

## Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho de um Sistema Embarcado para Telemetria Automotiva baseado em LoRa

Lucas D. de Oliveira \* Thiago B. Souza \*\*  
Fernanda Maria L. Fernandes \* Thyaggo L. P. de Oliveira \*  
Cleonilson P. de Souza \*

\* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, PB, e-mail: (lucasd.oliveira, fernanda.fernandes, thyaggo.lael, protasio)@cear.ufpb.br.

\*\* Departamento de Engenharia da Computação, Universidade Federal da Paraíba, PB, e-mail: thiago.bonfim@academico.ufpb.br.

---

**Abstract:** The communication technology based on LoRa (*Long Range*) modulation is a very current topic in IoT (Internet of Things) given its high applicability due to its characteristics of low power consumption and long-range transmissions. Most applications using LoRa involve arranging radio transceivers at fixed points, such as crop monitoring, home sensoring, industrial production monitoring, and so on. On the other hand, there is a lot of demand for mobile applications, such as vehicular telemetry. In this article, a prototype of an automotive telemetry system using LoRa technologies is presented. In this way, the process of construction and integration of hardware and software is described, as well as its experimental results.

**Resumo:** A tecnologia de comunicação baseado em modulação LoRa (*Longe Range*) é um tema bastante atual em IoT (Internet das Coisas) dada sua alta aplicabilidade devido suas características de baixo consumo de energia e transmissões de longo alcance. A maioria das aplicações utilizando LoRa envolve da disposição de rádios transceptores em pontos fixos, tais como o monitoramento de plantações, sensoriamento domiciliar, acompanhamento da produção industrial, entre outros. Por outro lado, existe bastante demanda por aplicações móveis, tal como a telemetria veicular. Neste artigo, um protótipo de sistema de telemetria automotiva utilizando as tecnologias LoRa é apresentado. Dessa forma, o processo de construção e integração de hardware e software é descrito, assim como seus resultados experimentais.

**Keywords:** Internet of Things; LoRa; Raspberry Pi; Mobile Application; Automotive Telemetry.

**Palavras-chaves:** Internet das Coisas; LoRa; Raspberry Pi; Aplicativo Móvel; Telemetria Automotiva.

---

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de modernização denominado de quarta revolução industrial ou indústria 4.0 aliado ao crescimento do volume de dados disponíveis no mundo propiciou o surgimento de novas tecnologias, tornando a informação e o processo de aquisição de dados essenciais para as empresas. Nesse sentido, a telemetria está cada vez mais presente dentro da indústria, sendo esse termo utilizado para empregar tecnologias que atuam na medição remota e transmissão de dados entre sistemas de comunicação sem fio, Santiago Neto (2021). Na área automotiva, esse tipo de medição permite diagnosticar irregularidades em tempo real. Sendo assim, a telemetria veicular está associada com a captação e armazenamento de informações como

velocidade, nível de combustível, dados gerais do motor e outros sensores que são processados por uma central de controle automotivo e ficam disponíveis remotamente para análise e tomada de decisões mais precisas e assertivas durante sua operação, Queirós et al. (2011).

No cenário atual, há uma crescente utilização da telemetria automotiva não apenas para veículos de competição, mas também para fins comerciais e setores produtivos. Nesse sentido, uma rede de sensores possibilitaria a medição de diversos parâmetros e monitoramento do maquinário em operação, sendo possível customizar a análise de impactos com base em um conjunto de variáveis a depender do automóvel, Sichonany et al. (2012). Logo, a partir de um sistema de telemetria veicular, a gestão de frotas tem como base dados concretos para a tomada de decisões em tempo real, contribuindo para melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais bem como reduzir o número de acidentes.

---

\* O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do programa PRONEX da FAPESQ-PB/CNPq (Termo N° 009/2019), do Edital Universal FAPESQ-PB 09/21 (Termo N°3055/2021) e da Chamada n° 03/2020 Produtividade em Pesquisa PROPEAQ/PRPG/UFPB código SIGAA PVK13136-2020”.

Tendo isso em vista, com o avanço das tecnologias de comunicação sem fio, busca-se cada vez mais implementar alternativas que integram a IoT ao cotidiano, ou seja, aproximam cada vez mais o mundo digital ao físico revolucionando a comunicação dos objetos físicos entre si e daqueles que os utilizam, com o intuito de garantir uma melhora no que tange a segurança e proteção, conforto, comunicação, gerenciamento técnico e autonomia. Diante desse contexto, as redes de sensores sem fio (RSSF), empregadas no monitoramento de fenômenos, são compostas por dispositivos autônomos, sendo a rede representada por nós sensores, o gateway que conecta a rede e a estação base atua como receptor das informações. Ainda é válido ressaltar que existe diversas configurações para a distribuição dessas topologias de redes, as quais se referem ao modo como os dispositivos estão interligados entre si. Dentre elas, a LPWAN (Low Power Wide Area Network) se destaca por permitir transmissões de longas distâncias em conjunto ao baixo consumo de energia, Medeiros et al. (2021).

Ao tratar de dispositivos alimentados por baterias, a tecnologia LoRa (Long Range) é bastante utilizada em sistemas com limitações de energia por não comprometer o alcance das transmissões, Medeiros et al. (2021). Todavia, essa característica de funcionamento está condicionada aos diferentes tipos de ambientes durante sua operação, variando de acordo com áreas urbanas e rurais, uma vez que baseia-se em técnicas de modulação de espectro de propagação. Nesse sentido, o protocolo de comunicação LoRa está presente em duas camadas distintas: uma camada física cuja modulação de rádio é fundamentada pela metodologia *Chirp Spread Spectrum* (CSS) e a camada MAC (LoRaWAN) que possibilita o acesso ao canal de comunicação. Dessa forma, o LoRaWAN garante a comunicação de vários dispositivos finais (end-devices) com o gateway por meio da modulação LoRa.

## 2. TELEMETRIA VEICULAR

No contexto atual, sistemas de telemetria veicular são largamente utilizados com o intuito de monitorar posicionamento em tempo real, diagnóstico remoto do desempenho do veículo bem como realizar análises sobre a condução do automóvel. Da mesma forma, existe diversas tecnologias que possibilitam tal feito. Sob essa perspectiva, a escolha dos componentes é fundamental para alcançar as metas estipuladas para cada projeto.

Em Silva et al. (2019) foi proposto uma aplicação de telemetria veicular utilizando um módulo GSM para recebimento e transferência de dados, no qual a plataforma Tiva é responsável pela leitura de dados das ECUs localizadas dentro do veículo. Além do monitoramento das informações sobre o desempenho dos componentes eletrônicos, um dos principais objetivos desse trabalho é garantir a segurança do automóvel. Sendo então, adicionado um mecanismo, composto por um módulo GPS e um Raspberry Pi, que o torna remotamente rastreável e possibilita a captura de imagens do condutor em tempo real.

Grüdtner et al. (2020) desenvolveu uma aplicação IoT pelo uso dos protocolos CoAP (Constrained Application Protocol) e DTLS (Datagram Transport Layer Security) e do microcontrolador ESP32, cuja escolha visa a redução da sobrecarga e confidencialidade da transmissão. Logo, a

premissa do seu desenvolvimento se deu com base em um sistema de telemetria rápido, eficiente e capaz de evitar o vazamento de informações por ataques de terceiros. Nesse sentido, a comunicação deve ser precedida por autenticações para que ocorra o compartilhamento e recebimento de dados entre o servidor e o cliente.

Outro trabalho relacionado é visto em Polese (2017), sendo apresentado um sistema de comunicação seguindo a padronização da rede CAN J1939 e J1708 estipulada SAE (Society of Automotive Engineers). Dessa forma, os dados captados por esses barramentos são transmitidos a um servidor TCP (Transmission Control Protocol) o qual opera juntamente com uma interface FMS (Fleet Management System) para garantir o monitoramento e decodificação da leitura dessas informações de modo generalizado e confiável, uma vez que é realizado um reconhecimento prévio do host durando o envio de dados.

## 3. LORA E LORA MESH

Uma rede em malha (*Mesh*) caracteriza-se como uma rede de comunicação composta por vários nós interconectados. Analogamente, a topologia de rede LoRa Mesh compreende uma rede com diversos dispositivos que utilizam a tecnologia LoRa em contato, assim, uma característica da topologia em malha é a possibilidade de enviar dados para um mesmo nó por múltiplas rotas Lee and Ke (2018).

Uma abordagem em LoRa Mesh, vista na Fig. 1 define taxas de transmissão de dados, suporte à comunicação bidirecional e oferta de serviços de mobilidade e localização dos nós da rede. Paralelamente, a camada física do LoRa (LoRa PHY) é uma tecnologia baseada em uma técnica de modulação de espalhamento espectral proprietária, ou seja, uma variante do espalhamento espectral por CSS. Nesta técnica, cada símbolo é enviado em um sinal de banda estreita propagada sobre uma banda de frequência mais ampla, com a mesma densidade de potência Villarim et al. (2019), caracterizando por variação contínua de frequência nesta última banda de  $f_{min}$  a  $f_{max}$ . Esse aspecto permite o aumento da sensibilidade do receptor, aumento do raio de cobertura, alta robustez e resistência tanto ao efeito de múltiplas rotas quanto ao deslocamento de frequência (Efeito Doppler), além de uso de baixa potência para a transmissão.

A tecnologia LoRa se baseia em modulação CSS e suas características de comunicação, tais como: consumo de energia, a faixa de transmissão e a resistência à interferência do ruído, podem ser determinadas a partir de quatro parâmetros de configuração da camada física do LoRa, descritas a seguir:

- Potência de Transmissão (PT): Grandeza que define a intensidade da transmissão. Para tecnologias LoRa, devido a limitações de hardware, geralmente está compreendida entre 2 dBm a 20 dBm.
- Fator de Espalhamento (FE): Com dito, a tecnologia LoRa é uma modulação do espectro de Chirp, a qual usa um sinal sinusoidal e saltos de frequência com uma variação linear ao longo do tempo para codificar informações. Mais precisamente, Chirps são uma rampa de frequência mínima para máxima (up-chirp) ou de frequência máxima para mínima (down-chirp)

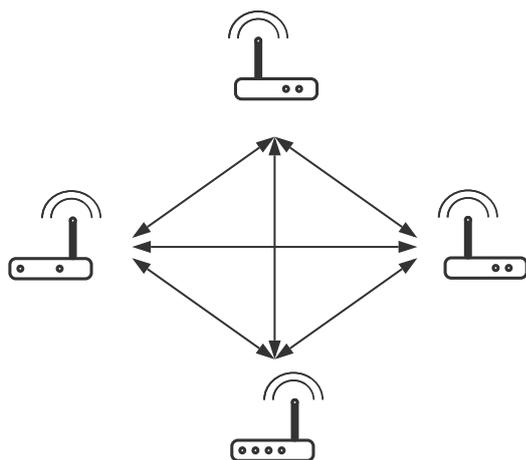


Figura 1. Topologia LoRa Mesh.

chirp) em que cada símbolo é um chirp. Para gerar símbolos, ou chirps, o modem modula a fase de um oscilador. Assim, o número de vezes por segundo que o modem ajusta a fase é chamado de taxa de chirp (Chirps per Second - CPS). Dessa forma, o FE controla o CPS, logo, é responsável por controlar a rapidez de transmissão: quanto maior FE, mais lenta é a velocidade de transmissão e vice-versa. Por fim, seus valores estão geralmente entre os números inteiros de 7 a 12.

- Largura de Banda (LB): Esse parâmetro consiste no intervalo entre a frequência máxima e mínima que um chirp compreende. Nesse sentido, maiores valores de LB correspondem a maiores velocidades de transmissão, entretanto implicam em uma menor sensibilidade do receptor e vice-versa. Assim, os valores mais usuais estão na faixa entre 50 kHz e 500 kHz.
- Taxa de Codificação (TC): De forma geral, adotando os valores possíveis de 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8, a TC oferece proteção contra ruídos. Resumidamente, valores maiores de TC representam menores riscos à interferências, porém aumentam consideravelmente o tempo de trânsito do sinal.

#### 4. PROPOSTA DE TELEMETRIA VEICULAR BASEADA EM LORA.

O sistema de telemetria proposto é visto na Fig. 2 e, como pode ser observado, é baseado em uma integração de diversas tecnologias de hardware e software.

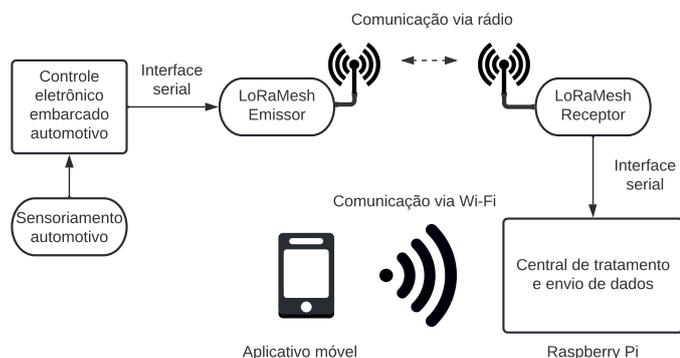


Figura 2. Representação esquemática do sistema.

No terminal móvel, um sistema de sensoriamento integrado a um controle eletrônico embarcado foi elaborado com o intuito de acompanhar o desempenho do veículo em suas principais frentes. Em seguida, os dados coletados são comunicados via modulação LoRa para o terminal receptor. Nessa etapa, um processo de tratamento e formatação de dados é realizada para que possa haver a conexão e envio para o aplicativo desenvolvido em aparelho celular, o qual possui a função de servir tanto como uma vitrine para o desempenho do veículo como também uma ferramenta para realização de testes.

#### 4.1 Desenvolvimento do Hardware

Para a aquisição e processamento dos dados do veículo, sensores são dispostos por todo o carro. De forma geral, são angariados sinais sobre a velocidade do veículo, rotações por minuto (RPM) do motor, temperatura do óleo do motor, temperatura da caixa de transmissão e nível crítico de combustível. Sendo assim, todos os dispositivos foram selecionados tendo em vista o ambiente off-road.

Para a velocidade do veículo, são utilizados sensores indutivos automotivos, os quais são estimulados pela presença de objetos metálicos próximos, assim, a partir de uma roda fônica, é possível determina a velocidade linear do veículo por meio da frequência de rotação angular. Paralelamente, a estimação do RPM do motor ocorre a partir da medição da tensão do cabo de ignição, componente do motor que transmite a corrente até as velas de ignição. Sensores capacitivos XKC-Y25-V atuam como indicadores de nível crítico de combustível, sua escolha foi baseada em bom desempenho em superfícies não-metálicas captando a presença de líquidos, ainda que sob vibração. Paralelamente, quanto aos sensores de temperatura, fez-se uso dos módulos LM35 devido a sua precisão e seu sinal linear com relação a temperatura.

O processamento de dados no veículo se dá por meio de um microcontrolador ATmega328P, o qual é responsável por converter os sinais dos sensores em uma mensagem para ser comunicada ao radiotransmissor. Sua escolha teve como critérios sua compatibilidade com outros módulos, permitindo uma maior expansividade. Nesse sentido, todos os componentes embarcados são demonstrados na Fig. 3.

Para o envio e recebimento de dados via rádio, foram utilizados dois módulos LoRaMESH RD42C da Radioenge, presentes na Fig. 5, devido a sua aprovação pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Este é um módulo transceptor de rádio frequência (RF) com tecnologia LoRa visando atender uma enorme variedade de projetos voltados a IoT e M2M (Machine to Machine). O principal aspecto desse componente é sua escalabilidade, visto que é a junção das características usuais, baixo consumo de energia e longo alcance, com a rede Mesh, além de atuar como receptor e roteador de sinal simultaneamente, logo, não necessita de Gateway LoRaWan. Para o sistema proposto, os parâmetros de configuração LoRa escolhidos foram os seguintes:

Para atingir distâncias maiores de comunicação sem fio, deve-se atentar para o dimensionamento correto das antenas utilizadas. Sendo assim, para ambos os terminais,



Figura 3. Dispositivos do terminal emissor: ATmega328P, LM35 encapsulado, XKC-Y25-V e sensor indutivo automotivo.

Tabela 1. Configuração LoRa Escolhida.

Parâmetro	Valor
Potência de Transmissão	20 dBm
Fator de Espalhamento	9
Largura de Banda	250 kHz
Taxa de Codificação	4/5

foram utilizadas antenas do mesmo modelo: flexíveis, omnidirecionais e com ganho de 7 dBi, Fig. 4.

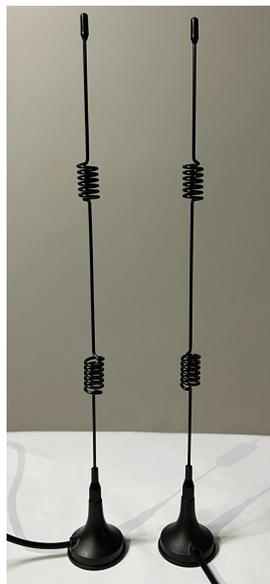


Figura 4. Antenas utilizadas.

A partir de uma interface serial, ocorre a comunicação entre o módulo LoRa receptor e a Raspberry Pi 3. O módulo Raspberry Pi 3 é um dos dispositivos de uma série desenvolvida no Reino Unido pela Fundação Raspberry Pi, uma organização sem fins lucrativos com o objetivo na

promoção do ensino da ciência da computação para jovens em escolas e universidades da Europa. Sendo considerado um mini-computador, esses dispositivos aceitam como unidades de armazenamento cartões microSD em geral, suportam o sistema operacionais das distribuições Linux e, a partir da Raspberry Pi W, possuem conexão Wi-Fi com suporte a 5GHz e Bluetooth 4.2. Sendo assim, são ideais para aplicações IoT, as quais podem envolver projetos de automação domiciliar, hospedagem de servidores web, banco de dados atrelados à nuvem, entre outros, Sun et al. (2020). No sistema proposto, um servidor dedicado foi hospedado na Raspberry Pi.



Figura 5. Dispositivos do terminal receptor: Raspberry Pi 3 e Módulos LoRaMesh com antenas específicas para testes em bancada.

Para estabelecer a comunicação serial entre o ATmega328P e o LoRaMesh emissor, assim como a comunicação entre a RPi e o LoRaMesh receptor, foram desenvolvidas placas de circuito impressos específicos para cada componente, Fig. 6. A fim de abrir margens para a integração de outras funcionalidades ao sistema e permitir o uso das placas para outros fins, as mesmas portas foram replicadas na superfície das placas confeccionadas. Além do mais, a construção dessas ferramentas seguiu duas funcionalidades principais:

- **Regulador de tensão elétrica:** de 3,3 V para 5,0 V, a depender do interesse do utilizador.
- **Interruptor da comunicação serial:** para a compilação de novas programações ao ATmega328P, torna-se necessário interromper a comunicação serial com o módulo LoraMesh presente no veículo. De forma paralela, na RPi essa funcionalidade representa uma facilidade para as manutenções realizadas no servidor hospedado, visto que é possível interromper e retomar o fluxo de dados recebidos de forma instantânea.

Os parâmetros de comunicação UART foram definidos de acordo com a Tabela 2

Via Wi-Fi, é estabelecida uma comunicação entre o servidor e a aplicação móvel desenvolvida para plataformas baseadas no sistema operacional Android.

#### 4.2 Desenvolvimento do Software e Aplicativo

A construção tanto para o servidor dedicado quanto para a aplicação móvel ocorreu sobre a linguagem *Javascript* (JS), geralmente aplicada para desenvolvimento web e

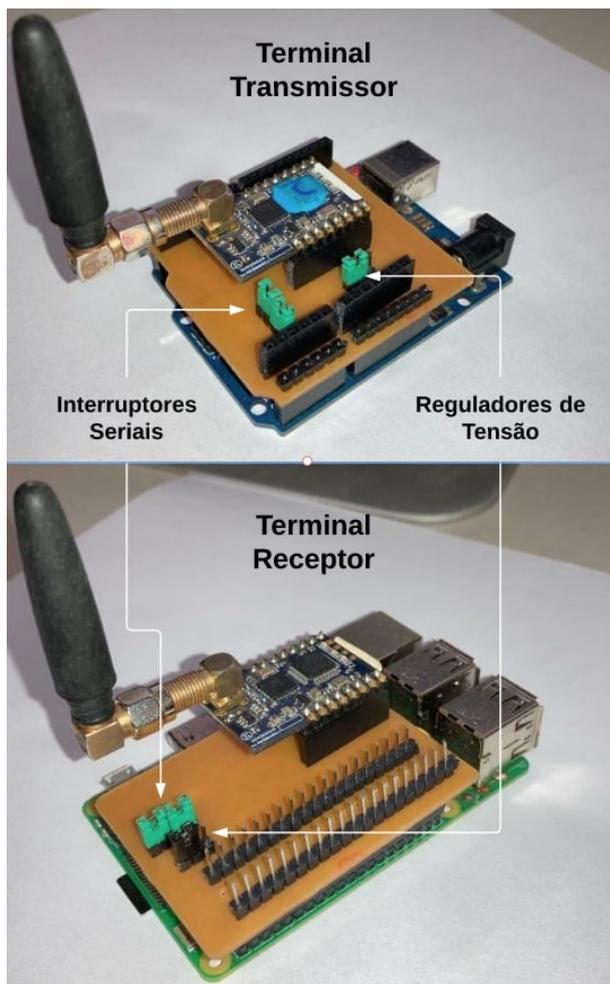


Figura 6. PCBs confeccionadas e suas funcionalidades.

Tabela 2. Configuração da interface serial para ambos os terminais.

Parâmetro	Valor
Taxa de Transmissão	9600
Número de bits de dados por caractere	8
Número de bits de parada por caractere	1
Paridade	-

desenvolvimento de softwares. Sendo assim, a plataforma de desenvolvimento foi o *Node.js*, a qual se resume a um ambiente de execução JS que não depende de navegadores externos. Nesse sentido, o *Node.js* permite compilar, otimizar e interpretar códigos em JS tanto para elaboração de servidores quanto para criação de interfaces, tudo isso com alta escalabilidade, flexibilidade e baixo custo computacional.

Além de servidor, o programa construído na Raspberry consiste também como uma interface de programação de aplicações (API), classificado como um conjunto de ferramentas e protocolos que possibilitam a interação entre aplicações web. Para seu desenvolvimento, foi utilizado a estrutura *Express.js*, um ferramenta de código aberto que fornece os meios necessários para a construção de

um servidor web. A API proposta possui a finalidade de integrar os dados submetidos pelos módulos LoRa ao aplicativo móvel por meio de um sistema de respostas e requisições.

A comunicação entre os módulos LoRa ocorre a partir do envio de strings, nesse sentido, uma das funções do servidor é o tratamento de dados: transformação da string recebida em documentos *JavaScript Object Notation (JSON)*, uma formatação utilizada para estruturar dados em formato de texto e transmiti-los de um sistema para outro, muito popular em aplicações cliente-servidor.

Por esse ângulo, a API é estruturada sob o protocolo HTTP, o sistema base de troca de informações na Internet, assim, seu funcionamento é centrado na lógica de requisições-respostas: o cliente, nesse caso o aplicativo móvel, é responsável pelo envio de requisições de dados, o servidor, por sua vez, possui a função de fornecer as respectivas respostas, a API, então, age como o intermediador desse processo, que também pode ser chamado de rota. Logo, para o funcionamento do sistema, as seguintes rotas foram construídas:

- **Tempo Real:** rota para envio de dados do servidor para a aplicação móvel de forma contínua.
- **Armazenamento:** sinalização para o servidor que um teste foi iniciado, dessa forma, os novos dados recebidos pelo LoRa receptor devem ser armazenados dinamicamente no servidor, Andria et al. (2016).
- **Marcação:** sinalização do aplicativo para o servidor a fim de adicionar a volta atual, junto com sua duração, nas informações do teste.
- **Arquivamento:** ao fim do teste, uma requisição é feita do aplicativo para o servidor com o objetivo de arquivar, no banco de dados, as informações acumuladas de forma organizada e ordenada por seu nome.
- **Download:** a partir do fornecimento de um nome de teste já realizado, são dadas instruções para o servidor buscar no banco de dados, formatar e gerar um arquivo de texto com todos os dados do teste para download na aplicação móvel. Paralelamente a isso, uma cópia de segurança do arquivo formatado é criada no diretório do servidor.

Como demonstrado na Fig. 7, um banco de dados *MongoDB* local foi integrado ao funcionamento do servidor com a função de armazenar os dados de testes realizados. O *MongoDB* é um banco de dados de código aberto não relacional, ou seja, direcionado a documentos (NoSQL). Sua escolha foi baseada em sua adaptabilidade a favor de documentos JSON com esquemas dinâmicos, tornando a integração de dados em certos tipos de aplicativos mais fácil e rápido.

Assim, os dados dos testes são arquivados em função de seu nome e sua data de criação, para que na rota de Download seja realizada uma varredura por meio desses parâmetros, gerando assim um arquivo de texto com informações ordenadas e compatíveis para a leitura de outros softwares. Além disso, os dados de testes presentes no banco de dados são naturalmente salvos no cartão de memória da Raspberry Pi, servindo, então, como uma cópia de segurança.

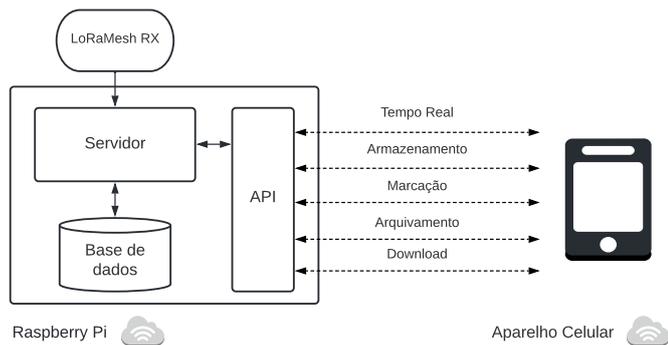


Figura 7. Representação esquemática do funcionamento do terminal receptor.

O desenvolvimento da aplicação móvel foi baseado na tecnologia *React-Native*, uma estrutura de programação baseada em JS, de código aberto, elaborada especialmente para a construção de aplicações tanto para Android quanto para iOS. Além disso, a escalabilidade dessa plataforma permite realizar interfaces que utilizam dos mesmos componentes nativos do sistema operacional do aparelho.

Nesse aspecto, a comunicação do aparelho celular com a API, via Wifi, é feita através do endereço do Protocolo de Internet (IP) da RPi, o qual é único e dinâmico para cada dispositivo em uma rede. Logo, para a resolução desse impasse, um endereço de IP estático foi atribuído a RPi.

O funcionamento do aplicativo é estruturado em suas páginas, de forma que cada uma possui funções específicas e ativa rotas diferentes na API, conforme visto na Fig. 8.

- **Menu:** página geral na qual ocorre a transição para as outras interfaces.
- **Conexão:** página para verificar o estado da conexão Wi-Fi do aparelho celular.
- **Tempo Real:** interface principal de visualização dos dados enviados pelo servidor. A ativação da rota de tempo real é síncrona ao seu estabelecimento. Além disso, possui a função de filtrar as informações a serem apresentadas.
- **Gráficos:** página destinada a plotagem contínua dos dados obtidos do servidor. Nela, é possível apresentar gráficos de até duas grandezas simultaneamente.
- **Dados:** interface que apresenta os nomes dos testes finalizados em um sistema de lista, junto com data e horário de finalização. A partir da seleção de um item e o pressionamento do botão de "Download", a requisição de Download é ativada e um arquivo de texto formatado com todos os dados do teste escolhido são retornados do servidor.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com o intuito de mensurar o desempenho do sistema, duas análises foram conduzidas: a primeira de forma fixa e a segunda de forma móvel. Para isso, o indicador utilizado foi a taxa média de envio de pacotes, isto é, a razão entre a quantidade de pacotes recebidos no terminal receptor e a quantidade enviada no terminal transmissor em uma janela de tempo pré-determinada. Por fim, vale destacar que todos os testes foram realizados dentro do Campus I

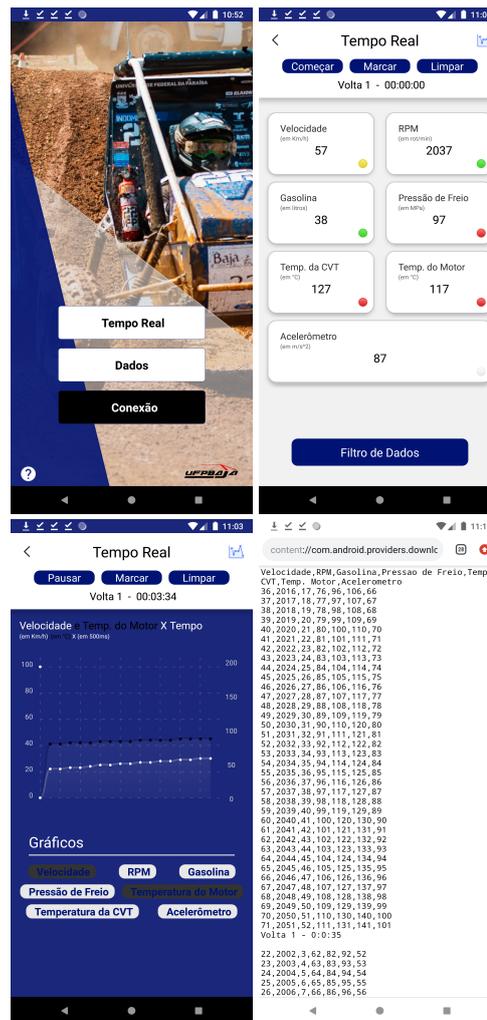


Figura 8. Aplicação *mobile* desenvolvida.

da UFPB, Fig. 9, e utilizando o veículo off-road do projeto de extensão UFPBaja, Fig. 10.

### 5.1 Análise Estática

O primeiro estudo objetivou angariar dados sobre o comportamento do sistema em distâncias pré-definidas. Para isso, o envio de pacote foi fixado a cada 500 ms, esse valor foi escolhido por ser um parâmetro adequado para o projeto, além de que foi observado em bancada possíveis falhas e inconsistências na comunicação entre os módulos LoRaMesh em um intervalo de tempo inferior a esse. No mais, devido as condições do trajeto utilizado, o alcance máximo suportado foi de 620m, como demonstra a Tabela 3. Assim, esse resultado demonstra um ótimo potencial, pois tendo em vista a largura de banda escolhida, pode-se inferir um ganho ideal de alcance com outras larguras de banda na faixa de 400 kHz a 550 kHz. Nesse sentido, isso significa também o êxito do sistema, visto que mesmo em um ambiente limitado, cercado de construções, áreas florestais e influência de campos magnéticos diversos, uma comunicação de mais de meio quilômetro foi realizada. No mais, possíveis aplicações em grandes áreas descampadas ou com vegetação de baixa ou meia altura devem apresentar uma performance superior.

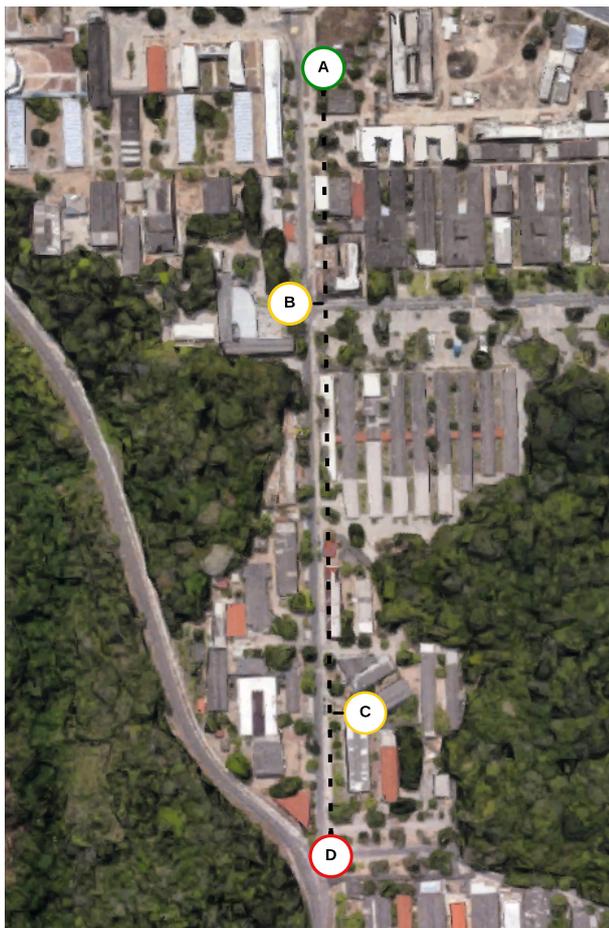


Figura 9. Área de testes: alcance máximo estático constatado.



Figura 10. Veículo utilizado e acoplação do terminal transmissor.

Tabela 3. Desempenho do sistema para posições fixas.

Pontos	Distância entre terminais	Taxa Média de Envio de Pacotes
A-A	<5 m	>96%
A-B	180 m	95,21%
A-C	500 m	92,21%
A-D	610 m	87,47%

## 5.2 Análise Dinâmica

Paralelamente, para a segunda análise, a fim de mensurar o desempenho do sistema frente ao deslocamento do veículo, um estudo de casos foi elaborado tendo em vista situações específicas de velocidade relativa entre os terminais, novamente, com o envio de pacote a cada 500 ms. Tais análises foram conduzidas dentro do raio de 500 m, visto que até esse intervalo a comunicação foi realizada com uma taxa média de envio de pacotes adequada (maior que 90%). Ao final, na Fig. 11, todos os casos específicos foram combinados.

Taxa Média de Envio de Dados para diferentes Velocidades Relativas

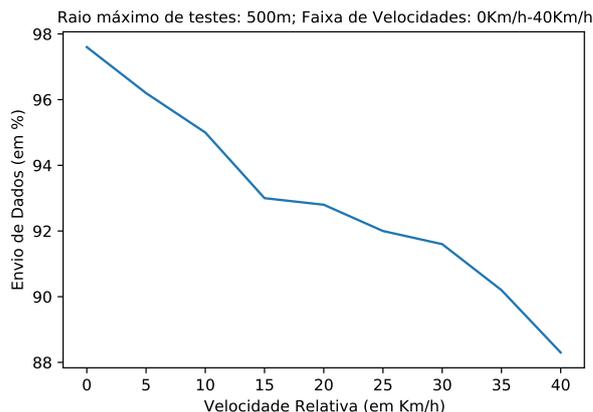


Figura 11. Comportamento do sistema frente a diferentes velocidades relativas.

Como esperado, velocidades relativas menores entre os terminais implicam em um melhor funcionamento do sistema e vice-versa. Tais resultados, além de serem fundamentos na ideia de que quanto menor o tempo de trânsito do sinal, melhor a comunicação entre os polos, também é baseada nas altas vibrações inerente ao funcionamento do veículo e o terreno utilizado. Nesse sentido, torna-se claro que possíveis aplicações desse sistema em ambientes mais estáveis e com menores velocidades relativas entre os terminais apresentariam resultados ainda melhores do que os valores aqui obtidos.

## 6. CONCLUSÃO

Neste artigo, um protótipo de sistema de telemetria veicular utilizando modulação LoRa foi apresentado, desde as etapas de sensoriamento, envio, recebimento, tratamento e visualização de dados. Para isso, foi utilizado a topologia LoRa Mesh e a aplicação do sistema em um veículo do tipo Baja SAE. Logo, no terminal emissor, os dispositivos de sensoriamento foram exemplificados e sua escolha justificada. Para o terminal receptor, tanto uma central de tratamento de dados hospedada em Raspberry Pi quanto um aplicativo celular para a adequada apresentação dos dados foram destrinchados.

Como demonstrado, o sistema reagiu bem as intempéries do ambiente: as altas vibrações e a qualidade das vias fora de estrada, com uma taxa média de envio de pacotes de 94,92% para a faixa de 0 km/h a 20 km/h, e de 90,98% para a faixa de 20 km/h a 40km/h, assim como um alcance máximo atingido de 610 m em um ambiente limitado.

Nesse sentido, observa-se que foram efetivos os resultados da pesquisa em seus propósitos de integrar tecnologias atuais (LoRa, Raspberry Pi e aplicativos celulares) e fornecer dados de um ponto móvel de forma remota. Sendo assim, tal aplicação abre margens para projetos futuros que possam envolver setores como monitoramento de ferramentas móveis em colheitas, na construção civil ou até mesmo no ambiente industrial. Por outro lado, vale ressaltar também a possibilidade de aplicações de outras configurações para a comunicação LoRa nesse mesmo sistema em trabalhos futuros, tendo como objetivo uma melhora no raio de funcionamento suportado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto de extensão UFPBaja, pertencente ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio fornecido para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Andria, G., Attivissimo, F., Di Nisio, A., Lanzolla, A., and Pellegrino, A. (2016). Development of an automotive data acquisition platform for analysis of driving behavior. *Measurement*, 93, 278–287.
- Grüdtner, L.D. et al. (2020). Desenvolvimento de uma aplicação iot utilizando coap e dtls para telemetria veicular.
- Lee, H.C. and Ke, K.H. (2018). Monitoring of large-area iot sensors using a lora wireless mesh network system: Design and evaluation. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(9), 2177–2187.
- Medeiros, D.d.F. et al. (2021). Implementação e análise de protocolos de roteamento para redes mesh sem fio lora.
- Polese, B. (2017). Dispositivo de telemetria veicular multiprotocolo com transmissão via internet.
- Queirós, J.M.R. et al. (2011). Sistema de sensorização e telemetria de um vec (veículo elétrico de competição).
- Santiago Neto, A. (2021). Implementação de telemetria no veículo da equipe cerrado baja sae.
- Sichonany, O.R.d.A.O., Schlosser, J.F., Medina, R.D., Roggia, I.B., Lôbo, J.S., and Santos, F.B.d. (2012). Telemetria na transmissão de dados de desempenho de máquinas agrícolas utilizando tecnologias gsm/gprs e zigbee. *Ciência Rural*, 42, 1430–1433.
- Silva, F.A., Silva, G.S., Libel, G.C., Latini, I.P., and Hércules, M.C. (2019). Steve-sistema de telemetria veicular.
- Sun, C., Zheng, F., Zhou, G., and Guo, K. (2020). Design and implementation of cloud-based single-channel lora iiot gateway using raspberry pi. In *2020 39th Chinese Control Conference (CCC)*, 5259–5263. IEEE.
- Villarim, M.R., de Luna, J.V.H., de Farias Medeiros, D., Pereira, R.I.S., de Souza, C.P., Baiocchi, O., and da Cunha Martins, F.C. (2019). An evaluation of lora communication range in urban and forest areas: A case study in brazil and portugal. In *2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 0827–0832. IEEE.

## Apêndice A. BAJA SAE E O PROJETO UFPBAJA

A equipe UFPBaja foi fundada como um projeto de extensão da Universidade Federal da Paraíba em outubro de 2005 com o intuito de participar do projeto BAJA SAE Brasil, este é um desafio lançado aos estudantes de Engenharia que oferece a chance de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Sendo assim, são criados da estaca zero protótipos para competição utilizando conhecimentos específicos da engenharia automotivo e métodos de gestão ágil.



Figura A.1. Logotipo: UFPBaja

## Apêndice B. PROGRAMAÇÃO: APLICATIVO E API

O código completo, juntamente de arquivos de imagem, utilizado para a elaboração do aplicativo apresentado consta em:

<https://github.com/lucasddoliveira/Projeto-de-Telemetria-Veicular-Aplicativo>

O servidor elaborado para o tratamento e envio de dados na Raspberry PI pode ser encontrado em:

<https://github.com/lucasddoliveira/Projeto-de-Telemetria-Veicular-API>