



Simulação do monitoramento de veículos em uma rede LoRaWAN usando NS-3

Simulation of vehicle tracking on a LoRaWAN network using NS-3

João Pedro Pastório*, Edson Tavares de Camargo †, Álvaro Ricieri Castro e Souza‡

RESUMO

Com o aumento no número de aplicações voltadas à Internet das Coisas sendo desenvolvidas, surge a necessidade de se projetar uma infraestrutura de rede adequada para suportar as suas exigências. Com isso, esse estudo avalia em ambiente simulado o desempenho de uma rede LoRaWAN submetida a diferentes cenários de operação no contexto de objetos em movimento. Realizando alterações no nível de interferência presente no meio de propagação do sinal e variando o número de pontos de acesso que a infraestrutura compreende. Abordando desde cenários com baixa interferência e poucos pontos de acesso até cenários com várias obstruções e pontos de acesso. Para isso foi utilizado o simulador de código aberto NS-3 e seus módulos para representar cenários com diferentes níveis de interferência e dispositivos se comunicando com números variados de pontos de acesso. Os resultados obtidos apresentam o comportamento dos dispositivos presentes na rede durante a comunicação incluindo a porcentagem de pacotes perdidos em cada um dos cenários avaliados.

Palavras-chave: Internet das Coisas. LoRaWAN. Simulador NS-3.

ABSTRACT

With the increase in the number of Internet of Things applications being developed, there is a need to design an adequate network infrastructure to support your requirements. Thus, this study seeks to evaluate in a simulated environment the performance of a LoRaWAN network subjected to different operating scenarios in the context of moving objects. Changing the level of interference present in the signal propagation medium and varying the number of access points that the infrastructure comprises. Handling scenarios with low interference and few access points for scenarios with multiple obstructions and access points. We employ the NS-3 open source simulator and its modules for representing scenarios with different levels of interference and devices communicating with different numbers of access points. Results present the behavior of the devices on the network during communication, including the percentage of lost packets in each of the evaluated scenarios.

Keywords: Internet of Things. LoRaWAN network. NS-3 simulator.

1 INTRODUÇÃO

O termo Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) está associado a dispositivos que apresentam a capacidade de trocar informações entre si ou com pontos de acesso. Esses dispositivos muitas vezes estão relacionados a diversas aplicações do nosso cotidiano, como por exemplo lâmpadas inteligentes, sensores de

* Engenharia de Computação; joaopastorio@alunos.utfpr.edu.br.

† Tecnologia de Sistemas para Internet; edson@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-6520-9142>.

‡ Engenharia de Computação; alvarosouza@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-7440-2091>.



presença e fumaça, ou à aplicações urbanas, como no monitoramento de veículos da coleta seletiva que está em desenvolvimento na UTFPR, campus Toledo, como fruto de uma parceria com o município (SILVA et al., 2020). Nesse âmbito, as tecnologias associadas às redes de baixo consumo energético e ampla área de abrangência *Low Power Wide Area Network* LPWAN estão sendo muito empregadas. A tecnologia LoRa, derivação para *Long-Range*, é uma das tecnologia de implementação LPWAN, essa, por sua vez, utiliza o protocolo de rede LoRaWAN para o gerenciamento da comunicação entre dispositivo IoT e pontos de acesso, também chamados de Gateways. A rede LoRaWAN permite a implantação de uma rede de baixo custo, flexível e em grande escala por utilizar uma largura de banda não licenciada (ROSSATO; SPANHOL; CAMARGO, 2020).

Um dos quesitos chave em uma rede IoT está na sua capacidade de suportar um grande número de dispositivos em operação. Ao se implementar uma rede de sensores, como a LoRaWAN, busca-se a criação de uma infraestrutura robusta e com uma menor suscetibilidade a erros (MEKKI et al., 2019). Então, com a utilização de simulações, podemos projetar diversos cenários de operação dos dispositivos nessa rede, analisando futuros problemas que podem ser encontrados na prática e assim maneiras de evita-los. Uma vez que são encontrados os cenários adequados para a projeção da uma infraestrutura de rede, a sua implementação pode ser realizada com um menor custo e podendo atingir um maior desempenho. Além de que conhecer os limites de uma rede IoT antes do seu desenvolvimento pode contribuir com futuras aplicações que vão operar em sua infraestrutura.

Existem algumas pesquisas relacionadas a análise em simulação de uma rede LoRaWAN. Como abordado por Ortiz et al. (2019) a comparação do desempenho simulado e prático de um dispositivo final se comunicando com um ponto de acesso, enquanto em Abeele et al. (2017) é realizada a detecção de erros provenientes de um grande número de dispositivos simultaneamente conectados e enviado pacotes de dados ao ponto de acesso. Apesar das abordagens realizadas por essas pesquisas, outros fatores impactam no desempenho de uma rede LoRaWAN e na perda de pacotes enviados pelos dispositivos. Um desses fatores sendo as perdas causadas pela distância entre dispositivo e ponto de acesso, influenciadas pelo ambiente que o sinal se propaga (GOLDSMITH, A., 2005). Essa, por sua vez, apresenta relação com fenômenos de sombreamento ou desvanecimento do sinal. Mas como podemos saber o quão impactante esses diferentes ambientes e cenários são para o desempenho da rede? Ou seu efeito em uma aplicação como no monitoramento de veículos em movimento?

O presente estudo busca responder essas questões, utilizando para isso o módulo LoRaWAN desenvolvida por Magrin (2016) para o simulador de redes de código aberto baseado em eventos discretos *Network Simulator 3* (NS-3). Vai analisar, em ambiente simulado, o desempenho e operação de uma rede LoRaWAN submetida a cenários e condições diversas. Investigar o impacto causado por um grande número de dispositivos se comunicando simultaneamente com diferentes pontos de acesso e sobrecarregando os mesmos. Examinar o impacto da alteração no meio em que o sinal se propaga, com o objetivo de obstruir o campo de visão entre dispositivo e ponto de acesso, e simular os efeitos de sombreamento e desvanecimento de sinal. Destacar o impactos desses fatores na redução da potência do sinal recebido e conseqüentemente na perda de pacotes transmitidos.

2 MÉTODO

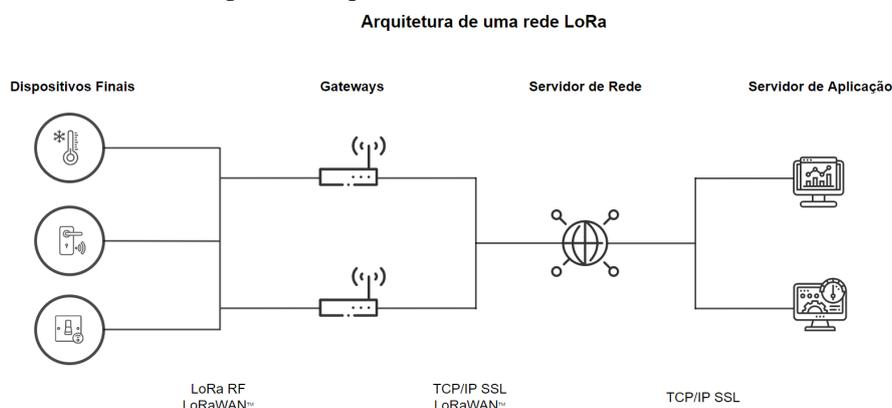
2.1 Tecnologia LoRa e LoRaWAN

A tecnologia LoRa consiste em uma modulação que opera na camada física das redes com amplo alcance e baixo consumo de potência LPWAN. Essa rede se caracteriza pela sua extensa área de abrangência, estando

diretamente relacionada aos níveis de obstruções presentes no meio, podendo chegar a quilômetros de distância. Essas redes também apresentam um baixo consumo energético, o que é possível pelo envio de pequenas quantidades de dados entre um grande intervalo de tempo, o que reduz o tempo de ativação dos dispositivos e aumenta a vida útil de suas baterias (MEKKI et al., 2019).

O protocolo LoRaWAN foi criado para gerenciar a comunicação dos dispositivos que utilizam a tecnologia LoRa em sua camada física. Nesse protocolo são definidas algumas especificações, como a classe dos dispositivos e como os mesmos enviam suas mensagens (LORA ALLIANCE, 2017). Outro aspecto definido é a arquitetura da rede LoRaWAN, essa, por sua vez, se baseia na topologia estrela, apresentada na Fig. 1. Uma rede LoRaWAN apresenta dispositivos finais, como sensores e atuadores, que se comunicam com pontos de acesso, conhecidos como Gateways, esses estão diretamente conectados aos servidores responsáveis por gerenciar a distribuição dos dados para as aplicações finais.

Figura 1 – Arquitetura de uma rede LoRaWAN



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2 NS-3 e Módulo LoRaWAN

O NS-3 é formado por diferentes módulos responsáveis por simular cada aspecto de uma rede de dispositivos. O módulo LoRaWAN elaborado por Magrin (2016) fornece uma série de classes para reproduzir cada componente de uma rede LoRaWAN. Enquanto o modelo de perda de caminho por distância logarítmica é utilizado para analisar o impacto da distância na potência do sinal transmitido (GOLDSMITH, T. S., 2009), esse segue a formulação matemática apresentada na Eq. (1).

$$L = L_0 + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

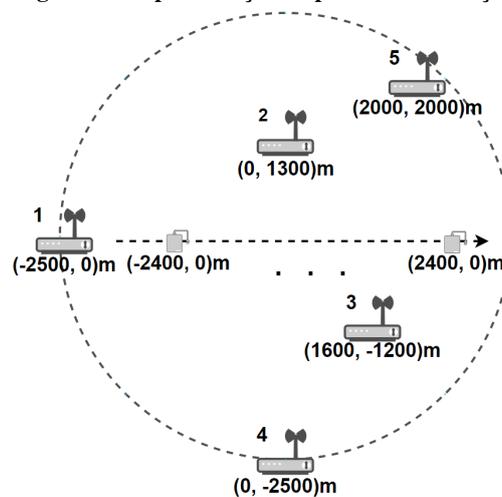
A simulação de obstruções no meio é realizada pela alteração no expoente de perda de caminho n da Eq. (1). Assim como pela utilização do modelo TR 45.820, do sombreamento presente no módulo LoRaWAN (MAGRIN, 2016) e modelos para representação de construções do próprio NS-3. Definido os seguintes cenários de operação:

- Cenário 0: $n = 3,5$ sem construções ou sombreamento, simulando um ambiente aberto.
- Cenário 1: $n = 3,75$ com poucas construções e sombreamento, simulando um ambiente pouco urbanizado.
- Cenário 2: $n = 4$ com muitas construções e sombreamento, simulando um ambiente urbano.

3 RESULTADOS

O primeiro resultado foi avaliado para os 3 cenários mencionados considerando um dispositivo final em movimento e alteração no número de Gateways, como mostrado na Fig. 2. Obtendo resultados quanto a taxa de pacotes transmitidos e recebidos durante a comunicação do dispositivo final em cada ponto do deslocamento. Primeiramente para o cenário 0 com apenas o Gateway 1 em operação, depois sendo considerado o Gateway 1 e 2 e assim sucessivamente, até ser realizada para os 3 cenários e os 5 Gateways. O posicionamento dos Gateways foi escolhido de acordo com projetos em desenvolvimento entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a prefeitura de Toledo Paraná para implantação de uma rede LoRaWAN na cidade.

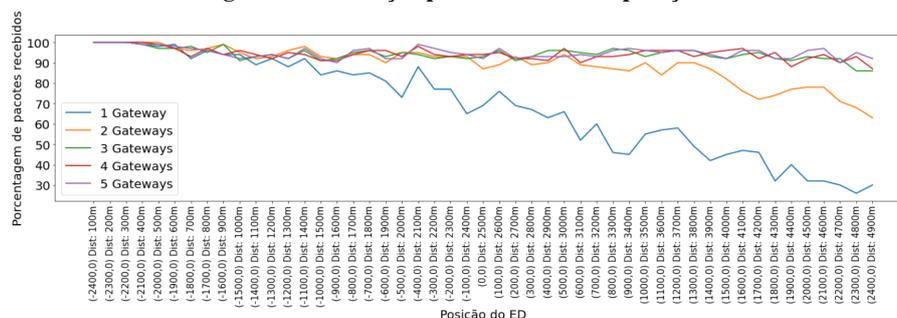
Figura 2 – Representação da primeira simulação



Fonte: Autoria própria (2021).

Para o cenário 0 conforme o dispositivo final começa a se distanciar do Gateway 1 a porcentagem de pacotes recebidos começa a reduzir, quando considerado apenas um Gateway essa porcentagem que começa em 100% termina em aproximadamente 30%, apresentando uma queda de quase 70% de pacotes recebidos. Conforme aumentamos o número de Gateways para o mesmo cenário percebemos que a porcentagem de pacotes recebidos também aumenta, ficando entre 90-100% para 3, 4 e 5 Gateways. Isso ocorre por conta do ambiente não apresentar obstruções, sendo limitados apenas pela distância percorrida pelo sinal.

Figura 3 – Simulação para o cenário de operação 0



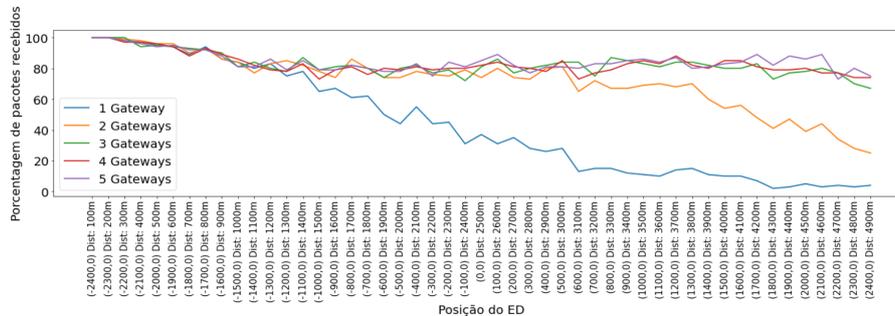
Fonte: Autoria própria (2021).

Já, no cenário de operação 1, considerando algumas poucas obstruções, com apenas o Gateway 1 em operação, no final do trajeto a porcentagem de pacotes recebidos é reduzida para aproximadamente 0%. Ao considerar



3, 4 e 5 Gateways essa porcentagem fica por volta de 80%, diferente do cenário 0, agora que estão presentes obstruções alguns pacotes de dados sofrem interferência e não são 100% recebidos.

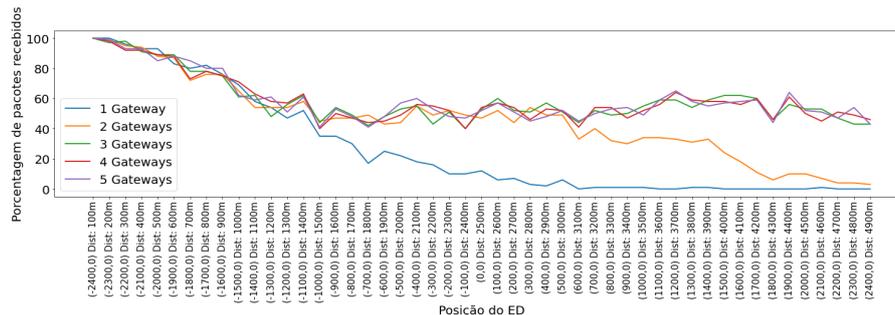
Figura 4 – Simulação para o cenário de operação 1



Fonte: Autoria própria (2021).

No cenário 2, considerando um ambiente urbano, com alto índice de obstruções, sombreamento e construções, a porcentagem de pacotes recebidos permanece por volta de 50% para 3, 4 e 5 Gateways. Com apenas o Gateway 1 em operação chega em 0% de pacotes recebido em uma distância muito menor do que para o cenário 1 analisado.

Figura 5 – Simulação para o cenário de operação 2



Fonte: Autoria própria (2021).

Revelando que em ambientes com poucas obstruções o aumento no número de Gateways se mostra suficiente para contornar a redução na porcentagem de pacotes recebidos. Porém, em ambientes com um alto índice de interferência pode ser necessário realizar alguma outra abordagem além da utilização de mais Gateways para manter o desempenho da rede. Identificando uma redução de aproximadamente 50% na porcentagem de pacotes recebidos quando se tem 5 Gateways em operação, indo de 90-100% no cenário 0, considerando um ambiente com poucas obstruções, para 40-50% no cenário 2 ao considerar várias construções e sombreamento do meio que o sinal se propaga.

4 CONCLUSÕES

Com esse estudo foi possível verificar, em ambiente simulado, o comportamento de uma rede LoRaWAN submetida a diferentes cenários de operação para o monitoramento de veículos em movimento. A partir das simulações realizadas percebe-se que o aumento no número de Gateways presentes na rede impacta diretamente na porcentagem de pacotes recebidos quando estamos lidando com um objeto em diferentes posições. Mas, o cenário de operação que os dispositivos e ponto de acesso estão presentes pode limitar a taxa de dados



recebidos pelas inúmeras interferências que passam a agir sobre o sinal. Esse problema pode ser reduzido com a utilização de algoritmos de retransmissão. Em Almeida et al. (2021) é apresentada a expansão dessas simulações, considerando um algoritmo de retransmissão para verificar seu impacto na porcentagem de pacotes recebidos, compilando as análises simuladas aqui expostas com uma análise prática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR e a Prefeitura de Toledo ao apoio financeiro pelo edital N.º 05/2020 PROBIC-TD e o Acordo de Cooperação 001/2020, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ABEELE, Floris Van den et al. Scalability Analysis of Large-Scale LoRaWAN Networks in ns-3. **IEEE Internet of Things Journal**, PP, mai. 2017. DOI: [10.1109/JIOT.2017.2768498](https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2768498).
- ALMEIDA, Thiago V. O. et al. Em Busca de um Algoritmo de Retransmissão em Redes LoRaWAN. **V Workshop de Computação Urbana**, 2021.
- GOLDSMITH, Andrea. **Wireless Communications**. New York: Cambridge University Press, 2005.
- GOLDSMITH, Theodore S. **Comunicações sem fio, Princípios e Práticas**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2009.
- LORA ALLIANCE. **LoRaWAN™ 1.1 specification**. Beaverton, Oregon, Estados Unidos, out. 2017. P. 101. Disponível em: [🔗](#).
- MAGRIN, Davide. **Network level performances of a LoRa system**. 2016. Diss. (Mestrado) – Università degli Studi di Padova, Pádua. Orientador: Lorenzo Vangelista.
- MEKKI, Kais et al. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. v. 5, p. 1–7, mar. 2019. DOI: [10.1016/j.ict.2017.12.005](https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005).
- ORTIZ, Fernando Molano et al. Caracterização de Desempenho de uma Rede LoRa em Ambientes Urbanos: Simulação vs. Prática. In: ANAIS do III Workshop de Computação Urbana. Gramado: SBC, 2019. P. 167–180. DOI: [10.5753/courb.2019.7476](https://doi.org/10.5753/courb.2019.7476). Disponível em: [🔗](#).
- ROSSATO, Jonas; SPANHOL, Fabio; CAMARGO, Edson. Implantação e Avaliação de uma Rede Sem-Fio de Longo Alcance e Baixa Potência para Cidades Inteligentes. In: ANAIS do IV Workshop de Computação Urbana. Rio de Janeiro: SBC, 2020. P. 192–205. DOI: [10.5753/courb.2020.12363](https://doi.org/10.5753/courb.2020.12363). Disponível em: [🔗](#).
- SILVA, Marcos da et al. Avaliação de Dispositivos de Rastreamento em uma Rede LoRaWAN no Contexto de Cidades Inteligentes. In: ANAIS do IV Workshop de Computação Urbana. Rio de Janeiro: SBC, 2020. P. 1–14. DOI: [10.5753/courb.2020.12349](https://doi.org/10.5753/courb.2020.12349). Disponível em: [🔗](#).