

Sistema de Monitoramento e Rastreamento Baseado na Tecnologia LoRa LPWAN para Pequenas Embarcações

Danilo Frazão^[0000-0002-2592-9778], Diego Gomes^[0009-0002-0840-1514] and Edgard Silva^[0000-0003-2722-2191]

¹ Escola Superior de Tecnologia,
Universidade do Estado do Amazonas,
Av. Darcy Vargas, 1200, Parque 10 de Novembro, Manaus, Brazil
dsf.eng17@uea.edu.br, drag.ads@uea.edu.br, elsilva@uea.edu.br,
home page: <https://www.uea.edu.br>

Resumo. Este estudo investiga a performance e a viabilidade de redes LPWAN construídas com base no protocolo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) em um ambiente fluvial situado no Rio Negro, na cidade de Manaus, Amazonas, Brasil. O propósito subjacente é caracterizar as transmissões nesse contexto, mais especificamente em embarcações de pequeno porte, com o intuito de transmitir dados para um gateway estacionado na praia da Ponta Negra utilizando rádio frequência LoRa. Foram realizadas coletas e análises de métricas como quantidade de pacotes transmitidos e recebidos, distância percorrida e intensidade do sinal (RSSI). Os resultados obtidos evidenciam que este tipo de rede apresenta uma notável capacidade de manter uma comunicação robusta em extensas distâncias, apesar de um declínio progressivo na qualidade da comunicação à medida que a distância entre o dispositivo final e o gateway aumenta. Esse estudo ressalta, portanto, o considerável potencial das redes LPWAN baseadas no protocolo LoRaWAN como uma solução viável para aplicações de redes de sensores sem fio em embarcações de pequeno porte em ambientes fluviais da região amazônica.

Keywords: LoRa, Smart Cities, Rio Negro, LPWAN.

1. Introdução

As redes do tipo LoRaWAN são uma das opções mais populares para IoT dentro do contexto de Cidades Inteligentes devido a uma série de vantagens que as tornam adequadas para este tipo de aplicação [1]. Muitos experimentos e artigos vem sendo produzidos sobre esse assunto. Mas não podemos deixar de fora esse estudo contextualizando os rios. Mas especificamente, o Rio Negro, que fica localizado na cidade de Manaus-AM no Brasil, vem sendo utilizado pelos autores deste artigo, como palco de estudos (Testbed) desta tecnologia devido a sua grande importância no âmbito de ser um dos rios que banham várias cidades Amazônicas do Brasil [2]. Com esse intuito, foram implementados dispositivos finais (end-devices) contendo sensores que ficaram a bordo de uma embarcação, os quais transmitiram dados para um gateway posicionado no ponto mais elevado da praia. A partir desse gateway, os dados foram direcionados a um servidor de rede e subsequentemente armazenados em um banco de dados. O gateway permaneceu estacionado na praia, enquanto o dispositivo final, embarcado na embarcação, navegava pelas águas do rio nas proximidades da costa.

2. Protocolo LoRaWAN

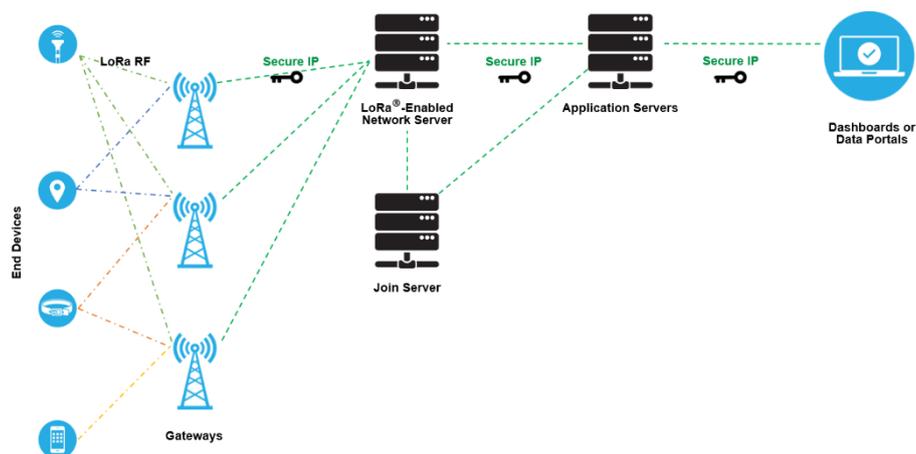


Fig. 1. Implementação típica de uma rede LoRaWAN.

Trata-se de um protocolo de rede de natureza aberta, o qual proporciona uma comunicação segura de caráter bidirecional, bem como mobilidade e serviços de localização de padrões uniformes. Esse protocolo é supervisionado e mantido pela LoRa Alliance [3]. Na Fig. 1, é apresentada uma representação característica de uma implementação típica da rede LoRaWAN, abrangendo todo o seu percurso.

a. Dispositivo Final

Dispositivos finais, normalmente, são sensores ou atuadores que transmitem informações sem fio e se integram à rede LoRa. Eles transmitem e recebem dados por meio de um gateway. Comumente, um dispositivo final é um sensor operado por bateria que monitora condições físicas e ambientais. Também pode ser um atuador para fins como iluminação pública, travas sem fio, válvulas de água. Esses dispositivos possuem identificadores exclusivos para gerenciamento na rede e garantem o transporte seguro de dados em redes públicas ou privadas [3].

b. Gateway

O gateway (Fig. 4) desempenha o papel de receber os dados enviados pelos dispositivos finais, direcionando-os ao Servidor de Rede LoRaWAN. A transferência de dados no sentido oposto também ocorre regularmente. Um único sensor tem a capacidade de encaminhar pacotes para múltiplos gateways, o que significa que não há uma associação específica entre dispositivo final e gateway. Consequentemente, cada pacote transmitido pelo dispositivo final é captado por todos os gateways dentro de seu alcance. O encaminhamento das mensagens para o servidor de rede ocorre através de opções como Ethernet com fio, Wi-Fi, Backhauled ou conectividade celular. O papel fundamental do gateway é o de transmitir mensagens de uma rede para outra, e também garantir a integridade dos dados de cada mensagem LoRa de rádio frequência. Caso o CRC esteja incorreto, a mensagem é considerada corrompida e rejeitada. Caso contrário, o gateway encaminhará a mensagem para o LNS, incluindo alguns metadados como o RSSI, data e hora de recebimento [3].

c. Servidor de Rede LoRaWAN

O servidor de rede LoRaWAN, conhecido como LNS, assume a responsabilidade de orquestrar a totalidade da rede, regulando os parâmetros de sua estrutura, a fim de moldá-la diante das contínuas mudanças das condições e do tráfego. Ademais, ele empreende a estabelecer conexões resolutamente seguras, utilizando um ciframento AES de 128 bits, para o transporte dos dados desde os dispositivos finais até os aplicativos dos usuários finais na nuvem [3].

Considerando a perspectiva em que diversos dispositivos receptores (gateways) podem captar a mesma transmissão de dados por meio da tecnologia LoRa, proferida por um único dispositivo final, o LNS desempenha a tarefa de depurar o registro de dados, eliminando todas as duplicatas em uma ação precisa de exclusão de cópias. Destaca-se, de maneira específica, a capacidade do LNS em garantir a autenticidade de todos os sensores integrantes da rede, bem como a integridade de cada mensagem que atravessa todo o sistema [3].

d. Servidores de Aplicativos

A responsabilidade primordial dos servidores de aplicativos recai sobre a manipulação, gerenciamento e interpretação segura dos dados provenientes dos sensores dos dispositivos finais. Além de desempenharem esse papel, esses servidores também são encarregados de gerar integralmente as cargas informativas inerentes à camada aplicativa, as quais, por sua vez, são encaminhadas ao Servidor de Rede LoRaWAN (LNS) com o propósito de serem direcionadas aos dispositivos finais que se encontram em estado de conexão [3].

e. Servidor de Junção

O servidor de junção desempenha a gestão do procedimento de ativação over-the-air, destinado a dispositivos finais que almejam integração à rede. Este servidor incorpora as informações essenciais para a decodificação dos quadros de solicitação uplink, assim como a formulação dos quadros de confirmação downlink. Adicionalmente, ele comunica ao servidor de rede a identidade do servidor de aplicativos destinado a ser associado ao dispositivo terminal em questão, além de orquestrar a geração das chaves de cifragem de sessão, tanto para a rede quanto para o âmbito aplicacional. É por meio deste servidor que a Chave de Sessão de Rede do dispositivo é compartilhada com o servidor de rede, enquanto a Chave de Sessão de Aplicativo é comunicada ao servidor de aplicativos correspondente, estabelecendo, assim, uma sólida infraestrutura criptográfica [3].

3. Metodologia

a. Transmissor

Esse equipamento, que é o dispositivo final, estava presente em uma embarcação de pequeno porte que navegou pelo conhecido "Rio Negro", nas proximidades da praia da Ponta Negra. Mais especificamente, a trajetória começou em um ponto próximo à "Praia da Lua" e se estendeu até a ponte "Phelippe Daou", mais conhecida como "Ponte Rio Negro". Foi determinado que o dispositivo em questão realizará exclusivamente a transmissão de dados em intervalos de um segundo. Os dados a serem transmitidos pelo emissor incluem um conjunto de informações consistindo de Contador, Data e Hora no Sistema de Posicionamento Global (GPS), Coordenadas Geográficas de Latitude e Longitude, bem como Umidade e Temperatura.

O "Contador" assume a forma de uma variável, começando com o valor de um e incrementando unitariamente a cada transmissão subsequente executada. Tanto a latitude quanto a longitude são expressas no formato decimal de graus. A umidade é expressa em porcentagem (%), indicando a quantidade de umidade relativa presente no ambiente, e a temperatura é expressa em graus Celsius (°C).

A totalidade do conjunto de dados a ser transmitido ocupa uma estrutura com uma dimensão de 52 bytes. Ambos os dispositivos envolvidos – o transmissor e o gateway – serão configurados com as especificações a seguir: uma Taxa de Código (CR) de 4/5, uma Largura de Banda (BW) de 125 MHz, um Fator de Espalhamento (SF) variando no intervalo de 7 a 12, que se ajusta automaticamente com base em critérios de distância e intensidade do sinal, e uma Frequência de Operação de 915 MHz.

Os componentes essenciais utilizados nesse cenário incluem o Esp32 LoRa v2, a Antena Steelbras AP3900 e o módulo GPS Neo-6M v2.

b. Gateway

Este dispositivo desempenhou a função de receptáculo dos dados veiculados pelos sensores dos dispositivos finais. Sua localização estratégica repousou no epicentro da Praia da Ponta Negra, fixado em um ponto elevado que conferiu excelente visibilidade ao rio. A composição física do aparelho materializou-se mediante a confluência tecnológica do Raspberry PI 3, o Shield AFMultiRadio Lora 1276 e a antena AP3900 da Steelbras.

Fundamentalmente, o dispositivo em questão atuou como receptor da rede LoRa, engajando-se na subsequente transmissão dos dados por intermédio do método "publish" do protocolo MQTT, até o Servidor de Rede LoRaWAN. A conexão entre os parâmetros de transmissão e recepção em frequência de rádio LoRa se mostrou imperativa, exigindo que o receptor adotasse as mesmas configurações predefinidas no transmissor, instaurando, assim, uma sincronia robusta.

Os dados que foram recebidos correspondem as mesmas informações enviados pelo transmissor, como anteriormente delineados. Acrescidas destas informações, também serão incorporados os dados adicionais capturados pelo próprio hardware do gateway, notadamente, o Índice de Força do Sinal Recebido (RSSI) e o tamanho do pacote, expresso em bytes. A totalização destes elementos culmina em um conjunto de oito variáveis, todas destinadas ao envio para Servidor de Rede, a saber: RSSI, Tamanho do Pacote e os dados emanados pelo transmissor.

Destaque-se que a antena inclusa no conjunto que abarca o microcontrolador "Esp32 LoRa v2" e o Shield AFMultiRadio se mostrou restrita a um alcance máximo de 350 metros. Diante desta constatação, a aquisição de uma antena de maior alcance se tornou necessária. Assim, a antena Steelbras AP3900, projetada para estender-se até 6,5 km, emergiu como a escolha para suplantiar o componente originalmente incluído no conjunto dos microcontroladores, conferindo-lhe capacidades substancialmente ampliadas.

c. Servidor de Rede

Trata-se de um serviço concretizado mediante a elaboração e implementação de um código em linguagem Python, o qual foi instalado em um dispositivo computacional do qual o autor é detentor, a saber, um notebook. Este serviço tem a função de efetuar a recepção dos pacotes oriundos do dispositivo Gateway por intermédio da rede mundial de computadores, utilizando para tal o protocolo de mensagens denominado MQTT, sob a função de assinatura (subscribe).

Os pacotes que são recebidos com sucesso através dessa modalidade de comunicação são preservados e armazenados no próprio dispositivo notebook. A finalidade desse armazenamento reside na propensão para futuras análises, investigações e formulações de conclusões pertinentes. O sistema de armazenamento empregado se constitui por meio de um banco de dados de natureza Postegres, o qual se presta a arquivar todas as informações recebidas a fim de viabilizar a construção aprofundada dos resultados obtidos e, por conseguinte, a formulação de conclusões embasadas em dados concretos.

d. Servidor de Aplicação

Este serviço, tem por principal função, interpretar as informações armazenadas no banco de dados. Constrói novos campos e produz outras informações necessárias. Com isto, é possível saber qual é a distância em cada ponto recebido com sucesso através das coordenadas geográficas de latitude e longitude no momento da transmissão no barco, além de saber o alcance máximo na distância entre a emissão e a recepção. Por meio da variável "Contador", foi feito um levantamento de quantos pacotes foram perdidos e quantos foram recebidos com sucesso. Além de ser feita uma estimativa da vazão dos dados em Bytes por segundo.

4. Resultados

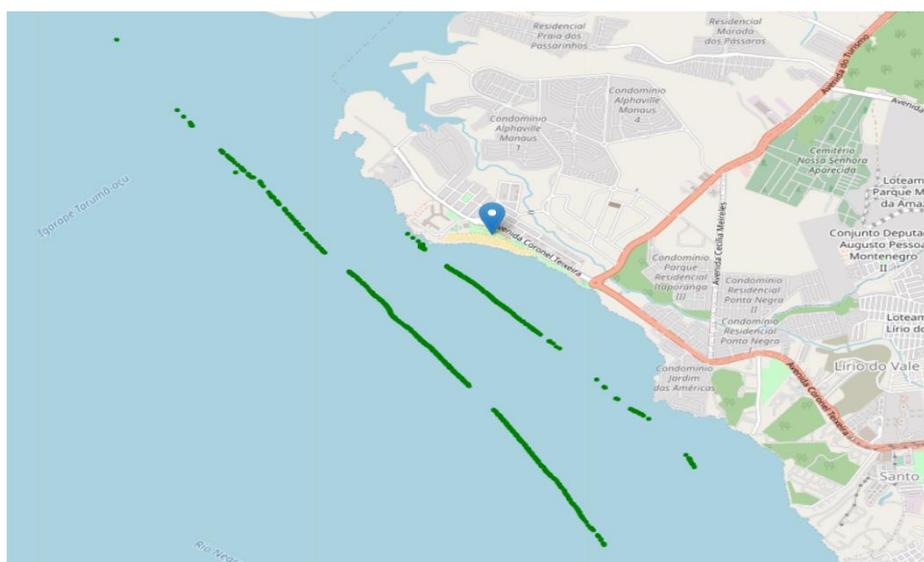


Fig. 2. Mapa da trajetória do barco no momento das transmissões bem-sucedidas.

O ponto azul no mapa da Fig. 2 mostra, com exatidão, onde estava localizado o gateway na praia da Ponta Negra. Nos pontos verdes sobre o rio, é possível visualizar a trajetória que a embarcação realizou durante a transmissão dos pacotes que foram recebidos com sucesso. É importante salientar que muitos pacotes foram perdidos devido ao limite de alcance nas transmissões via rádio frequência LoRa. E outros pacotes tiveram seus dados corrompidos em alguns campos de maneira aleatória.

A trajetória de ida, que ficou mais afastada da praia, é a que teve a maior cobertura de sinal nas recepções com uma dimensão de 7.3 km. O retorno da embarcação foi mais próximo à praia em relação a ida, e teve uma cobertura de 3.7 km.

O alcance máximo na transmissão dos pacotes, utilizando a tecnologia LoRa, entre o dispositivo final, representado como o transmissor, e o gateway (receptor), foi de aproximadamente 6.9 km.

A taxa de entrega de pacotes é um valor expresso em porcentagem que visa mostrar a quantidade de pacotes entregues com sucesso em relação a todos os pacotes enviados. No percurso de ida, tivemos uma taxa de entrega de pacotes de 67.35%, e na volta, esse valor chegou até 52,1%.

A taxa de bytes por segundo (bps) se refere à quantidade de dados que pode ser transmitida através da rede LoRa em um segundo. Ela representa a taxa na qual os bytes de informação podem ser enviados ou recebidos entre dispositivos em uma rede LoRa. Neste experimento esta taxa chegou no valor de 31.14 bps na partida, e 26.06 bps no retorno do barco ao ponto inicial.

Em LoRa, tanto a taxa de entrega de pacotes como a de bytes por segundo está diretamente relacionada à largura de banda utilizada para a transmissão, juntamente com outras configurações de modulação, como o fator de espalhamento.

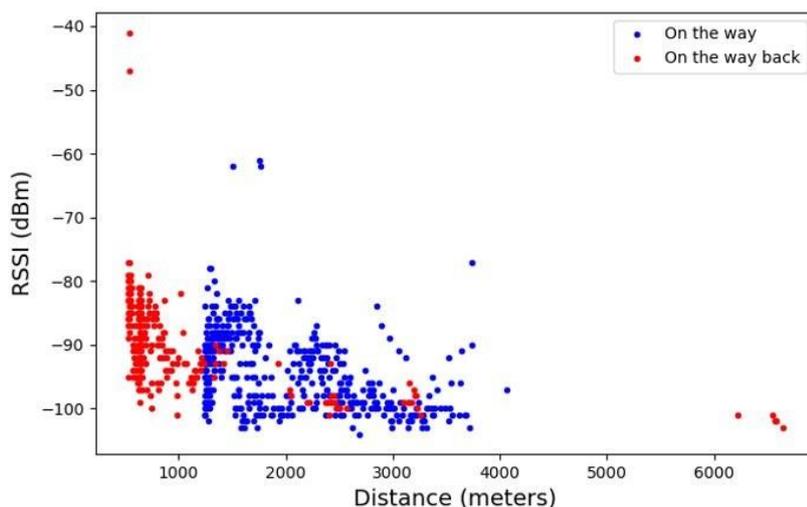


Fig. 3. Gráfico do RSSI em função da distância.

O gráfico gerado pela fig. 3 deveria ser expresso em uma função exponencial negativa, caso o fator de espalhamento fosse fixado [2]. Os valores do fator de espalhamento (SF) em redes LoRa exibem essa variação quando não é fixado na configuração inicial interferindo no valor do RSSI. Tal variação resulta da aplicação do protocolo LoRaWAN, que emprega um algoritmo adaptativo de ajuste de taxa de dados (ADR). Esse algoritmo, implementado nos nós da rede, procede a ajustes automáticos do SF e da potência de transmissão, alinhando-os com as condições em vigor [4].

5. Conclusão

Os resultados obtidos lançam luz sobre a viabilidade e os desafios associados à implementação da tecnologia LoRaWAN em ambientes fluviais, especificamente no cenário do Rio Negro e nas embarcações de pequeno porte em movimento. É essencial destacar que, embora a tecnologia LoRa ofereça uma comunicação de longo alcance e eficiência energética, os resultados evidenciaram a influência do limite de alcance nas transmissões. A perda de pacotes e a corrupção dos dados em alguns campos, de maneira aleatória, apontam para desafios inerentes a ambientes fluviais amazônicos devido às suas características peculiares como umidade do ar e temperatura.

A avaliação da taxa de entrega de pacotes revelou um aspecto crítico da confiabilidade da rede. Esses valores ressaltam a importância da consideração do ambiente e das limitações da transmissão ao planejar aplicações práticas em ambientes fluviais. Apesar disso, o resultado da taxa de bytes por segundo, reflete a capacidade de transmissão eficiente da rede.

Em síntese, este estudo demonstrou que, esta tecnologia oferece notáveis vantagens para comunicações em ambientes fluviais. Desafios como a perda de pacotes, variação na taxa de entrega e cobertura de sinal variando com a distância entre o transmissor e o gateway, são questões a serem consideradas para uma implementação bem-sucedida. Mas isso é comum em diferentes situações. No geral, nossa pesquisa mostrou que redes baseadas em LoRaWAN podem ser uma ferramenta valiosa em cenários fluviais, e esses resultados nos ajudarão a usá-lo da melhor maneira possível no futuro.

References

1. M. Dohler, J. Mitola III, and A. Laya. "A Low-Power Wide-Area Network Technology for the Internet of Things". IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 6, pp. 118-123, June 2017.
2. Frazão, Danilo, and Edgard Silva. "Long-Range Network (LoRa) Behavior in the Amazon Region in a Fluvial Environment" Proceedings of the 8th Brazilian Technology Symposium (BTSym'22) Smart Innovation, Systems and Technologies (Volume 353). Cham: Springer International Publishing, 01 May 2023.
3. Portal do Desenvolvedor LoRa (Semtech). <https://lora-developers.semtech.com/>

4. Henrique, Willian. Alocação Conjunta de Potência e Fator de Espalhamento em Redes LoRaWAN com Múltiplos Gateways. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.