentos práticos, o cenário abordado na simulação computacional e as métricas analisadas (Santos *et al.*, 2016a).

Tratando-se do ambiente, foram realizados experimentos práticos de cruzamento entre barcos, entre as comunidades de Nossa Senhora do Livramento e Nossa Senhora de Fátima,

na área denominada Tarumãzinho localizado em Manaus, Capital do Amazonas. Nesses experimentos, foram analisados três cenários, conforme ilustrado na Figura 11 (Santos *et al.*, 2016a):

Figura 11 – Cenário de uma VANET fluvial.



Fonte: (Santos *et al.*, 2016a)

1. Cruzamento entre os barcos ao longo do rio a 100 metros de distância;
2. Um barco e um ponto de acesso fixo na floresta: nesse caso, foi analisada a comunicação entre um barco e um ponto fixo situado em uma comunidade ribeirinha. O ponto de acesso (servidor) encontrava-se em uma estrutura em palafita situada à margem do rio e o cliente utilizando um smartphone N900 encontrava-se no interior de um barco em movimento;
3. Um barco e um ponto de acesso fixo na plataforma do rio: nesse caso, o ponto de acesso (servidor) encontrava-se em uma plataforma fixa no rio. A plataforma pode ser representada por um posto de combustível, um restaurante ou um comércio ao longo do rio e o cliente utilizando um smartphone N900 encontrava-se no interior de um barco em movimento.

Um outro ponto que merece destaque neste trabalho é a simulação computacional. O experimento de cruzamento entre barcos realizado na prática foi calibrado no simulador, obtendo-se valores simulados próximos dos valores no experimento prático. Para representar a movimentação das embarcações na calha do Baixo Amazonas, trecho delimitado pelas cidades de Manaus e Parintins, foram coletados 80 traces dos barcos (regionais e expressos). Os traces possuem as informações de latitude, longitude, velocidade, ângulo e distância. De posse dessas informações, foi realizada a simulação computacional obtendo-se os valores da capacidade de dados transferida entre os barcos e o tempo de contato. Também foi realizada uma caracterização estatística dos dados obtidos do *trace* de mobilidade dos barcos ao longo da calha do Rio Amazonas (Santos *et al.*, 2016a).

Neste projeto, o padrão de rede sem-fio utilizado foi IEEE 802.11 b/g, protocolo de transporte UDP, com as velocidades de 20, 30, 40, 50 e 58 mph (32, 48, 64, 80, 93 km/h respectivamente). O tamanho dos pacotes utilizados foram de 150, 500, 1460 e 2340 bytes (Rubinstein *et al.*, 2009). Ao iniciar os experimentos, os barcos localizavam-se fora da área de cobertura um

do outro e ambos partiam no mesmo instante ($t = 0$) de tempo, após um contato via rádio. Os barcos deslocavam-se em sentidos opostos, paralelamente à margem do rio. Cada embarcação tinha um ponto de acesso como servidor e um smartphone N900 como cliente. A comunicação era realizada entre o cliente e o servidor de barcos distintos. Os clientes não se comunicavam entre si e nem mudavam de ponto de acesso. As métricas avaliadas foram o tempo de contato e a vazão útil. Os resultados mostram que no cenário de cruzamento entre os barcos, ambos com velocidade de 20mph (aproximadamente 32km/h) o tempo de contato foi de 75 segundos, com a capacidade transferência de 8,77 Mbytes e vazão útil de 93%.

3.4 Análise de Desenvolvimento de Uma Rede Sem-Fio de Baixa Potência Longo Alcance para a Internet das Coisas

Nesse projeto, foi avaliado o desempenho da rede LoRa, com objetivo de caracterizar o comportamento da rede em função da distância e do fator de espalhamento, no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Brasil. Assim, os experimentos foram realizados em dois cenários de experimentos práticos em ambiente outdoor área urbana. Tais cenários são:

- Primeiro cenário: tinha como objetivo verificar o alcance máximo de comunicação entre a unidade transmissora e a unidade receptora. A unidade receptora estava situada no sétimo andar do bloco A. Já a unidade transmissora iniciou os experimentos a uma distância de 500 m e foi distanciando 500 m, dentro da linha de visada com mínimas interferências, conforme ilustrado na Figura 12. Os valores mínimos e máximos obtidos para RSSI e SNR nesse intervalo de distância são de [-40; -124]dBm e [7,5; -15]dB, respectivamente, tendo uma boa recepção para a distância de 500 m mas conforme se distancia, o sinal começa a enfraquecer (Ortiz *et al.*, 2018).

Figura 12 – Cenário 1: alcance máximo de comunicação entre a unidade transmissora e a unidade receptora.



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

- Segundo cenário: avaliava a influência da mobilidade de um veículo no enlace de comunicação. A unidade transmissora estava fixada em um veículo distante a 1000 m da unidade receptora (ponto fixo). O veículo trafegava com a velocidade de 30 km/h ou 60 km/h, conforme ilustrado na Figura 13. Experimentos realizados no *Network Simulator Version 3* (NS-3) (NS-3, 2021), foram executados com a finalidade de investigar a equivalência com os experimentos práticos. Como resultado, os autores constataram que para a distância de 1000 m, o nível de RSSI nos experimentos real e simulado era de -120 dBm e -110 dBm, respectivamente, com o veículo trafegando com as velocidades de 30 km/h e 60 km/h. Para a distância de 0 m, o nível de RSSI nos experimentos real e simulado era de -40 dBm e -50 dBm, respectivamente, para as velocidades citadas (Ortiz et al., 2020).

Figura 13 – Cenário 2: mobilidade de um veículo no enlace de comunicação.



Fonte: (Ortiz et al., 2020)

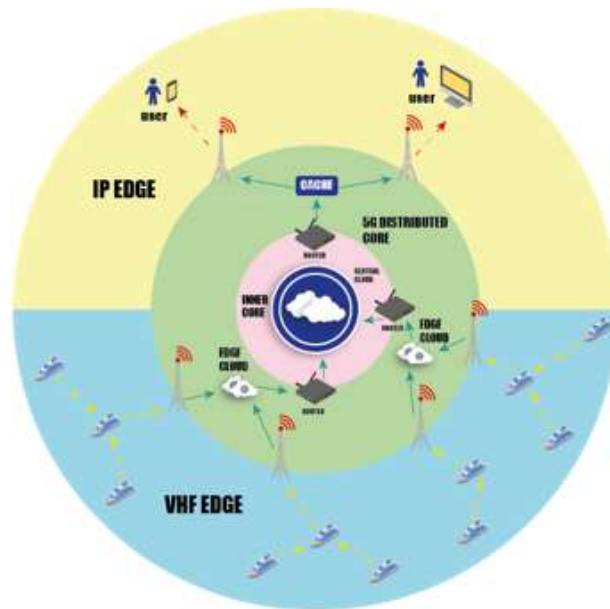
3.5 Building Novel VHF-Based Wireless Sensor Networks for the Internet of Marine Things - IoTMat

Nesse projeto, os autores avaliaram o desempenho de uma rede marítima criada para obter dados cartográficos e de Internet das Coisas Marinha (através de sensores), que se comunicam através dos sinais de *Very High Frequency* (VHF) marítimos dispostos nos navios. Os dados coletados nessa rede, são enviados para um pequeno datacenter em nuvem (*cloudlets*) de borda 5G conectados a nós de sumidouros/estações base localizados em terra firme. Nesse cenário de comunicação marítima, foi utilizada as redes móveis ad-hoc (*Mobile Ad-hoc Network* (MANET)) e a rede DTN, onde os navios são os nós móveis dessa rede. Também foi proposto um novo protocolo de roteamento híbrido, o protocolo *Ad-hoc/Delay Tolerant* (MADNET) para realizar alternâncias do uso das redes MANETs e DTN conforme a necessidade do tipo de conectividade de rede.

Para realizar a avaliação do desempenho da rede marítima proposta, foi realizada a técnica de simulação computacional no *Network Simulator Version 2* (NS-2) (NS-2, 2021). Os cenários de simulação avaliados foram classificados em: escasso (mar norte - área de 350 x 400 km e 53 nós), denso (canal da mancha - área de 200 x 200 km e 100 nós) e moderado (trecho Clacton, entre o Reino Unido e Middleburg - Holanda, com área de simulação de 175 x 255 km e 73 nós). Como resultado, os autores detectaram que o protocolo MADNET obteve

97% na taxa de entrega de pacote nos três cenários propostos. Os autores também observaram que o referido protocolo não necessita realizar muitas replicações, devido a permuta entre o roteamento MANET e DTN conforme o tipo de conectividade da rede.

Figura 14 – Cenário proposto para rede de cartografia IoTMaT



Fonte: adaptado de (Al-Zaidi *et al.*, 2018)

3.6 Tabela Comparativa das Abordagens dos Trabalhos Relacionados

O [Tabela 1](#) apresenta o comparativo dos trabalhos de acordo com os seguintes aspectos: cenário, tecnologia, arquitetura, veículo e abordagem.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados.

Parâmetros	Coutinho (Coutinho <i>et al.</i> , 2014)	Santos (Santos <i>et al.</i> , 2016a)	Ortiz (Ortiz <i>et al.</i> , 2020)	Al-Zaidiet (Al-Zaidi <i>et al.</i> , 2018)	Trabalho Proposto
Cenário	Comunidades remotas	Comunidades remotas	Área urbana	Mar	Comunidades remotas
Tecnologia	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11 b/g	LoRa	Radio VHF	LoRa
Arquitetura	V2I	V2V	V2I	V2V	V2I
Veículo	Barco	Barco	Carro	Navio	Barco
Abordagem	Simulação	Experimental e simulação	Experimental e simulação	Simulação	Experimental

Os projetos de Coutinho (Coutinho *et al.*, 2014), Santos (dos Santos *et al.*, 2014) e o trabalho proposto tratam de cenários que envolvem a comunicação de dados das comunidades remotas aos grandes centros urbanos, enquanto o projeto de Ortiz (Ortiz *et al.*, 2020) tem um enfoque voltado para a comunicação ao centro urbano e o projeto de Al-Zaidiet (Al-Zaidi *et al.*, 2018) trata da perspectiva de comunicação das condições dos mares. Vale a pena ressaltar

que o trabalho de Al-Zaidiet (Al-Zaidi *et al.*, 2018) é o trabalho que versa sobre o ambiente marítimo e o trabalho de Ortiz (Ortiz *et al.*, 2020) aborda no ambiente urbano. Os demais abordam ambientes de rio. O trabalho do projeto de pesquisa e o trabalho de Santos (dos Santos *et al.*, 2014) consideram cenários dos rios Solimões e Amazonas, respectivamente. O rio Amazonas tem como ponto inicial o encontro das águas dos Rios Negro e Solimões, sendo um rio largo, correnteza veloz e com muitas ramificações. O trecho estudado pelo trabalho de Santos (dos Santos *et al.*, 2014) compreendeu a rede de comunicação de dados formada pelos barcos que navegam entre as cidades de Manaus e Parintins (Baixo Amazonas). Já o trecho estudado pelo projeto de pesquisa compreende a rede de comunicação de dados formada por barcos que navegam entre as cidades de Manaus e Tefé (Médio Solimões). O Rio Solimões nasce nos Andes Peruanos, sendo um rio mais estreito se comparado com o Rio Amazonas, correnteza menos veloz e também com muitas ramificações. Dessa forma, trata-se de rios com características totalmente diferentes, o que influencia na propagação no sinal de rádio comunicação, pois a velocidade dos rios, a temperatura, a umidade, os afluentes dos rios, a distância percorrida, o trajeto, dentre outras características que são diferentes.

Vale a pena ressaltar que os trabalhos relacionados utilizam a tecnologia de comunicação sem-fio IEEE 802.11 e LoRa, salvo o projeto IoTMat que adota rádios de comunicação VHF. O padrão IEEE 802.11p é um padrão adaptado para cenários veiculares - comunicação de curto alcance (*Dedicated Short Range Communication (DSRC)*). Esse padrão maximiza a quantidade de dados transferidos a cada contato entre os barcos ou dos barcos com um ponto fixo em terra, se comparado com os padrões convencionais IEEE 802.11 b/g/n. O projeto de pesquisa e o trabalho de Ortiz (Ortiz *et al.*, 2020) utilizam a tecnologia LoRa (comunicação de longo alcance), com a diferença do tipo de veículo e cenários, que é barco em ambiente fluvial e carro em área urbana, respectivamente, ao passo que o trabalho de Al-Zaidiet (Al-Zaidi *et al.*, 2018) o veículo é um navio e o cenário é o mar.

Nos cenários de rio, foram adotadas as arquiteturas de comunicação V2I e V2V nos projetos de Coutinho (Coutinho *et al.*, 2014), Santos (dos Santos *et al.*, 2014) e este projeto de pesquisa. Assim, diversos cenários de comunicação de dados podem ser explorados ao longo dos rios. Na Amazônia, os veículos predominantemente são os barcos, em função da particularidade da própria região, diferente dos ambientes de mar, onde os navios prevalecem, e dos ambientes urbanos, onde prevalecem os veículos terrestres.

Tratando-se do aspecto abordagem, todos os projetos são voltados para o ambiente de simulação, excluindo o trabalho de Ortiz (Ortiz *et al.*, 2020; Ortiz *et al.*, 2018), que realiza experimentação. O projeto de Santos (dos Santos *et al.*, 2014) mescla as experimentação e simulação computacional. Neste projeto de pesquisa, foi realizado experimento prático de redes de comunicação de dados no entorno dos rios, envolvendo uma logística difícil e de custos altos para realizá-los.

3.7 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os Trabalhos Relacionados a este projeto de pesquisa. Foram abordadas as características e as contribuições dos trabalhos *Continuous Displacement Plan Oriented Network* - CoDPON, Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica - DTN Amazônia, Análise de Desenvolvimento de Uma Rede Sem-Fio de Baixa Potência Longo Alcance para a Internet das Coisas e *Building Novel VHF-Based Wireless Sensor Networks for the Internet of Marine Things* - IoTMat. Foi apresentado também um quadro comparativo entre os trabalhos relacionados e a proposta do Projeto de Pesquisa.

EXPERIMENTO *INDOOR*: SALAS COM OBSTÁCULOS

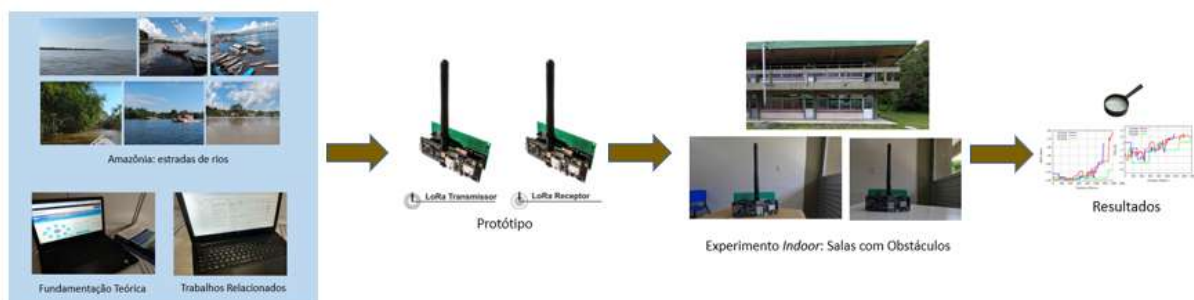
4.1 Considerações Iniciais

O presente Capítulo abordará o primeiro experimento realizado e os resultados obtidos. Como comentado no Capítulo 1, trata-se de um experimento prático de uma rede de comunicação par-a-par estática, realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Amazonas (IFAM) no Campus Manaus Distrito Industrial (CMDI).

4.2 Metodologia do Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos

A Figura 15 ilustra a metodologia utilizada nesse experimento após a realização do levantamento bibliográfico e dos trabalhos relacionados que oferecem embasamento ao Projeto de Pesquisa (assuntos apresentados nos Capítulos 2 e 3),

Figura 15 – Metodologia do Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos.



Fonte: Própria autora

Para a realização do experimento prático, foi montado um protótipo utilizando um dispositivo de IoT acoplado com a técnica de modulação LoRa. Os equipamentos (ilustrados na Figura 16) utilizados no experimento são: (a) Esp32 LoRa TTGO T-Beam com GPS Neo-6M; (b) Sensor de temperatura, umidade e pressão (BME 280); (c) Antenas externas omnidirecionais (2.4 GHz e 10 dBi - transmissão e recepção); (d) Cartão de memória de 64 GB; (e) Baterias (3,7 Volts - 2000 mAh); (f) Circuitos auxiliares. Os dispositivos LoRa funcionam como transmissor ou receptor. A Tabela 2 resume os principais parâmetros de configuração da rede LoRa no experimento.

Figura 16 – Equipamentos LoRa.



Fonte: Própria autora

Tabela 2 – Parâmetros de configuração da rede LoRa.

Descrição	Valor
Tamanho do pacote	54 (bytes)
Frequência	915 (MHz)
Potência de Transmissão	20 (dBm)
Banda de transmissão	500 (kHz)
Taxa de código	4/5
Fator de espalhamento	7 (bits/s)
Velocidade	10, 20 e 30 (km/h)

Foi desenvolvido um programa para o dispositivo LoRa Transmissor e outro para o LoRa Receptor da rede. A programação do dispositivo LoRa Transmissor tem como objetivo enviar via protocolo serial uma *string* com as medidas coletadas e auxiliar no cálculo das métricas entre os dispositivos Transmissor e Receptor. Já a programação do dispositivo LoRa Receptor espera a *string* enviada pelo Transmissor e grava as medidas coletadas e as métricas calculadas da rede LoRa no seu cartão de memória. As métricas observadas no Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos são: Potência do Sinal (RSSI) e Relação Sinal-Ruído (SNR).

4.3 Execução do Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos

Nas comunidades remotas da Amazônia, é muito comum não encontrar sinal de comunicação de dados. Assim, promover uma alternativa de comunicação de dados nessas comunidades, seria uma boa contribuição. As casas ribeirinhas da Amazônia tem duas características predominante: casas de palafitas¹ e casas flutuantes². As casas flutuantes, ficam enconstadas umas as outras no modo geral. Pois uma casa flutuante, serve de apoio e passagem para a outra casa flutuante. Desse modo, buscamos um cenário de Experimento *Indoor* que se aproximasse do cenário das comunidades remotas, ambiente com mata no entorno e paredes.

Os Experimentos *Indoor* foram realizados nas salas de aula do IFAM/CMDI, localizado em uma área urbana, na capital Manaus-AM, onde há uma vegetação densa no entorno, cenário característico da região Amazônica. Os horários que os experimentos foram realizados, foram nos horário em que as salas de aula não estavam ocupadas com as jornadas acadêmicas da instituição. Assim, os dispositivos LoRa foram colocados em posições pré-definidas, estáticas e nas salas de aula do bloco C, térreo, Ala 1 (Figuras 17a e 17b, vide página 54), nas salas 1, 2, 3, 4 e 5, conforme a Figura 17c e 17d (vide página 54). e ilustrado na Figura 18 (vide página 54). As salas possuem um comprimento de 9m e largura de 6m. Existem paredes de concreto de largura de 20cm que separam as salas de aula. O objetivo do experimento é avaliar o comportamento do RSSI e SNR na comunicação de dados entre os dispositivos que formam a rede LoRa ponto a ponto.

Para avaliar o comportamento do RSSI e SNR, o dispositivo LoRa Receptor foi posicionado na sala 1 e o dispositivo LoRa Transmissor foi posicionado na sala 2. Posteriormente, o dispositivo LoRa Transmissor foi posicionado nas salas, 3, 4 e 5 respectivamente enquanto o dispositivo LoRa Receptor foi mantido na sala 1, ilustrado na Figura 18. Foram realizadas 10 repetições para cada mudança de sala.

4.4 Resultados no Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos

Após a realização dos experimentos, foi analisado o padrão de comportamento do sinal de potência e a relação sinal-ruído, da LoRa em ambiente com obstáculos.

Os valores de referência que norteiam a relação RSSI em função de SNR nos dispositivos LoRa, para avaliar a qualidade dos sinais são ilustrados na Figura 19 (Sensing Labs, 2022).

Os resultados de RSSI e SNR nos experimentos práticos *Indoor*: Salas com Obstáculos

¹ São casas construídas sobre estacas de madeira bem acima do nível do solo ou do nível da água

² São casas construídas em plataformas flutuantes que sobem e descem conforme o nível do rio.

Figura 17 – Cenário do primeiro experimento.

(a) Localização do Bloco C.



Fonte: (Google Maps, 2022)

(b) Bloco C.



Fonte: Próprio autor

(c) Dispositivo LoRa Receptor

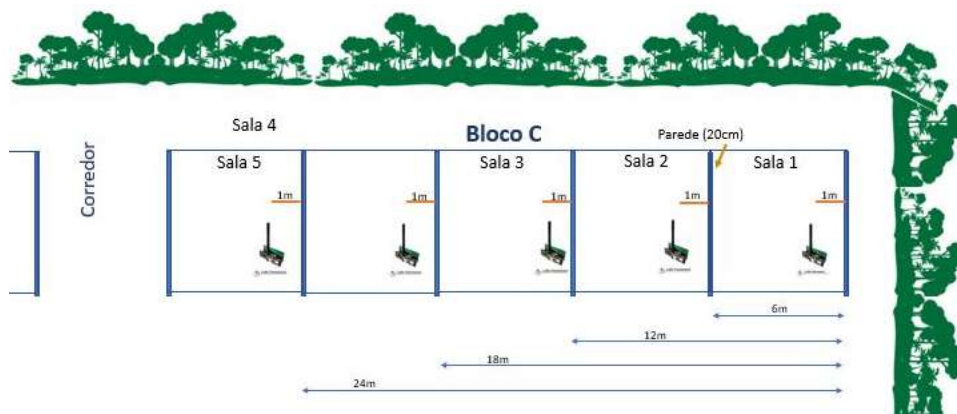


Fonte: Própria autora

(d) Dispositivo LoRa Transmissor



Fonte: Próprio autor

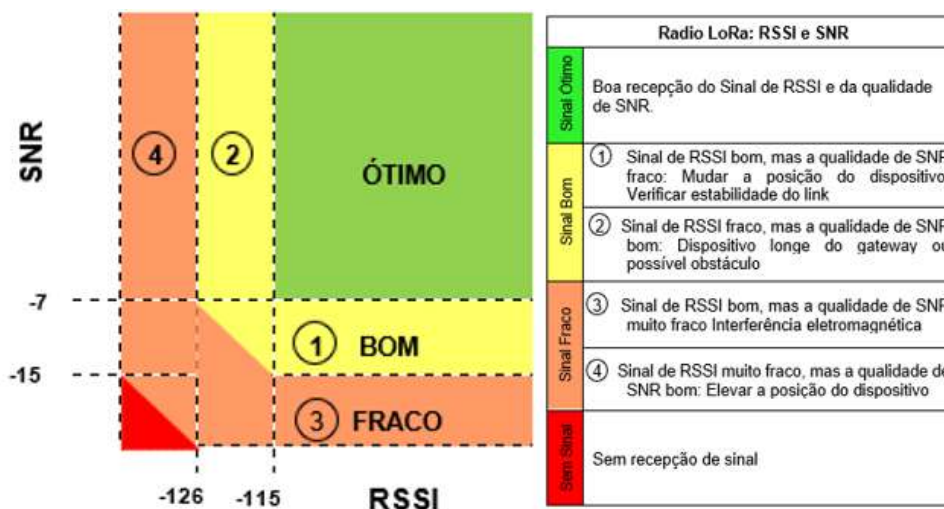
Figura 18 – Ilustração do Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos.

Fonte: Própria autora.

são apresentados nas Figuras 20 e 21 e apresentados na Tabela 3. Comparando a Figura 19 com as Figuras 20 e 21 combinadas, nós podemos afirmar que:

- Para a Sala 2: Nesse cenário, onde havia uma parede de 20cm entre as salas, obtivemos valores de RSSI que variava de $[-49 : -63]$ dBm e SNR de $[7,75 : 12,25]$ dB. Fazendo a análise dos sinais, verificamos que os sinais de RSSI e SNR encontra-se com uma boa

Figura 19 – LoRa - RSSI X SNR.



Desempenho da Rede LoRa. Fonte: Adaptado de (Sensing Labs, 2022).

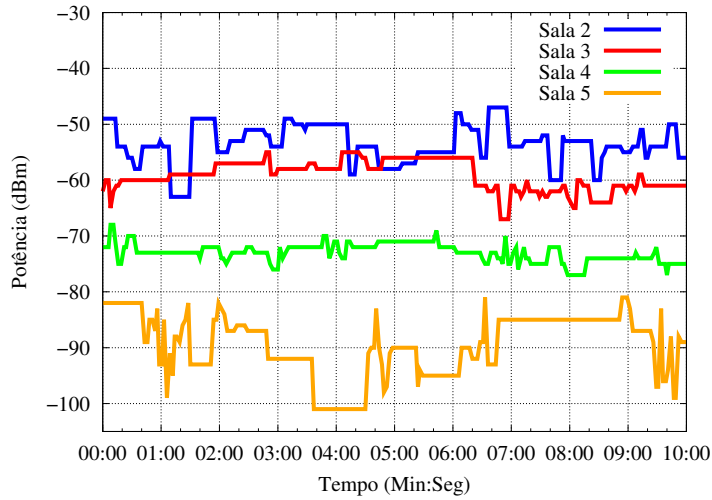
Tabela 3 – Experimento *Indoor*: RSSI e SNR

Salas	RSSI (dBm)	SNR (dB)
2	[-49 a -63]	[7,75 a 12,25]
3	[-55 a -67]	[9 a 13]
4	[-68 a -77]	[8,25 a 13,5]
5	[-82 a -101]	[8,5 a 13,5]

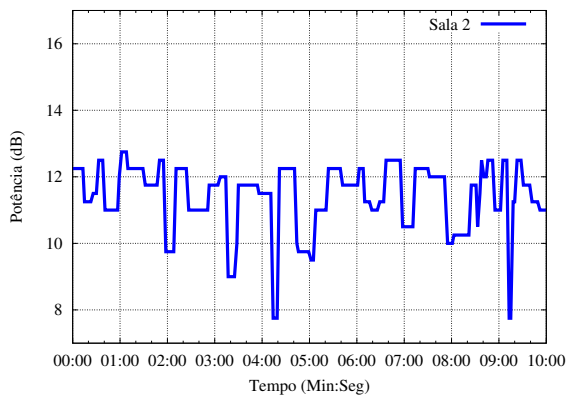
qualidade, considerado "ÓTIMO" e com pouca interferência;

- Para a Sala 3: os valores obtidos de RSSI variava de [-55 : -67] dBm, ao passo que o SNR variava de [9 : 13] dB. O link de comunicação é classificado como "ÓTIMO".
- Para a Sala 4: os valores obtidos de RSSI variava de [-68 : -77] dBm, ao passo que o SNR variava de [8,25 : 13,5] dB. O link de comunicação é classificado como "ÓTIMO".
- Para a Sala 5: os valores obtidos de RSSI variava de [-82 : -101] dBm, ao passo que o SNR variava de [8,5 : 13,5] dB. O link de comunicação é classificado como "ÓTIMO".

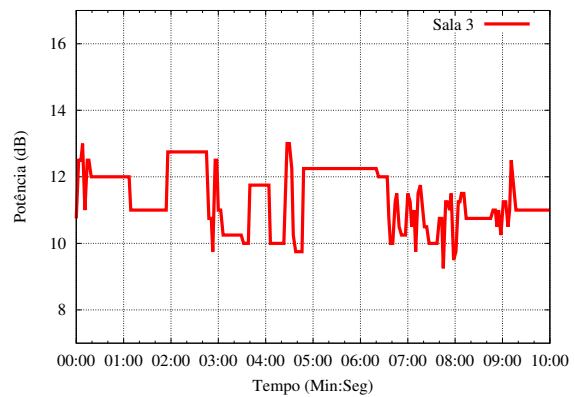
A Figura 20 (vide página 56), apresenta o comportamento do sinal de potência (RSSI) em cada sala. Visto que quando o dispositivo LoRa Transmissor se distanciava da sala 1, onde estava localizado o dispositivo LoRa Receptor, e o número de obstáculos (paredes) aumentava, o sinal de RSSI ia diminuindo -10dBm em média para cada sala no instante que iniciava o link de comunicação. Ao final de 10min de recepção do link, a sala 5 apresentou maior queda de RSSI, uma queda de aproximadamente -19 dBm no tempo. A relação Sinal-Ruído (SNR), prediz a qualidade de comunicação do link, medida que também foi obtida nos resultados dos experimentos. Os valores de SNR positivos indica que a potência do sinal recebida é maior que a potência do ruído. Analisando a Figura 21 (vide página 56), precebemos que em todas as salas,

Figura 20 – Sinal de RSSI - Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos.Figura 21 – Sinal de SNR - Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos.

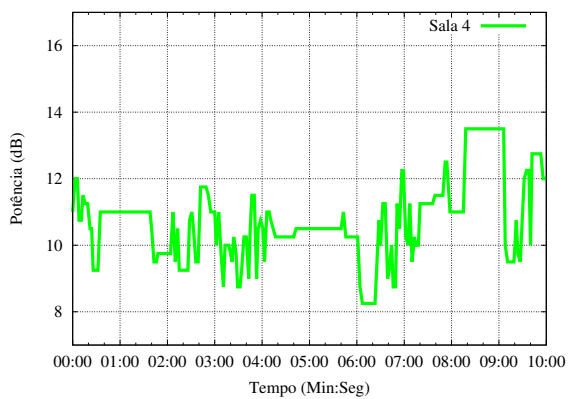
(a) Sala 2.



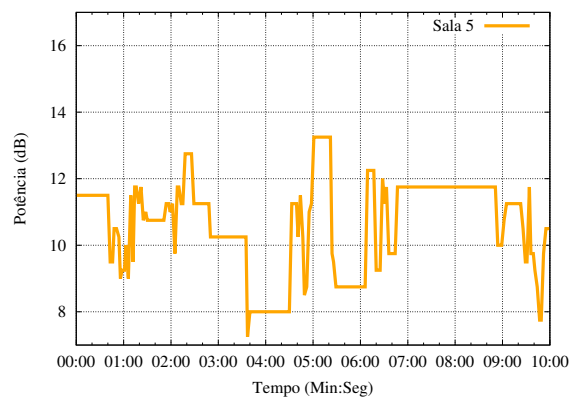
(b) Sala 3.



(c) Sala 4.



(d) Sala 5.



a relação Sinal-Ruído apresentou uma boa qualidade de sinal, apesar do distanciamento e dos obstáculos entre o dispositivo LoRa Transmissor e o dispositivo LoRa Receptor.

4.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou a Metodologia do Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculos. Também foi apresentado o Protótipo utilizado no experimento, as métricas observadas e os resultados obtidos.

EXPERIMENTO *OUTDOOR*: BARCO NAVEGANDO NO RIO SOLIMÕES

5.1 Considerações Iniciais

Neste Capítulo será apresentado o experimento realizado em ambiente *Outdoor*, às margens do rio Solimões, que consiste em caracterizar uma rede de comunicação par-a-par entre o barco móvel acoplado com um dispositivo LoRa Transmissor e um ponto fixo com um dispositivo LoRa Receptor fixado na casa do ribeirinho localizado nas margens do rio Solimões. Serão apresentados também os resultados obtidos nesse experimento.

5.2 Visão Geral

A Amazônia apresenta características muito particulares, pois possui densas florestas, vários rios e uma atmosfera com altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar, favorecendo a ocorrência de chuvas fortes e constantes, dependendo da estação do ano. O comportamento das estações climáticas se diferem do restante do país (Brasil) nessa região. No período que se aproxima a estação verão no restante do país, é o período que a temperatura fica mais elevada e a umidade também, favorecendo o surgimento das constantes e fortes chuvas, ocorrendo as cheias dos rios como consequência. Esse comportamento climático ocorre até meados da estação outono no país. Esse comportamento climático é conhecido como "Inverno Amazônico". Nas outras estações do país (inverno e primavera), a temperatura e umidade continua elevada na região da Amazônia, contudo, o clima fica mais seco na região, diminuindo a quantidade de chuvas e inicia a estiagem dos rios (seca dos rios), surgindo as praias e o aparecimento dos bancos de areia no meio do rio, motivo para encalhe de embarcações. Esse período é conhecido como "Verão Amazônico" (Caldas, 2016; Silva, 2022; Fisch; Marengo; Nobre, 1998).

Ademais as condições climáticas na Amazônia, há o fenômeno das terras caídas (erosão

fluvial) e as estações dos rios (cheia ou seca) fatores influenciam diretamente na navegação. A largura dos rios variam de 20 a 40 km no período da cheia, e sua profundidade alcança cerca de 20 metros no período da cheia e 10 metros no período da seca (Queiroz, 2020), suas águas correm com velocidade que varia de 4 a 10 km/h e a sua extensão é de 1620 km de vias navegáveis. Desse modo, navegar no Rio Solimões requer conhecimento, habilidade e experiência da tripulação na navegação (Nogueira, 1995; Queiroz, 2020), pois o Rio Solimões é um rio em formação e em evolução, com constante movimentação dos bancos de areia, risco potencial para o encalhe do barco.

Além do comportamento climático e a navegação, um outro ponto que requer atenção na região da Amazônia é o acesso ao local das comunidades ribeirinhas. Há regiões que fazem parte de Reservas Ambientais, Reservas de Desenvolvimento Sustentável, Assentamento Indígenas ou Áreas Indígenas (áreas onde habitam índios nativos que não fazem muito contato com o homem branco), além da própria presença dos animais silvestres nativos da região, além da presença dos "piratas dos rios" (pessoas que assaltam embarcações em via fluvial). Para a realização dos experimentos, fez-se necessário uma autorização dos órgãos competentes além da autorização da comunidade local.

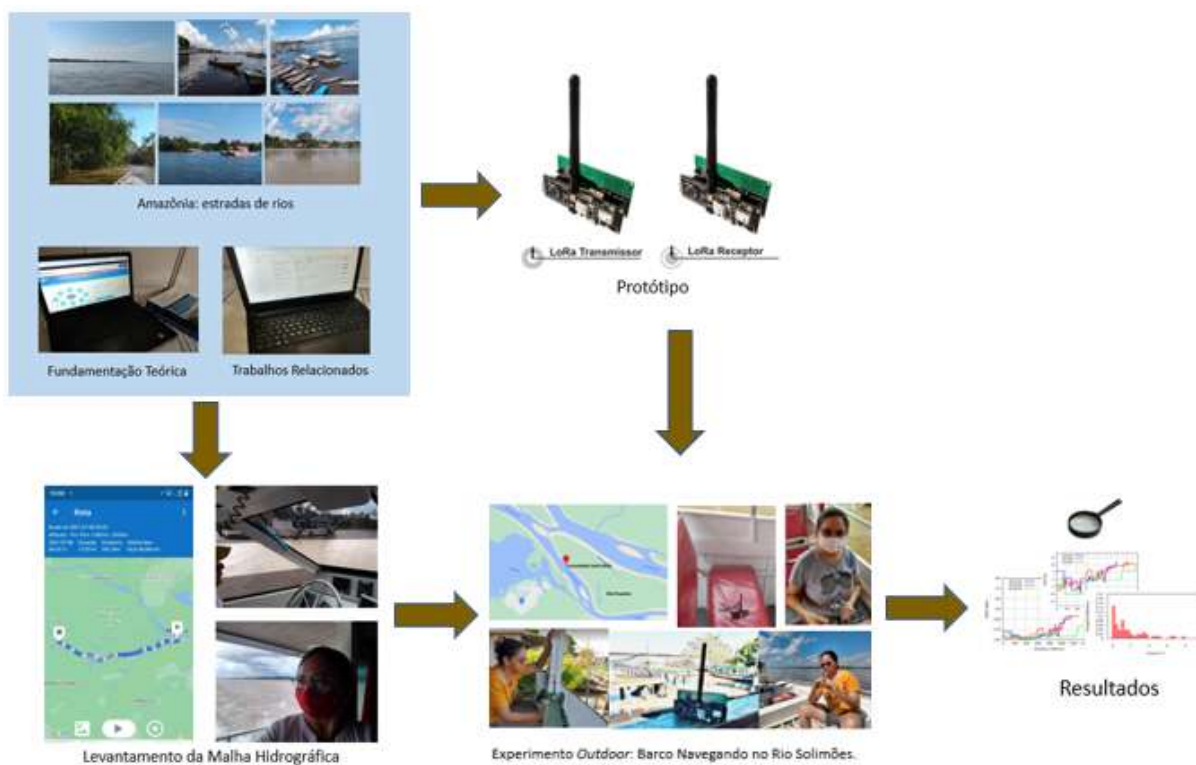
Dada a dificuldade de acesso, as restrições de navegação (limitações de carta náutica (Machado, 2014)), as características ambientais e climáticas da Amazônia, fator que influencia diretamente nos sinais de rádio, tendo em vista que a técnica de modulação LoRa opera através de sinais de rádio e sofre influência dos obstáculos e do clima, caracterizar o comportamento da modulação LoRa na região da Amazônia somado ao custo operacional e de logística, é bastante desafiador. Por meio de experimentos práticos, o Projeto de Pesquisa, propõe caracterizar a modulação LoRa em uma rede par a par às margens do rio Solimões.

5.3 Metodologia do Experimento *Outdoor*: Barco Navegando no Rio Solimões

A metodologia seguida nessa fase do experimento (Figura 22) foi seguida conforme cumprimento das etapas descritas no Capítulo 1, seção 1.4.

Para levantamento da malha hidrográfica do itinerário dos barcos ao longo das calhas dos rios, no trecho entre Manaus-Am e Tefé-Am, foram realizadas 24 (vinte e quatro) viagens, sendo 12 (doze) viagens subindo o rio, trecho Manaus-Am a Tefé-Am, e 12 (doze) viagens descendo o rio, trecho Tefé-Am a Manaus-Am. Também foram realizadas viagens às comunidades ribeirinhas localizadas nas respectivas cidades. A importância dessas viagens foi para aquisição dos dados reais para parametrização no simulador (objeto de estudo futuro) e para estudo de campo para aplicação de melhor cenário dentro das condições de logística e permissões de acesso para o experimento, dados os desafios em realizar um experimento prático em cenário de rio.

Figura 22 – Metodologia Experimento Outdoor: Barco Navegando no Rio Solimões



Fonte: Própria autora

Os equipamentos utilizados nesse experimento foram os mesmos apresentados no protótipo descrito no Capítulo 4 desse documento. Contudo, além das métricas de Sinal de Potência e Relação Sinal-Ruído, foram acrescentadas outras métricas:

- *Alcance Máximo*: distância máxima percorrida pelo barco entre os pontos inicial e final, até o ponto onde houve perda de conectividade entre os dispositivos LoRa Transmissor e LoRa Receptor de forma definitiva, ou seja, sem o restabelecimento da recepção do sinal de rádio;
- *Tempo Máximo*: intervalo de tempo gasto entre a entrada do contato e a saída do Alcance Máximo;
- *Distância de Comunicação*: distância percorrida pelo barco entre os pontos inicial e final, retirando o intervalo que o link de comunicação não apresentava conectividade, ou seja, houve momentos de perda do link de comunicação, mas a conectividade foi reestabelecida;
- *Tempo de Comunicação*: somatório do intervalo de tempo gasto que houve conectividade na Distância de Comunicação;
- *Nível de RSSI*: potência do sinal recebida;
- *Relação entre o sinal e o ruído*: qualidade do enlace em termos da relação sinal-ruído.

- *Taxa de Entrega de Pacotes*: é a razão entre o número de pacotes entregues e o número total de pacotes enviados do nó de origem para o nó de destino.

5.4 Execução do Experimento *Outdoor*: Barco Navegando no Rio Solimões

A princípio, os experimentos foram realizados em meados do período "Verão Amazônico", entretanto, houve muitas ocorrências de encalhe da embarcação no trecho navegado, além das interrupções ocorridas pelas chuvas espaçadas, as típicas chuvas com sol, característico da região. Desta forma, os experimentos foram retomados no início do período do "Verão Amazônico", período em que as chuvas começam a diminuir e o nível das águas dos rios ainda estão alto.

No período que o experimento foi retomado, houve uma variação no clima, as temperaturas estavam muito elevada e a umidade relativa do ar estava muito alta, favorecendo as chuvas. Desta forma, o experimento novamente foi interrompido por alguns dias, isso implicou no tempo de permanência na região. No início, o experimento iria ser realizado com uma velocidade por vários dias e posteriormente para as demais velocidades de estudo. Com o tempo de permanência diminuído, o experimento foi realizado com as três velocidades a cada dia, priorizando a velocidade de 30km/h, posteriormente a velocidade de 20 km/h e finalmente a velocidade de 10km/h. Foi definida essa ordem de prioridade devido a velocidade médias das embarcações na região, operar em 30 km/h.

Os experimentos foram realizados no trecho do Rio Solimões onde fica situada a comunidade Santa Maria (localização Googlemaps Figura 23a), na ilha de Panamim, região da cidade de Tefé-AM (Figura 23b). A casa (Figura 23c) está situada às margens do Rio Solimões, local onde foi fixado o LoRa Receptor, como pode ser observado na Figura 23d. O barco de pequeno porte utilizado e a equipe que participaram dos experimentos são ilustrados nas Figuras 23e e 23f, respectivamente (vide página 63). Vale destacar que nenhum outro link de comunicação foi identificada ao longo do trecho.

A Figura 24 (vide página 64) apresenta o ambiente onde foram realizados os experimentos práticos para medir a distância máxima de comunicação entre o LoRa Transmissor e o LoRa Receptor. Nesses experimentos foi estabelecido um cenário para realizar um teste de alcançabilidade, com um Barco se afastando (cenário de Afastamento) ou se aproximando (cenário de Aproximação) da unidade receptora fixada na casa do ribeirinho a margem do Rio Solimões. A Figura 25b (vide página 64) é apresentada a trajetória do barco que se desloca perpendicularmente da Margem A (casa do ribeirinho - localização do dispositivo receptor) para Margem B realizando o cenário de Afastamento. Ao chegar à Margem B, o barco retorna se deslocando perpendicularmente em direção a Margem A, realizando o cenário de Aproximação.

Figura 23 – Cenário do segundo experimento.

(a) Localização da Comunidade Santa Maria.



Fonte: (Google Maps, 2022)

(c) Casa situada à margem do Rio Solimões.



Fonte: Própria autora

(e) Barco utilizado no experimento.



Fonte: Própria autora

(b) Comunidade Santa Maria.



Fonte: Própria autora

(d) LoRa fixado na casa do morador a margem do Rio Solimões.



Fonte: Própria autora

(f) Equipe que participou dos Experimentos.



Fonte: Própria autora

Nos experimentos práticos foram realizadas 30 repetições, sendo 15 no cenário de Afastamento e 15 no cenário de Aproximação. Assim, 05 repetições foram realizadas para cada uma das respectivas velocidades de 10, 20 e 30 km/h no cenário de Afastamento. Da mesma forma, no cenário de Aproximação, foram realizadas 05 repetições para cada uma das respectivas velocidades de 10, 20 e 30 km/h. Os valores apresentados na próxima seção referem-se à média das 5 execuções de cada velocidade em cada cenário.

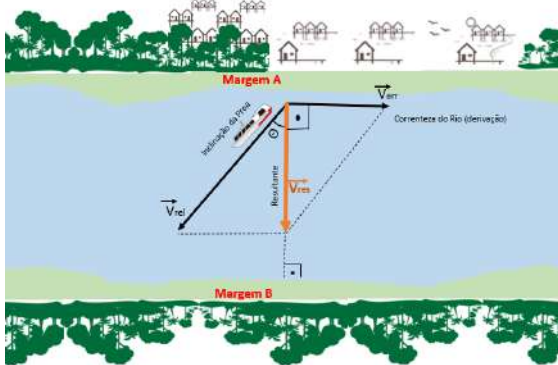
Figura 24 – Afastamento e Aproximação entre um Barco com o LoRa Transmissor e um LoRa Receptor fixado a margem do Rio Solimões.



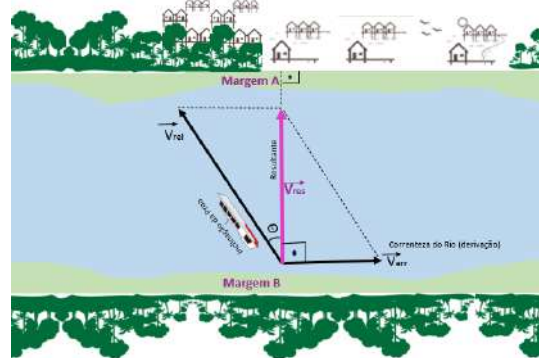
Fonte: Própria autora

Figura 25 – Afastamento ou Aproximação em relação à Margem A do Rio Solimões.

(a) Trajetória do barco: cenário de afastamento.



(b) Trajetória do barco: cenário de aproximação.



Fonte: Própria autora

Os fatores que podem influenciar nos resultados dos experimentos são as condições do tempo e a altura dos dispositivos LoRa Transmissor no barco e do LoRa Receptor na casa. A temperatura, a umidade e a pressão combinados permitem prever as condições do tempo, e assim, fornecer informações dos dias que vão chover, fazer sol e qualquer outra variação climática.

Nos experimentos, a temperatura ambiente variava de 32 a 39 °C, umidade relativa do ar de 76% a 80%, velocidade do vento de 4 a 7 km/h e a velocidade da correnteza do rio variava de 6 a 10 km/h. Dentro do barco, o dispositivo LoRa Transmissor estava a uma altura de 1 metro em relação ao nível do rio. Já o LoRa Receptor foi fixado na casa de um morador, a uma altura de 3 metros acima do nível do rio. Assim, o LoRa Transmissor e o Lora Receptor formavam uma rede de comunicação par a par.

No cenário de Afastamento, o dispositivo LoRa Receptor estava fixado na casa a margem do rio e o LoRa Transmissor estava fixado no barco que se afastava em direção à margem oposta do rio. O barco com o dispositivo LoRa Transmissor estava próximo do dispositivo LoRa Receptor, a distância entre os dispositivos era de 200 metros, uma vez que no período da seca dos rios, essa é distância entre a casa do ribeirinho e a margem do rio (evocando que o

experimento foi realizado no período que o rio ainda estava no período da cheia). Essa distância foi definida como marco zero (origem para cálculo da distância). O LoRa Receptor estava fixado há uma altura de 3 metros em relação ao solo. O barco se afastava da residência com velocidades constante de 30km/h, 20km/h e 10km/h. No cenário de Aproximação, o barco estava fora da área de cobertura do LoRa Receptor, ou seja, não havia conectividades entre os dispositivos, o barco realizava o movimento de Aproximação, com as mesmas velocidades do cenário de Afastamento, e parava a uma distância de 200 metros da casa do ribeirinho.

5.5 Resultados no Experimento *Outdoor*: Barco Navegando no Rio Solimões

No Experimento *Outdoor*: Barco Navegando no rio Solimões, o dispositivo LoRa Receptor foi fixado em uma casa localizada à margem do rio Solimões e o dispositivo LoRa Transmissor, foi fixado em um barco. Foram considerados dois cenários: Afastamento (quando o barco onde o LoRa Transmissor estava fixado, se afastava do LoRa Receptor fixado na casa ribeirinha situada na Margem A), e Aproximação (quando o barco onde o LoRa Transmissor estava fixado encontrava-se na Margem B e se aproximava da casa onde o LoRa Receptor estava fixado).

As Tabelas 4 e 5 resumem os principais resultados dos experimentos práticos no cenário fluvial. No cenário de afastamento (Tabela 4), o Tempo Máximo e Tempo de Comunicação coincidem para a velocidade de 10 km/h, que é de 06 minutos e 02 segundos. Da mesma forma os referidos tempos coincidem para a velocidade de 20km/h, que é de 03 minutos e 45 segundos. Esse fato não aconteceu para a velocidade de 30 km/h, pois o Tempo de Comunicação é inferior em 8 segundos do Tempo Máximo, que é de aproximadamente 02 minutos e 56 segundos. A explicação para esse fato é que a velocidade alta impacta diretamente no comportamento do enlace de comunicação. Ou seja, a velocidade alta reduz o tempo de contato, e conseqüentemente, reduz o Tempo de Comunicação entre os nós da rede.

Um ponto que merece atenção, são os valores obtidos na métrica de Alcance Máximo. O dispositivo LoRa Receptor já estava posicionado a 200 metros da casa do ribeirinho, e os valores apresentados na Tabela 4 não estão somados aos 200 metros de distância definido como marco zero entre o dispositivo LoRa Transmissor e dispositivo LoRa Receptor. Assim, podemos afirmar que na verdade, os valores obtidos na métrica de Alcance Máximo, foi 200 metros maior que os valores apresentados na Tabela 4. De acordo com a literatura, LoRa alcança grandes distâncias, em torno de 2 km a 10 km conforme configuração de SF aplicada. Os dispositivos LoRa Transmissor e Receptor utilizados no trabalho, foi configurado com o SF 7, que tem um alcance em torno de 2 km e entrega uma taxa de dados mais alta segundo a literatura (Semtech, 2019; Alliance, 2022; LoRa Alliance, 2015). Entretanto, faz-se necessário posicionar a antena em uma altura bem elevada para que haja maior propagação do sinal de rádio e assim alcançar

longas distâncias.

Tabela 4 – Cenário de Afastamento (Barco deslocando da Margem A em direção a Margem B).

Velocidade dos Barcos (km/h)	Alcance Máximo (Metros)	Distância de Comunicação (Metros)	Tempo Máximo (Minutos:Segundos)	Tempo de Comunicação (Minutos:Segundos)
10	1170	[0, 1169] = 1170	06:02	06:02
20	1301	[0, 1300] = 1301	03:45	03:45
30	1352	[0, 692] = 693 e [793, 1352] = 559	02:56	02:48

No cenário de Aproximação (Tabela 5), o Tempo Máximo e o Tempo de Comunicação para a velocidade de 10 km/h diferem de 01 minuto e 31 segundos. Para a velocidade de 20 km/h esses tempos diferem de 01 minuto e 16 segundos, e para a velocidade de 30 km/h esses tempos diferem de 01 minuto e 09 segundos. Isso acontece porque os dispositivos LoRa estavam realizando autenticação, associação e o controle adaptativo de taxa de transmissão na rede par a par composta por esses dispositivos. Inicialmente os dispositivos LoRa estavam fora da área de cobertura um do outro, não sendo possível enviar e receber mensagens de forma satisfatória pela rede formada por esses dispositivos. Posteriormente, após a conectividade entre os dispositivos LoRa Transmissor e LoRa Receptor ser estabelecida, o envio, a recepção e a interpretação de mensagens passa a ser realizada de forma aceitável, devido as características de sensibilidade e potência do sinal.

Tabela 5 – Cenário de Aproximação (Barco deslocando da Margem B em direção a Margem A).

Velocidade dos Barcos (km/h)	Alcance Máximo (Metros)	Distância de Comunicação (Metros)	Tempo Máximo (Minutos:Segundos)	Tempo de Comunicação (Minutos:Segundos)
10	1196	[0, 305] = 306 e [659, 1196] = 537	05:12	03:41
20	1563	[488, 1563] = 1075	04:03	02:47
30	1373	[580, 1573] = 993	03:07	01:58

É importante salientar que, considerando o cenário de afastamento, quando o barco com o dispositivo LoRa Transmissor se afastava da casa do ribeirinho, local onde estava fixado o LoRa Receptor, a rede LoRa par a par já estava formada (já havia um contato), ou seja, os dispositivos estavam dentro da área de cobertura e os processos de autenticação e associação já haviam sido realizados com características de sensibilidade e potência do sinal de forma satisfatória. No cenário de aproximação a situação é diferente, pois os dispositivos estavam fora da área de cobertura, precisavam realizar a autenticação, a associação e o controle adaptativo de taxa de transmissão do LoRa.

Da mesma forma que no cenário de Afastamento não foram somados os 200 metros (definido como marco zero entre o dispositivo LoRa Transmissor e dispositivo LoRa Receptor)

na métrica de Alcance Máximo, também não foram somada essa distância nos valores obtidos no cenário de Aproximação na métrica de Alcance Máximo apresentados na Tabela 5. Assim, também podemos afirmar que os resultados para a métrica Alcance Máximo foi 200 metros maior que os valores apresentados na Tabela 5.

5.5.1 Afastamento - RSSI e SNR em função da Distância

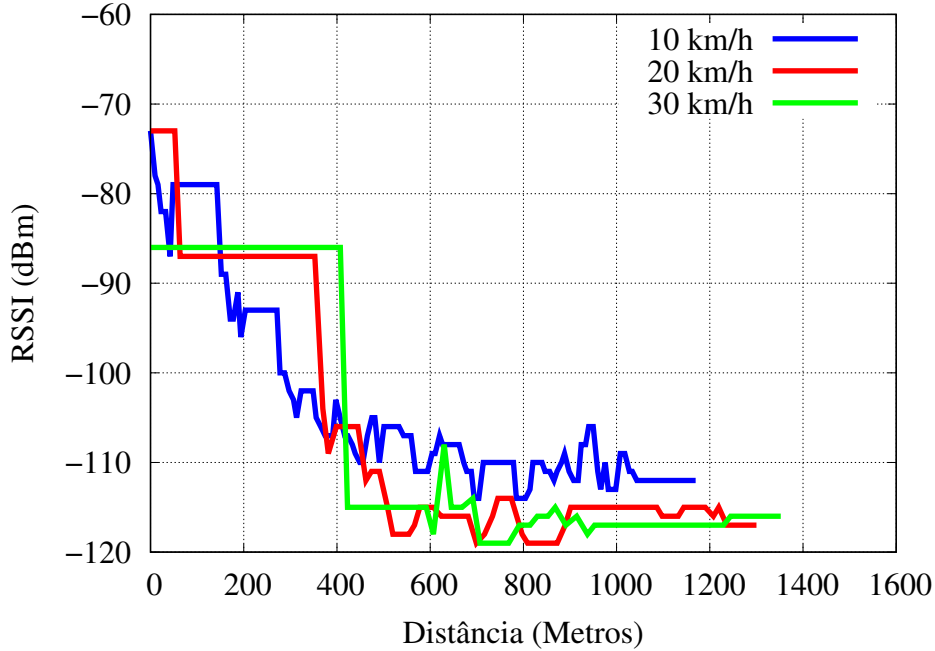
Os resultados de RSSI e SNR em relação à distância nos experimentos práticos do cenário de afastamento são apresentados nas Figuras 26a e 26b. Comparando a Figura 19 com as Figuras 26a e 26b combinadas, nós podemos afirmar que:

- Para a velocidade de 10 km/h: Para essa velocidade, nos experimentos práticos obtivemos valores de RSSI que variava de [-111 : -73] dBm e SNR de [3,75 : 12,25] dB. De acordo com os valores de referência da Figura 19, o link de rádio é considerado "ÓTIMO" e com pouca interferência durante o intervalo de tempo de 06 minutos 02 segundos de contato, com um alcance de 1169 metros;
- Para a velocidade de 20 km/h: os valores obtidos de RSSI variava de [-119 : -73] dBm, ao passo que o SNR variava de [-9,25 : 3,75] dB. Nos primeiros 508 metros de distância percorrida pelo barco o link de comunicação é considerado "ÓTIMO". Já para as distâncias superiores a 509 metros, há uma queda no desempenho do sinal de RSSI, entretanto, ainda há sincronismo no link de comunicação, funcionando de forma estável. Desta forma, o link de comunicação é classificado como "BOM", considerando que o dispositivo LoRa localizado no barco estava se afastando da casa situada à margem do rio Solimões, local onde estava o outro dispositivo LoRa.
- Para a velocidade de 30 km/h: os valores obtidos de RSSI variava de [-119 : -86] dBm, ao passo que o SNR variava de [-15,75 : 12,25] dB. Nos primeiros 591 metros de distância percorrida pelo barco o link de comunicação é considerado "ÓTIMO". Já para as distâncias que variam de 592 a 728 metros, o link de comunicação sofre oscilações brandas, sendo classificado como "BOM". Para distâncias que variam de 729 a 768 metros observa-se que o link de comunicação sofre oscilações severas (RSSI variando de [-119 : -117] e SNR variando de [-11,5 : -15,75]), considerado sinal "FRACO". Para distâncias que superam 792 metros o enlace voltava a ficar "Estável", reestabelecendo o sinal de comunicação.

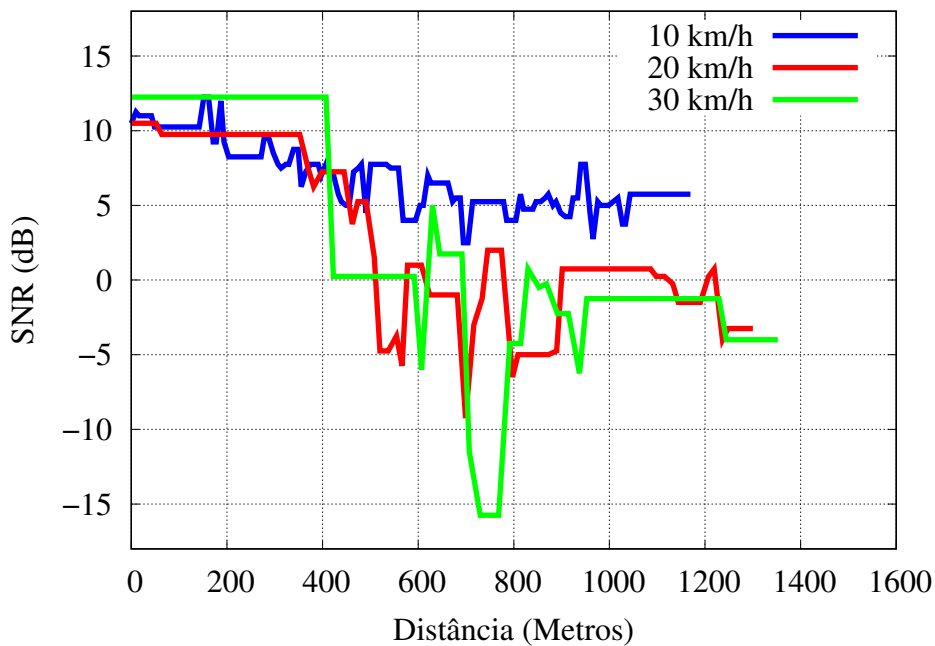
Embora a Tabela 5 esteja apresentando os resultados do experimento na sequência das velocidades 10, 20 e 30 Km/h, o experimento foi realizado na ordem decrescente das velocidades. A velocidade de 30 km/h foi priorizada por ser a velocidade média das embarcações local. Dada as limitações do tempo de permanência na região, o experimento acabou sendo realizado testando as três velocidades a cada dia. Ocorre que no momento em que eram realizados os experimentos na velocidade de 10 km/h, o dia já era por volta das 11h30min, a temperatura já estava muito

Figura 26 – RSSI e SNR em Função da Distância: Afastamento (Barco deslocando da Margem A em direção a Margem B)

(a) RSSI X Distância - Afastamento.



(b) SNR X Distância - Afastamento.



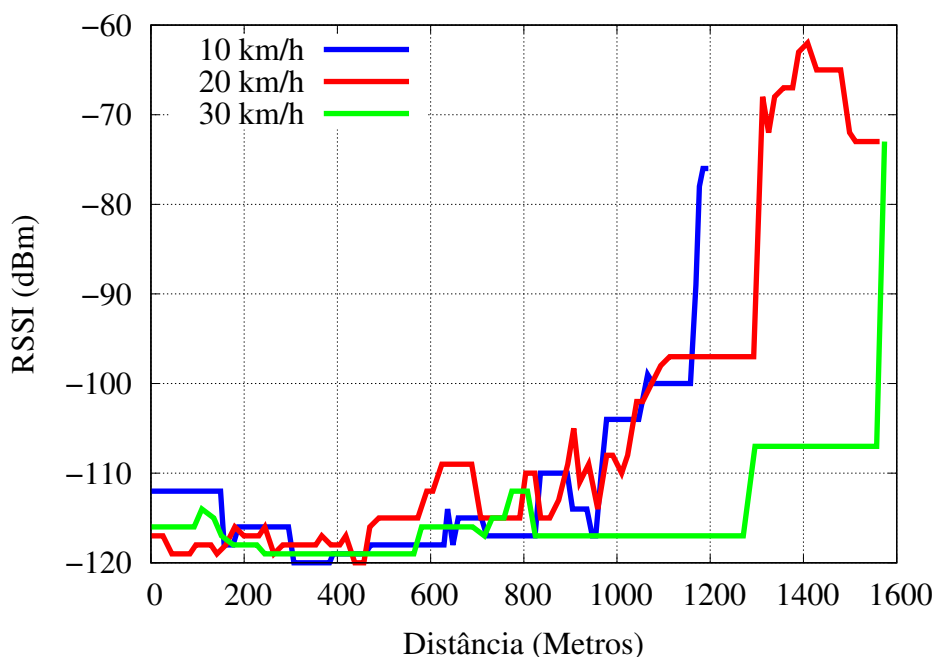
elevada, e com o dispositivo LoRa Transmissor exposto ao sol desde as primeiras horas da manhã. Desta forma, o dispositivo LoRa Transmissor sofreu superaquecimento, acreditamos que seja essa a razão pelo baixo desempenho no alcance do link de comunicação nos testes realizados na velocidade de 10 km/h, pois o dispositivo LoRa Transmissor estava muito quente e em alguns experimentos, tivemos que interromper os testes visto que o dispositivo havia parado de funcionar.

5.5.2 Aproximação - RSSI e SNR em função da Distância

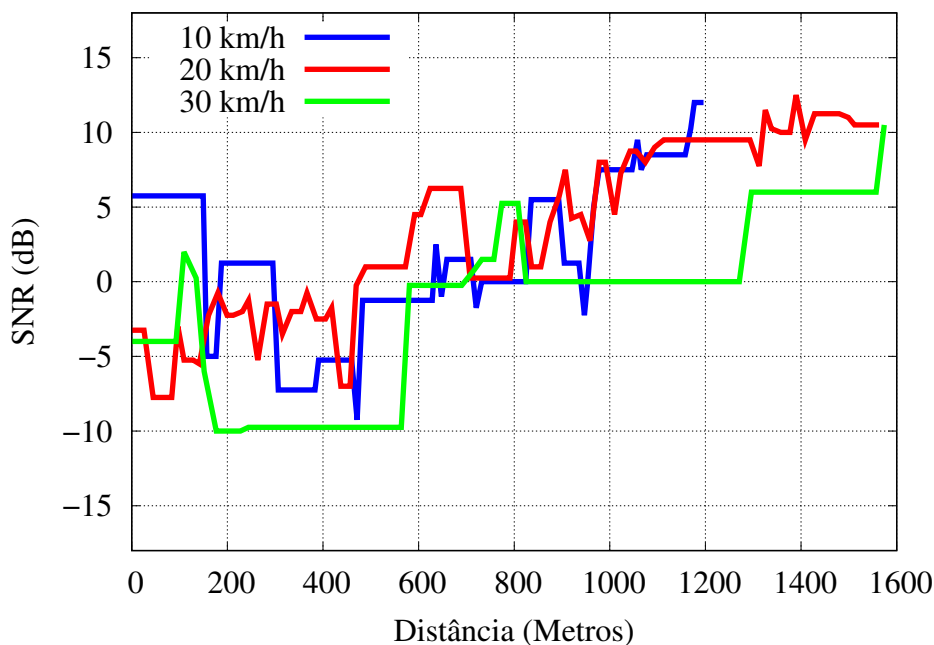
Os resultados de RSSI e SNR em relação à distância nos experimentos práticos no cenário de aproximação são apresentados nas Figuras 27a e 27b. Comparando a Figura 19 com as Figuras 27a e 27b combinadas, nós podemos afirmar que:

Figura 27 – RSSI e SNR em Função da Distância: Aproximação (Barco descolocando da Margem B em direção a Margem A)

(a) RSSI X Distância - Cenário de Aproximação.



(b) SNR X Distância - Cenário de Aproximação.



- Para a velocidade de 10 km/h: os valores obtidos de RSSI variavam de [-120 : -74] dBm

e SNR variavam de [6 : 12] dB. De acordo com os valores de referência da Figura 19, RSSI apresentava um sinal fraco nos primeiros metros, todavia, SNR apresentava uma boa faixa na qualidade do sinal. Assim, o link de comunicação é considerado "BOM" dado a qualidade do link de comunicação.

- Para a velocidade de 20 km/h: os valores obtidos de RSSI variava de [-120 : -62] dBm, ao passo que o SNR variava de [-7 : 12,5] dB. Nos primeiros 487 metros de distância percorrida pelo barco, o link de comunicação é considerado "FRACO", pois o algoritmo de adaptação de taxa está tentando estabelecer a conexão da rede par a par. Para distâncias superiores a 487 metros, o link de comunicação consegue manter sincronismo e funcionar de forma satisfatória, classificado como "ÓTIMO".
- Para a velocidade de 30 km/h: os valores obtidos de RSSI variava de [-119 : -74] dBm e SNR variava de [-10 : 10] dB. De acordo com os valores de referência da Figura 19, nos primeiros metros o link de comunicação apresentava um sinal "FRACO" para estabelecer o contato entre os dispositivos. Entretanto, na medida que o barco que estava com o dispositivo LoRa Transmissor se aproximava do Dispositivo LoRa Receptor, o link de comunicação melhorava em sua performance, estabelecendo um link de comunicação "ÓTIMO".

O dispositivo LoRa Transmissor, precisou estabelecer o processo de associação com dispositivo LoRa Receptor nas três velocidades de estudo, ou seja, 10, 20 e 30 km/h. O algoritmo de adaptação de taxa está tentando estabelecer a conexão da rede par a par. Após estabelecer o processo de associação, o link de comunicação foi estabelecido entre o dispositivo LoRa Transmissor e dispositivo LoRa Receptor. Os experimentos realizados para a velocidade de 10 km/h, no cenário de Aproximação, apresentou baixo desempenho no alcance do link de comunicação, pela razão da exposição ao sol, fazendo com que o dispositivo LoRa Transmissor sofresse superaquecimento.

5.5.3 Taxa de Entrega de Pacotes

A Figura 28 (vide página 71) mostra a Taxa de entrega de pacotes em função da distância. No cenário de Afastamento (Figura 28a), observamos uma redução gradual da Taxa de entrega de pacotes para as velocidades de 10, 20 e 30 km/h, em virtude do afastamento do barco da casa do ribeirão, e conseqüentemente, variação do RSSI (Figura 26a) e SNR (Figura 26b). Para as velocidades de 10 e 20 km/h constatamos uma variação de 75 a 80% da Taxa de entrega de pacotes, ao passo que para a velocidade 30 km/h observamos uma variação 73 a 77%. De 0 a um pouco menos de 400 metros, a Taxa de entrega de pacotes no LoRa Receptor situado na casa do ribeirão se mantém estável para as 3 velocidades, com oscilações brandas. Quando os barcos atingem a distância em torno de 600 metros, verificamos que a Taxa de entrega de pacotes se iguala para as três velocidades, com o valor 78%.

No cenário de Aproximação (Figura 28b), observamos um aumento gradual da Taxa de entrega de pacotes para as velocidades de 10, 20 e 30 km/h, em virtude do barco se aproximar do LoRa Receptor fixado na casa do ribeirinho. Para as velocidades de 10, 20 e 30 km/h as Taxas de entrega de pacotes variam de 76,78% a 79,73%, de 74,56% a 77,67% e de 74% a 76,1%, respectivamente. Quando os barcos atingem a distância em torno de 600 metros, verificamos que a Taxa de entrega de pacotes se iguala para as velocidade de 20 e 30 km/h, com o valor no entorno de 75%.

Foi observado que tanto no cenário de Afastamento e cenário de Aproximação, a Entrega de Pacotes ficou em torno de 75% para as três velocidades de estudo, quando o barco atingiu a distância de 1200 m da Margem A. Acreditamos que o alcance do link de comunicação e a Entrega de Pacotes, ocorreria em distância maiores e uma porcentagem maior de Entrega de Pacote respectivamente, se a antena tivesse sido posicionada em uma altura mais elevada, uma vez que a antena do dispositivo LoRa Receptor estava posicionado a 3 m do nível do rio devido a infraestrutura local.

5.5.4 Variação do Ângulo de Mudança de Direção

A trajetória dos barcos nos rios da Amazônia ocorrem em seus canais, que sofrem variações em sua largura e profundidade, devido as condições dos seus afluentes no período da cheia e da seca. Outros fatores que influenciam na trajetória dos barcos são as constantes mudanças nos bancos de areia, a intensa correnteza das águas, os rebojos, que são pequenos redemoinhos formado pela convergência das velocidades distintas das águas, as toras de madeira que descem o rio, as pedras e as árvores caídas das ribanceiras dos rios. Dentre todos esses fatores, o sentido da corrente do rio orienta a forma de navegar. O barco que navega no mesmo sentido da corrente do rio segue o fluxo médio (centro), enquanto o barco que navega contra a corrente do rio segue junto à margem; quem desce o rio tem prioridade de passagem (BRASIL, 2007).

Assim, foram coletadas informações sobre os ângulos das embarcações e sua variabilidade foi observada no trecho onde foram realizados os experimentos práticos. Desta forma, a variação do ângulo de mudança de direção ($\Delta\Theta_i(t_j)$) é dada pela variação do ângulo do barco no i -ésimo instante de tempo (t_j) para o instante anterior $t_{(j-1)}$, de acordo com a equação:

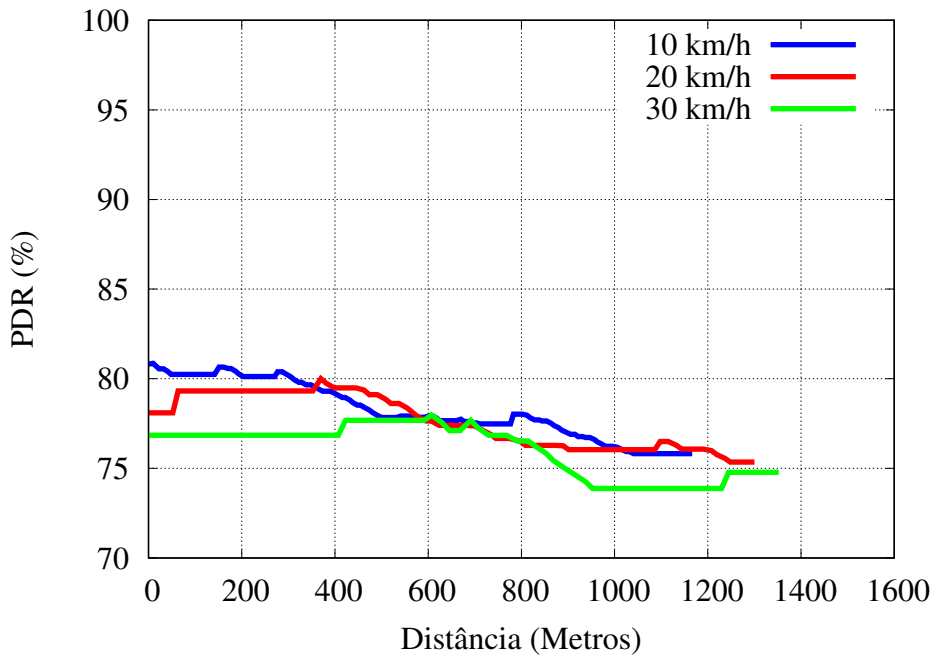
$$\Delta\Theta_i(t_j) = \Theta(t_j) - \Theta(t_{j-1}) \quad (5.1)$$

Os valores positivos e negativos assumidos por $\Delta\Theta_i(t_j)$ são analisados conjuntamente, ou seja, o módulo será usado para representar essa grandeza na análise. A seguir será apresentada uma análise estatística da variação do ângulo de mudança de direção, a função de distribuição de probabilidade empírica e as trajetórias do barco.

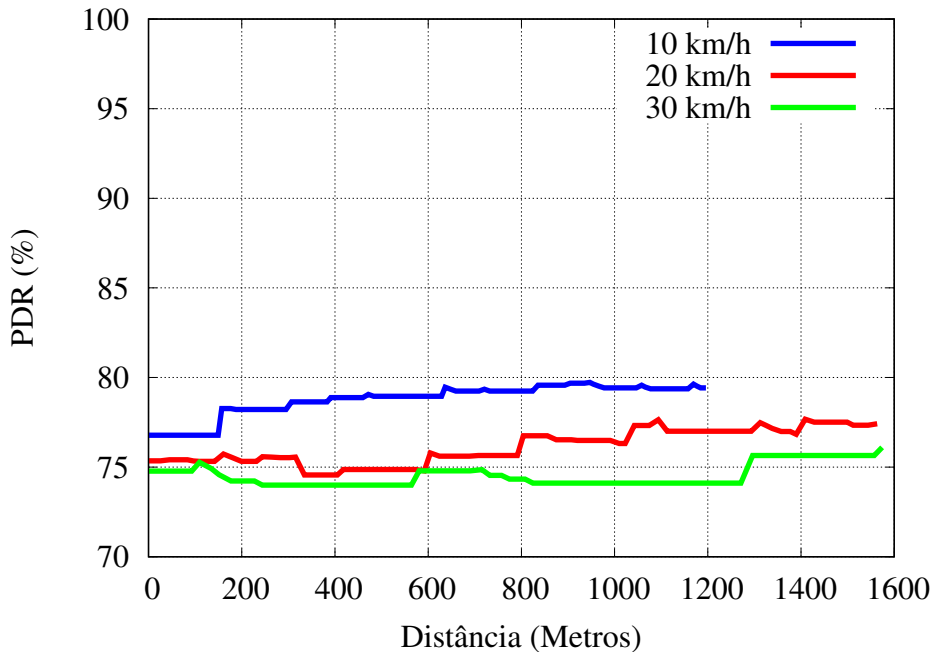
Com esses dados, as seguintes análises foram realizadas:

Figura 28 – Taxa de Entrega de Pacotes nos cenários de Afastamento e Aproximação.

(a) Taxa de entrega de pacotes - Afastamento (Barco deslocando da Margem A em direção a Margem B)



(b) Taxa de entrega de pacotes - Aproximação (Barco deslocando da Margem B em direção a Margem A)



- Análise Estatística:** A variação do ângulo de mudança de direção dos barcos nos cenários de afastamento e aproximação é de extrema importância para um melhor entendimento sobre o comportamento dos dados empíricos, permitindo caracterizar a variação do ângulo através da média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo e do número de amostras do experimento, conforme a Tabela 6 (vide página 73). O valor médio do ângulo de mudança de direção para as velocidades de 10, 20 e 30 km/h dos barcos no cenário de afastamento são de $1,53^\circ$, $1,48^\circ$ e $1,25^\circ$, respectivamente. Já

Tabela 6 – Variação do ângulo de Mudança de Direção - Cenários de afastamento e aproximação dos barcos com as respectivas velocidades de 10, 20 e 30 km/h.

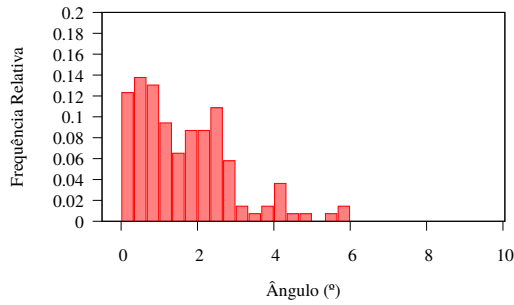
Ângulo de Mudança de Direção (°) - Velocidade de 10km/h		
Medidas	Afastamento	Aproximação
Médias	1,53	1,76
Variância	2,17	3,51
Desvio padrão	1,47	1,86
Coefficiente de Variação	96,13	106,09
Valor mínimo	0,00	0,00
Valor máximo	10,47	10,15
Número de amostras	722	617
Ângulo de Mudança de Direção (°) - Velocidade de 20km/h		
Medidas	Afastamento	Aproximação
Média	1,48	1,35
Variância	4,61	3,63
Desvio padrão	2,13	1,89
Coefficiente de variação	144,30	139,72
Valor mínimo	0,00	0,00
Valor máximo	9,95	8,08
Número de amostras	437	392
Ângulo de Mudança de Direção (°) - Velocidade de 30 km/h		
Medidas	Afastamento	Aproximação
Média	1,25	1,20
Variância	5,38	4,17
Desvio padrão	2,30	2,02
Coefficiente de variação	183,47	168,99
Valor mínimo	0,00	0,00
Valor máximo	9,73	9,8
Número de amostras	342	264

no cenário de aproximação, com as velocidades de 10, 20 e 30 km/h os valores médio do ângulo de mudança de direção correspondem a 1,76 °, 1,35 ° e 1,20 °.

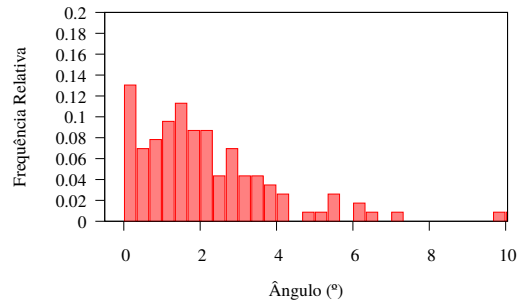
- **Função de Distribuição de Probabilidade Empírica:** A análise das características de distribuição da variação do ângulo de mudança de direção dos dados reais é apresentada na Figura 29. Nós podemos verificar que as mudanças de direção ocorrem de forma suave na maior parte do tempo, para valores entre 0° e 4° nos cenários de afastamento e aproximação. É importante frisar que quando o barco se aproximava do ponto fixo situado na casa do ribeirão (Margem A) ou da margem oposta da casa do ribeirão (Margem B), o barco parava ($v = 0$), ficava à deriva, realizava o movimento de 180° (curva acentuada) e o experimento era reiniciado. As variações do ângulo de mudança de direção atingiram até aproximadamente 10°.
- **Trajetórias do barco:** O barco com o LoRa Transmissor realizou a travessia da margem A para a margem B e vice-versa no Rio Solimões, nas proximidades da comunidade

Figura 29 – Variação do ângulo de mudança de direção.

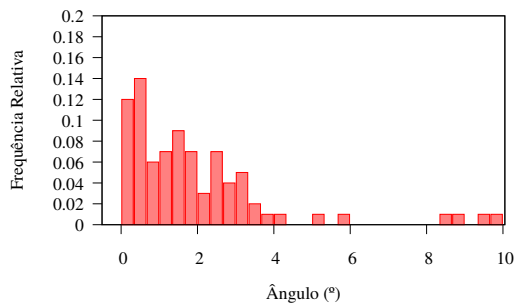
(a) Barco se afasta da margem do rio a 10 km/h.



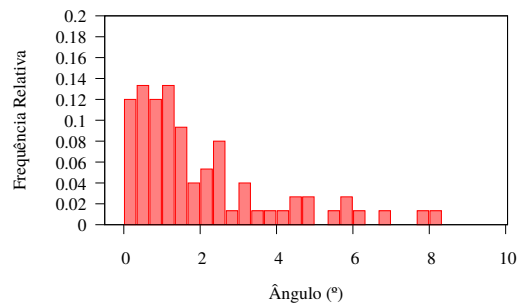
(b) Barco se aproxima da margem do rio a 10 km/h.



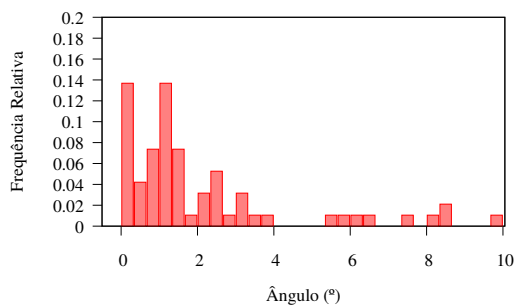
(c) Barco se afasta da margem do rio a 20 km/h.



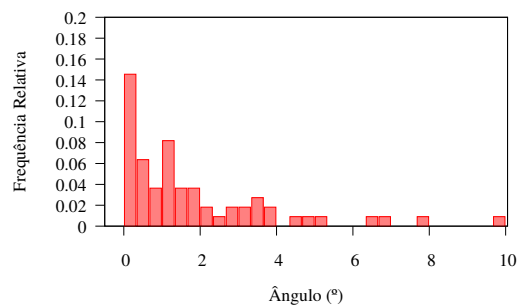
(d) Barco se aproxima da margem do rio a 20 km/h.



(e) Barco se afasta da margem do rio a 30 km/h.



(f) Barco se aproxima da margem do rio a 30 km/h.



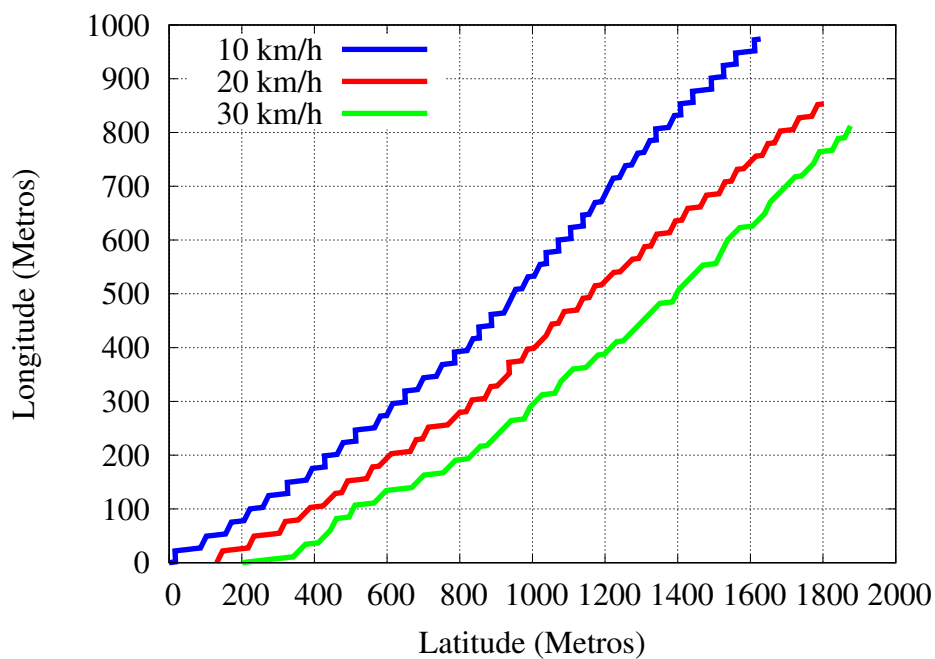
Santa Maria, sob intensa correnteza das águas, árvores caídas nas ribanceiras e com toras de madeira que descem o Rio Solimões. Sua trajetória é a resultante dos vetores (\vec{V}_{res}), conforme ilustram as Figuras 25a e 25b, respectivamente, nos cenários de afastamento e aproximação (vide página 64). É importante destacar que o barco não segue uma trajetória retilínea, como os carros trafegam dentro de uma faixa nas vias urbanas. Assim, as trajetórias do barco a velocidades de 10, 20 e 30 km/h, nos cenários de afastamento e aproximação são representadas nas Figuras 30a e 30b, respectivamente.

5.6 Considerações Finais

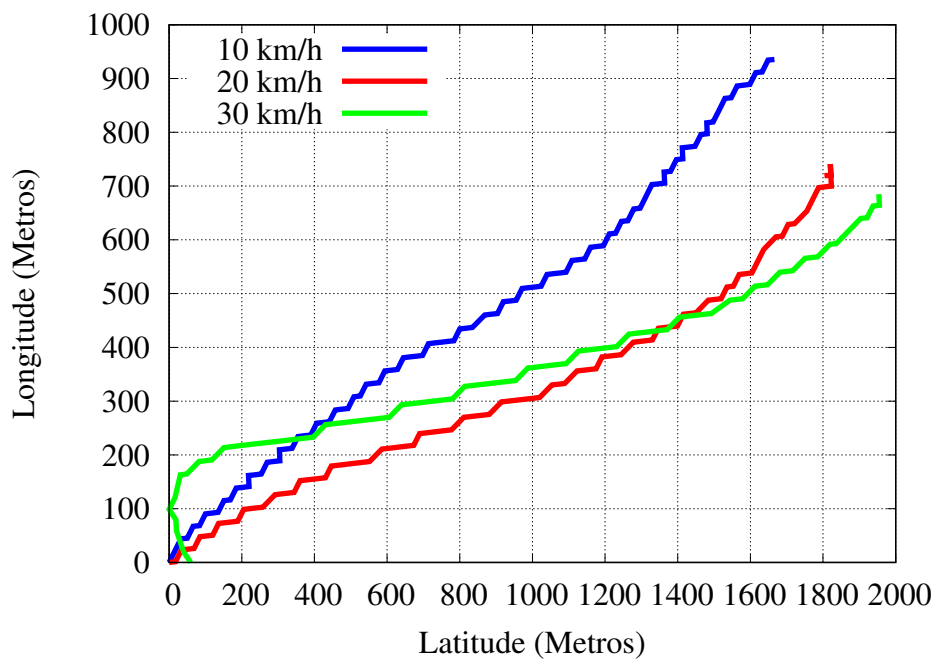
Este capítulo apresentou o Experimento *Outddor*: Barco Navegando no Rio Solimões, a metodologia seguida e como foi executado o experimento. Também foram apresentados os resultados obtidos no referido experimento.

Figura 30 – Trajetória do barco no Rio Solimões.

(a) Trajetória do barco - cenário de afastamento.



(b) Trajetória do barco - cenário de aproximação.



CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A região da Amazônia tem características geográficas e naturais peculiares, onde há predominância de rios caudalosos e densas florestas. Assim, para que as pessoas que vivem nessa região se desloquem entre as cidades, comunidades remotas e vilarejos, elas utilizam-se das estradas fluviais, que são os rios, onde os barcos são os principais meios de transportes de pessoas e/ou cargas. Em função da dificuldade de acesso, a infraestrutura de comunicação é precária (a velocidade de Internet é lenta e o serviço é caro) na maior parte da região.

Em face a esse cenário, o princípio da arquitetura Rede Infraestruturada (V2I) das Redes Veiculares, utilizando os barcos como veículo, acoplados com dispositivos de IoT, surge como uma alternativa interessante para fornecer recursos de comunicação de dados para os moradores dessa região. Partindo do contexto de IoT, vislumbrou-se utilizar os dispositivos de IoT com LoRa para estabelecer comunicação e troca de dados, por serem de baixo custo, longo alcance e com baixo consumo de energia.

Para análise do comportamento da técnica de modulação LoRa no ambiente da Amazônia, foram realizados dois experimentos, um em um ambiente fechado (*Indoor*) em uma área urbana e outro no Rio Solimões (*Outdoor*).

O Experimento *Indoor*: Salas com Obstáculo, foi realizado nas salas de aula do IFAM/CMDI, onde foi possível avaliar o link de comunicação, através do sinal de potência (RSSI), e a Relação Sinal-Ruído (SNR). O Sinal de RSSI alcançado entre a Sala 1 e Sala 2 (havia uma parede entre as salas), apresentou um ótimo sinal de potência, igualmente para a relação sinal-ruído, apresentando valores que variavam de [-49:-63] dBm a [7,75:12,25] dB respectivamente. Para as disposições nas Salas 1 e Sala 3 (havia duas paredes entre as salas), o RSSI e SNR foram [-55:-67] dBm e [9,5:13] dB respectivamente. Para as disposições nas Salas 1 e Sala 4 (havia três paredes entre as salas), o RSSI e SNR foram [-68:-77] dBm e [8,25:13,5] dB respectivamente e para as disposições nas Salas 1 e Sala 5 (havia quatro paredes entre as salas), o RSSI e SNR [-82:-101] dBm e [8,5:13] dB respectivamente. Foi verificado que sinal de rádio sofria prejuízos na medida

que o dispositivo LoRa Transmissor se afastava do dispositivo LoRa Receptor, contudo, o sinal de rádio mantinha uma ótima recepção. Esse experimento foi necessário para a realizar uma prova de conceito dos protótipos que foram montados para realizar o experimento *Outdoor*. Sob outra perspectiva, o protótipo também poderia ser utilizado para realizar comunicação de dados entre as casas flutuantes das comunidades ribeirinhas, tendo em vista que as casas flutuantes são muito próximas uma das outras por oferecem apoio de passagem entre elas.

No segundo momento desse trabalho, foi realizada a investigação do potencial desta solução em termos de capacidade de transmissão de dados da rede par a par formada por dois dispositivos LoRa, um dispositivo fixo e outro móvel, no Rio Solimões. O dispositivo fixo ($v = 0$) estava na casa de um ribeirinho e o dispositivo móvel estava acoplado a um barco, que se deslocava com as velocidades de 10, 20 e 30 km/h, realizando afastamento ou aproximação do dispositivo LoRa fixado na casa do ribeirinho. Os resultados dos experimentos mostram que no cenário de Afastamento a distância e tempo de comunicação podem alcançar, respectivamente, 1352 metros e pouco mais de 2 minutos. No cenário de Aproximação a distância e o tempo de comunicação são reduzidos, respectivamente, a 1563 metros, e 02 minutos e 47 segundos. Este fato pode ser explicado porque, no cenário de Afastamento, o barco estava dentro da área de cobertura e os dispositivos estavam transmitindo ou recebendo dados. No cenário de Aproximação, o barco estava fora da área de cobertura, e os dispositivos tiveram mais dificuldades em executar processos de autenticação e associação e, posteriormente, transmitir ou receber dados.

O experimento *Outdoor* foi executado com a realidade que a infraestrutura local oferecia, uma vez que investiga-se a viabilidade do uso do dispositivo de IoT acoplado com LoRa para oferecer uma alternativa de comunicação de dados de acordo com a realidade local. Mesmo com as antenas posicionadas em alturas não ideais para a propagação de sinal de rádio, o link de comunicação teve um alcance em distância de 66,7% no cenário de Afastamento e cerca de 78,15% no cenário de Aproximação, em comparação a distância referenciada na literatura para SF 7. Contudo, destaca-se que nesses resultados, não foram somados os 200 metros (marco zero) que distanciava o dispositivo LoRa Transmissor e LoRa Receptor, se for tomado essa distância como acréscimo no alcance de comunicação, o alcance ficaria em torno de 77% e 88,15% no cenário de Afastamento e cenário de Aproximação respectivamente.

Entende-se que se posicionar as antenas em uma infraestrutura mais elevada e proporcionar aos dispositivos LoRa Transmissor e Receptor, uma proteção dos raios solares para evitar superaquecimento nos dispositivos, podemos alcançar distâncias ainda maiores e consequentemente, obter melhores resultados. Assim, com os resultados apresentados, concluímos que o uso de dispositivos de IoT acoplado com LoRa é viável para estabelecer uma comunicação par a par no cenário fluvial e pode ser utilizada como alternativa de comunicação e transmissão de dados em áreas remotas da região da Amazônia.

6.1 Contribuições Científicas

As principais contribuições desse trabalho são:

- Avaliação da transmissão do Sinal de Potência e Relação Sinal-Ruído diante de obstáculos entre os dispositivos LoRa Transmissor e LoRa Receptor;
- Avaliação da capacidade de transferência de dados da tecnologia LoRa nos cenários de afastamento e aproximação de um barco com dispositivo de IoT acoplado em relação a um dispositivo de IoT fixado na casa do ribeirinho no Rio Solimões, em uma comunidade próxima da cidade de Tefé - Amazonas;
- Análise das métricas de desempenho da rede LoRa (RSSI e SNR), que impactam no alcance e tempo máximo, distância e tempo de comunicação, ângulo e trajetória durante a transmissão e a recepção de dados.

Somadas as contribuições, o projeto de pesquisa também coopera para o alcance de alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas ([Nações Unidas, 2015](#)), como:

"Objetivo 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. 9C: Aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação e se empenhar para oferecer acesso universal e a preços acessíveis à internet nos países menos desenvolvidos, até 2020."

"Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis."

"Objetivo 15: Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade. 15.7: Tomar medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas e abordar tanto a demanda quanto a oferta de produtos ilegais da vida selvagem."

Com relação à produção científica, um artigo foi submetido para o periódico *Vehicular Communications*:

- *Performance Analysis of an Internet of Things Network in the Rivers of the Amazon*

Autores: Lucélia Cunha da Rocha, Sarita Mazzini Bruschi, Paulo Sergio Lopes de Souza, Jó Ueyama, Alyson de Jesus dos Santos, Jezreel Souto Barbosa

6.2 Trabalhos Futuros

Este projeto de mestrado, pelo seu escopo e detalhamento, permite outras investigações. A seguir apresentamos algumas possibilidades de desdobramento:

- Analisar o comportamento da técnica de modulação LoRa com as configurações de SF 8, SF 9, SF 10, SF 11 e SF 12 nos cenários de estudo desse trabalho.
- Realizar a análise do balanço de potência dos sinais de modulação LoRa nos cenários de estudos.
- Avaliar a transferência de dados da tecnologia LoRa através da simulação computacional, reproduzindo a mobilidade dos barcos no trecho delimitado no experimento prático;

REFERÊNCIAS

Aazam, M.; Huh, E. Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In: **2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 464–470. ISSN null. Citado nas páginas 35 e 36.

AAZAM, M.; HUH, E.-N. Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In: IEEE. **2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud**. [S.l.], 2014. p. 464–470. Citado na página 35.

Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M.; Ayyash, M. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, Fourthquarter 2015. ISSN 2373-745X. Citado nas páginas 35, 36, 38 e 39.

Al-Zaidi, R.; Woods, J. C.; Al-Khalidi, M.; Hu, H. Building novel vhf-based wireless sensor networks for the internet of marine things. **IEEE Sensors Journal**, v. 18, n. 5, p. 2131–2144, March 2018. Citado nas páginas 48 e 49.

Alliance, L. **What is LoRaWAN Specification**. 2022. <https://www.lora-alliance.org>. Acessado em Dezembro/2022. Citado nas páginas 26, 39, 40 e 65.

Almeida, T. T.; Gomes, L. C.; Ortiz, F. M.; Júnior, J. R.; Costa, L. H. M. K. Ieee 802.11p performance evaluation: Simulations vs. real experiments. In: **2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 3840–3845. Citado na página 28.

Alves, R. dos S.; Campbell, I. do V.; Couto, R. de S.; Campista, M. E. M.; Moraes, I. M.; Rubinstein, M. G.; Duarte, L. H. M. K. C. O. C. M. B.; Abdalla, M. Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC**, p. 17–24, 2009. Citado nas páginas 32, 33, 34 e 35.

Amazônia Conectada. **Projeto Amazônia Conectada**. 2022. <http://www.amazoniaconectada.eb.mil.br>. Acessado em Janeiro/2023. Citado na página 27.

ATLAM, H.; WALTERS, R.; WILLS, G. Fog computing and the internet of things: A review. **Big Data and Cognitive Computing**, v. 2, 04 2018. Citado na página 35.

Bonilla, R. Z.; Bhandari, R.; Rodarte, A. P. Multi-attribute assessment of a river electromobility concept in the amazon region. **Energy for Sustainable Development**, v. 61, p. 139–152, 2021. ISSN 0973-0826. Citado na página 25.

BRASIL, M. do. **Convenção sobre o Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar**. [S.l.], 2007. <https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-40.pdf>. Citado na página 71.

Caldas, R. C. Verão e inverno amazônico: Conceito científico de clima e a concepção popular de clima nas localidades ribeirinhas do município de cameté – Pará. **XVIII Encontro Nacional de Geógrafo**, jun. 2016. Citado na página 59.

- Costa, J.; Rosário, D.; SOUZA, A. M. de; VILLAS, L. A.; CERQUEIRA, E. Protocolo para disseminação de dados em vanets baseado em métricas de redes complexas: Um estudo de caso com sistema de gerenciamento de tráfego. In: **Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2018. ISSN 2177-9384. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbrc/article/view/2478>>. Citado na página 32.
- Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; Blair, G. **Distributed Systems: Concepts and Design**. 5. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2011. Citado na página 25.
- Coutinho, M. M. **Continuous Displacement Plan Oriented Network - CODPON**. 2011. <<http://www.margalho.pro.br/codpon/>>. Acessado in Novembro/2022. Citado nas páginas 43 e 44.
- Coutinho, M. M.; Efrat, A.; Johnson, T.; Richa, A.; Liu, M. Healthcare supported by data mule networks in remote communities of the amazon region. In: **International Scholarly Research Notices - Hindawi Publishing Corporation**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–8. Citado nas páginas 48 e 49.
- Couto, H. M.; Morais, L. T. de. Estradas líquidas, comércio sólido: índios e regatões na amazônia (século XIX). **Revista de História**, n. 171, p. 49–82, 2014. Citado na página 27.
- Dachyar, M.; Zagloel, T. Y. M.; Saragih, L. R. Knowledge growth and development: internet of things (IoT) research. **Heliyon**, v. 5, n. 8, p. e02264, jun. 2019. Citado na página 25.
- de Oliveira, E. H. T.; Nozawa, E. H.; Lucena, K. K. T.; Lucena, F. W. Distance education with remote poles: An example from the amazon region. In: **2012 Frontiers in Education Conference Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1–5. Citado na página 25.
- de Souza, L. V.; Costa, J. C. W. A.; Francês, C. R. L. Integrated solutions for broadband access in brazilian amazon rural areas. In: **2012 IEEE Globecom Workshops**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 36–39. Citado na página 25.
- Diário do Amazonas. **‘Piratas de rio’ são presos suspeitos de assaltos em Tefé**. 2022. <<https://d24am.com/amazonas/policia/piratas-de-rio-sao-presos-suspeitos-de-assaltos-em-tefe/>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.
- DNIT. **Hidrovia do Solimões - Amazonas**. 2022. Acessado em Janeiro/2023. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/hidrovias/hidrovias-interiores/hidrovia-do-solimo-es-amazonas>>. Citado na página 27.
- dos Santos, A. d. J.; Braga, M. d. L.; Velloso, P. B.; Jose, G. R.; Costa, L. H. M. K. Capacity analysis of a delay and disruption tolerant network in the amazon basin. In: **2014 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. Citado nas páginas 48 e 49.
- Eichler, S. Performance evaluation of the IEEE 802.11p wave communication standard. In: **2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 2199–2203. ISSN 1090-3038. Citado nas páginas 32, 33 e 34.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. **Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia**. 1998. <<https://climanalise.cptec.inpe.br/reclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>>. Acessado em Junho/2023. Citado na página 59.

G1 Amazonas. **Grupo de piratas de rio é preso em Coari, diz polícia do AM**. 2022. <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2019/05/02/trio-de-piratas-de-rios-e-presos-com-fuzil-e-drogas-no-interior-do-amazonas.ghtml>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.

Glaroudis, D.; Iossifides, A.; Chatzimisios, P. Survey, comparison and research challenges of iot application protocols for smart farming. **Computer Networks**, v. 168, p. 107037, fev. 2020. Citado na página 25.

Google Maps. **Localização da Comunidade Santa Maria**. 2022. Acessado em Dezembro de 2022. Disponível em: <<http://www.google.com/maps>>. Citado nas páginas 54 e 63.

Hemming, J. **Tree of Rivers: The Story of the Amazon**. [S.l.]: Thames and Hudson Limited, 2012. Citado na página 25.

Hwang, L.; Chen, C.; Ku, T.; Shyu, W. A bridge between the smart grid and the internet of things: Theoretical and practical roles of lora. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 113, p. 971–981, 2019. ISSN 0142-0615. Citado na página 26.

Ibarra-Esquer, J. E.; González-Navarro, F. F.; Flores-Rios, B. L.; Burtseva, L.; Astorga-Vargas, M. A. Tracking the evolution of the internet of things concept across different application domains. **Sensors (Switzerland)**, v. 17, n. 6, 2017. Cited By 21. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85020937707&doi=10.3390%2fs17061379&partnerID=40&md5=ab5f929c2f1ef5ddf4c3b52ed5954914>>. Citado nas páginas 36 e 38.

ITU. **Overview of the Internet of Things**. 2015. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>. Acessado em Janeiro/2023. Citado nas páginas 25, 35 e 36.

Kassab, W.; Darabkh, K. A. A–Z survey of internet of things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations. **Journal of Network and Computer Applications**, p. 102663, 2020. Citado na página 25.

Keränen, A.; Kärkkäinen, T.; Pitkänen, M.; Ekman, F.; Karvo, J.; Ott, J. **The ONE - The Opportunistic Network Environment simulator**. <https://akeranen.github.io/the-one/>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 44.

Kurose, J.; Ross, K. Redes de computadores e a internet - uma abordagem top-down. In: PEARSON. **Entendendo o Meio Ambiente**. [S.l.], 2014. v. 6. ISBN 978-85-8143-677-7. Citado na página 34.

Li, Y.; Han, S.; Yang, L.; Wang, F.; Zhang, H. Lora on the move: Performance evaluation of lora in v2x communications. In: **Intelligent Vehicles Symposium (IV)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1107–1111. Citado na página 28.

Liu, M.; Johnson, T.; Agarwal, R.; Efrat, A.; Richa, A.; Coutinho, M. M. Robust data mule networks with remote healthcare applications in the amazon region: A fountain code approach. In: **2015 17th International Conference on E-health Networking, Application Services (HealthCom)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 546–551. Citado na página 25.

LoRa Alliance. **A technical overview of LoRa and LoRaWAN**. 2015. <https://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>. Acessado em Novembro/2022. Citado nas páginas 40 e 65.

- Machado, P. C. Segurança da navegação em hidrovias: fator fundamental para o desenvolvimento da região amazônica. **Monografia (Graduação em Altos Estudos de Política e Estratégia)- Departamento de Estudos da Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro**, 2014. Citado na página 60.
- Margalho, M.; Efrat, A.; Johnson, T. Improving robustness in dtn networks that carries large medical files in amazonia. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 1, p. 349–355, 2016. Citado na página 25.
- Marinha do, B. **Navios de Assistência Hospitalar**. 2022. <<https://www.marinha.mil.br>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.
- Marinha do Brasil. **A Marinha na Amazônia Ocidental**. Cidade da Editora: Nome da editora, 2017. 137 p. (Série do livro, 15). Bibliografia: p. 131–132. Citado na página 27.
- Meneguette, R. I.; De Grade, R. E.; Loureiro, A. F. Intelligent transport system in smart cities. In: SPRINGER. **Vehicular Networks**. [S.l.], 2018. p. 23–55. ISBN 978-3-319-93331-3. Citado nas páginas 31, 32 e 33.
- Ministério das Comunicações. **Programa Norte Conectado**. 2022. <https://www.rnp.br/inovacao/norte-conectado/sobre-o-programa>. Acessado em Janeiro/2023. Citado na página 28.
- Mir, Z. H.; Filali, F. Lte and ieee 802.11 p for vehicular networking: a performance evaluation. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, Springer, v. 2014, n. 1, p. 89, 2014. Citado na página 33.
- Nascimento, P. de O. Succintas observações sobre o estado desta tão extensa e extrema parte do vasto império do brasil: A província do amazonas nas palavras de tenreiro aranha, 1852. In: **Anais do 30º Simpósio Nacional de História - História e o futuro da educação no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2019. Citado na página 27.
- Nações Unidas. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acessado em Outubro de 2022. Citado na página 79.
- Nogueira, A. R. B. Geografia das representações. **Boletim amazonense de**, 1995. Citado na página 60.
- Norte Conectado, P. **Programa Norte Conectado**. 2022. <https://www.gov.br/mcom/pt-br/assuntos/norte-conectado>. Acessado em Janeiro/2023. Citado na página 28.
- Notícias Gov.Br. **Programa Amazônia Integrada Sustentável - PAIS**. 2022. <https://www.gov.br/pt-br/noticias/assistencia-social/2022/01/governo-federal-entrega-internet-de-alta-velocidade-a-populacoes-da-regiao-amazonica>. Acessado em Janeiro/2023. Citado na página 28.
- NS-2. 2021. <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em Dezembro/2022. Citado na página 47.
- NS-3. 2021. <https://www.nsnam.org/>. Acessado em Dezembro/2022. Citado na página 47.
- Oliveira, L. de; Conceição, A. F. da; Neto, L. P. S. Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias lora e lorawan. **Anais Estendidos do VIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais**, SBC, 2018. Citado na página 40.

- Oliveira, L. S.; Oliveros, D. V.; Pimentel, M. G.; Queiroz-Neto, J. P. Work in progress — alternative interfaces for e-learning platforms used in remote areas. In: **2011 Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–5. Citado na página 25.
- Ortiz, F. M.; Almeida, T.; Ferreira, A. E.; Costa, L. Experimental vs. simulation analysis of lora for vehicular communications. **Comput. Commun.**, v. 160, p. 299–310, 2020. Citado nas páginas 47, 48 e 49.
- Ortiz, F. M.; Cruz, P.; Couto, R. de S.; Costa, L. H. M. K. Caracterização de uma rede sem-fio de baixa potência e longo alcance para internet das coisas. In: SBC. **Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. [S.l.], 2018. p. 1159–1172. Citado nas páginas 46 e 49.
- PAUL, A.; CHILAMKURTI, N.; DANIEL, A.; RHO, S. Chapter 6 - theory and application of vehicular networks. In: Paul, A.; Chilamkurti, N.; Daniel, A.; Rho, S. (Ed.). **Intelligent Vehicular Networks and Communications**. [S.l.]: Elsevier, 2017. p. 131–159. Citado na página 26.
- Prado, M. A.; Leão Júnior, F. **Doutores das Águas**. 2022. <<https://www.doutoresdasaguas.org.br/>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.
- Priyanta, I. F.; Golasowski, F.; Schulz, T.; Timmermann, D. Evaluation of lora technology for vehicle and asset tracking in smart harbors. In: **IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. [S.l.: s.n.], 2019. v. 1, p. 4221–4228. Citado na página 28.
- Profissão Repórter. **Hidrovia Solimões-Amazonas transporta 50 milhões de toneladas de carga por ano**. 2022. <<https://globoplay.globo.com/v/7095375/>>. Acessado em Dezembro/2022. Citado na página 27.
- Queiroz, K. O. de. Especialização do lugar na navegação do rio solimões—o caso das lanchas ajato. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62728–62740, 2020. Citado na página 60.
- Raber, A.; Mucha, P. M. de A.; Persh, H. M.; Delepiane de Vit, A. R.; Shubeita, F. de M. Aplicação de redes de sensores sem fio (rssf) na agricultura. In: **Anais do EATI - Encontro Anual de Tecnologia da Informação e Semana Acadêmica de Tecnologia da Informação**. Frederico Westphalen, RS, Brasil: [s.n.], 2013. p. 261–265. ISSN 2236-8604. Disponível em: <<http://www.eati.info/eati/2013/assets/anais/AnaisEATI2013.pdf>>. Citado na página 35.
- Ray, P. A survey on internet of things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 3, p. 291–319, jul. 2018. Citado na página 25.
- Record, R. **De barco, médicos percorrem a Amazônia e levam saúde à população da floresta**. 2018. <<https://recordtv.r7.com/camera-record/videos>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.
- Rede Record. **Série JR: rio Solimões é palco de disputas entre traficantes e piratas por cocaína**. 2017. <<https://www.youtube.com/watch?v=tOAzymbc4VQ>>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.
- Rubinstein, M. G.; Abdesslem, F. B.; De Amorim, M. D.; Cavalcanti, S. R.; Alves, R. D. S.; Costa, L. H. M. K.; Duarte, O. C. M. B.; Campista, M. E. M. Measuring the capacity of in-car to in-car vehicular networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 47, n. 11, p. 128–136, 2009. Citado nas páginas 28 e 45.

Saari, M.; Baharudin, A. M. B.; Sillberg, P.; Hyrynsalmi, S.; Yan, W. Lora - a survey of recent research trends. In: **2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2018 - Proceedings**. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. p. 872–877. Citado na página 26.

Santos, A. J. dos; Costa, L. H. M. K.; Braga, M. de L.; Velloso, P. B.; Yacine, G. Characterization of a delay and disruption tolerant network in the amazon basin. **Vehicular Communications**, Elsevier, v. 5, p. 35–43, 2016. Citado nas páginas 27, 31, 32, 34, 35, 44, 45 e 48.

Santos, B. P.; Silva, L. A. M.; Celes, C. F. S.; Borges Neto, J. B.; Peres, B. S.; Vieira, M. A. M.; Vieira, L. F. M.; Goussevskaia, O. N.; Loureiro, A. A. F. Internet das coisas: da teoria à prática. In: _____. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–50. Citado nas páginas 35, 36 e 38.

Santos, B. P.; Silva, L. A. M.; Clayson, S. F. S.; Celes, C. S. F. S.; Neto, J. B. B.; Peres, B. S.; Vieira, M. A. M.; Vieira, L. F. M.; Goussevskaia, O. N.; Loureiro, A. A. F. Internet das coisas: da teoria a prática. In: **Minicursos do XXXIV SBRC**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–50. Citado nas páginas 25 e 35.

Semtech. **LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview**. [S.l.], 2019. Citado nas páginas 40 e 65.

SEMTECH. **LoRa - DNA of IoT**. 2022. <https://www.semtech.com/lora>. Acessado em Dezembro/2022. Citado nas páginas 26, 28, 39 e 40.

SENAI. **Escola SENAI de Ações Móveis e Comunitárias-Barco-escola Samaúma**. 2022. <http://www.fieam.org.br/senai/escola-senai-de-acoes-moveis-e-comunitarias-barco-escola-samauma/>. Acessado em Novembro/2022. Citado na página 27.

Sensing Labs. **Understand how RSSI and SNR are considered as good radio level**. 2022. <https://sensing-labs.com>. Acessado em Novembro/2022. Citado nas páginas 28, 53 e 55.

Shahzamal, M.; Pervez, M. F. Mobility modelling of marine fishing boats for communication network simulation. In: **2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 122–128. ISSN null. Citado na página 31.

Sharma, S.; Kaushik, B. A survey on internet of vehicles: Applications, security issues & solutions. **Vehicular Communications**, v. 20, p. 100182, 2019. Citado na página 26.

Silva, M.; Ponciano, R.; Coelho, R. Modelagem de aplicação ead para viabilização de cursos extracurriculares em comunidades remotas utilizando uma estrutura de redes orientadas a plano de deslocamento contínuo. 01 2012. Citado na página 43.

Silva, M. R. da; Souza, J. de; Vinney, T.; Almeida, O.; Souza, A.; Spanhol, F.; Camargo, E. Avaliação de dispositivos de rastreamento em uma rede lorawan no contexto de cidades inteligentes. In: . [S.l.: s.n.], 2020. Citado na página 40.

Silva, Z. L. **“Verão e Inverno Amazônico”: Perspectiva Meteorológica e a Percepção dos Moradores do Município de Manaus/AM**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM, 2022. Citado na página 59.

- Simas, D. C. de S.; Lima, J. S. de. Desafios da inclusão digital no interior do amazonas e a internet como ferramenta de redução das desigualdades sociais e regionais. In: **Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 865–879. ISSN 2238-9121. Citado na página 27.
- Sinha, R. S.; Wei, Y.; Hwang, S. A survey on lpwa technology: Lora and nb-iot. **ICT Express**, v. 3, n. 1, p. 14–21, 2017. ISSN 2405-9595. Citado na página 26.
- Soares, V. N. G. J.; Rodrigues, J. J. P. C. 4 - vehicular delay-tolerant networks. In: RODRIGUES, J. J. (Ed.). **Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs)**. Second edition. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2021. p. 59–78. Citado na página 26.
- Sundmaeker, H.; Guillemin, P.; Friess, P.; Woelfflé, S. Vision and challenges for realizing the internet of things. **Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commision**, 04 2010. Citado na página 35.
- Tanenbaum, A. S.; Steen, M. V. **Distributed Systems: Principles and Paradigms**. 3. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2017. Citado na página 25.
- Tornell, S. M.; Calafate, C. T.; Cano, J.; Manzoni, P. Dtn protocols for vehicular networks: An application oriented overview. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 17, n. 2, p. 868–887, 2015. Citado na página 26.
- VERONA, A. B. **Simulação e Análise de Rede de Sensores sem Fio Aplicada na Avicultura**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 3 2010. Citado na página 35.
- Vieira, A. S. S.; Filho, J. G.; Jr, J.; Patel, A. Vdtn-tod: Routing protocol vanet/dtn based on trend of delivery. **Advanced International Conference on Telecommunications, AICT**, v. 2013, p. 135–141, 01 2013. Citado na página 26.
- Walker, W. S.; Stickler, C. M.; Kellndorfer, J. M.; Kirsch, K. M.; Nepstad, D. C. Large-area classification and mapping of forest and land cover in the brazilian amazon: A comparative analysis of alos/palsar and landsat data sources. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 3, n. 4, p. 594–604, 2010. Citado na página 25.
- Wang, Y.; Zheng, J.; Mitton, N. Delivery delay analysis for roadside unit deployment in vehicular ad hoc networks with intermittent connectivity. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 65, n. 10, p. 8591–8602, 2016. Citado na página 26.
- Wu, M.; Lu, T.; Ling, F.; Sun, J.; Du, H. Research on the architecture of internet of things. In: . [S.l.: s.n.], 2010. v. 5, p. V5–484. Citado na página 36.
- Yang, Z.; Yue, Y.; Yang, Y.; Peng, Y.; Wang, X.; Liu, W. Study and application on the architecture and key technologies for iot. In: **2011 International Conference on Multimedia Technology**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 747–751. ISSN null. Citado na página 36.

