



## UMA PROPOSTA PARA MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DA TAXA DE PERDA DE PACOTES NA TRANSMISSÃO DE DADOS EM UMA REDE LORAWAN<sup>1</sup>

Gilson Oliveira<sup>2</sup>, Gerson Battisti<sup>3</sup>, Sandro Sawicki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido no PPGMMC/Unijuí

<sup>2</sup> Mestrando do Programa de Modelagem Matemática e Computacional - Unijuí

<sup>3</sup> Professor Doutor do Programa de Modelagem Matemática e Computacional - Unijuí

<sup>4</sup> Professor Doutor dos Cursos de Ciência da Computação e Engenharia de Software - Unijuí

### RESUMO

O conceito de Cidades Inteligentes (Smart Cities) vem ganhando popularidade e se consolidando como sinônimo de utilização de soluções tecnológicas para melhorar questões de mobilidade urbana, sustentabilidade e, conseqüentemente, a qualidade de vida das pessoas. Neste viés de monitoramento e geração de dados surge a Tecnologia LoRa (*Long Range*), uma tendência quando aliada a IoT (*Internet of Things*) pela facilidade e flexibilidade na realização de tarefas e na comunicação com outros objetos ou dispositivos finais (*Device-to-Device - D2D*). No entanto, a propagação de sinal LoRa está relacionado a um parâmetro denominado fator de espalhamento (*Spreading Factor - SF*). Com isso, a tecnologia LoRa pode ser configurada a partir de seis valores específicos (SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 e SF12) onde os sensores passam a transmitir os dados, que são captados pelos *Gateways* (antenas) que, por sua vez, transmitem para o servidor. Com isso, pode-se armazenar o histórico dos dados capturados, possibilitando a implementação de soluções para a visualização de dados, os quais podem ser importantes para a perspectiva do gestor e também da população em geral. Este artigo apresenta a proposta de criação de um cenário real para aplicar a Modelagem Matemática e Computacional com o objetivo de encontrar a taxa de perda de pacotes na transmissão de dados em relação à distância entre transmissores (sensores) e receptores (antenas) compatíveis com o protocolo LoraWan.

**Palavras-chave:** LoRa. LoRaWan. Taxa de perda. Fator de espalhamento. Modelagem matemática e computacional.

### ABSTRACT

The concept of Smart Cities has been gaining popularity and consolidating itself as a synonym for the use of technological solutions to improve issues of urban mobility, sustainability and, consequently, people's quality of life. In this bias of monitoring and data generation, LoRa Technology (Long Range) emerges, a trend when combined with IoT (Internet of Things) due to the ease and flexibility in carrying out tasks and communicating with other objects or end devices (Device-to- Device - D2D). However, the LoRa spectral spread is related to a parameter called Spreading Factor (SF). With this, the LoRa technology can be configured from six specific values (SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 and SF12) where the sensors transmit the data, which are captured by the Gateways (antennas) which, in turn, transmit to the large server. With this, the history of captured data can be stored, enabling the implementation of solutions for data visualization, which may be important from the perspective of the manager and also from the general population. The purpose of this paper is to apply Mathematical and Computational



Modeling in order to find the packet loss rate in data transmission in relation to the distance between transmitters (sensors) and receivers (antennas) compatible with the LoRaWan protocol. The intention is to compare the real data with the data contained in the protocol specifications.

**Keywords:** LoRa. LoRaWan. Loss rate. Scattering factor. Mathematical and computational modeling.

## INTRODUÇÃO

Com o surgimento de inúmeros dispositivos com capacidade de se conectar e se integrar, tem-se permitido que múltiplas “coisas” tenham a capacidade de se comunicar através da Internet. A Internet das Coisas (IoT) é um conceito que descreve a interconexão de objetos físicos com a internet, permitindo a troca de dados e a comunicação entre eles. Esses objetos podem ser qualquer dispositivo eletrônico, sensor, máquina ou até mesmo objetos do dia a dia, que são equipados com sensores, software e conectividade de rede. Esses objetos podem ser monitorados, controlados e gerenciados remotamente, proporcionando automação e tomada de decisões baseadas em dados em tempo real. A Internet das coisas (IoT) tem o potencial de atuar em uma ampla variedade de setores, incluindo saúde, indústria, transporte, agricultura, cidades inteligentes e outros. A partir desse paradigma, tais dispositivos finais (ou End Nodes) têm se tornado inteligentes, capazes de capturar, processar e transmitir dados. Estes dispositivos têm a capacidade de serem autônomos, permitindo, inclusive que, o enlace de comunicação entre eles seja gerenciado e redes de baixa potência e longo alcance (Low Power Wide Area Network – LPWAN), passa a ser uma opção para atender a esta necessidade (AUGUSTIN et al., 2016).

A tecnologia LoRa diante desse contexto é uma especificação de camada física (PHY) proprietária da Semtech (LORATM-ALLIANCE, 2016), desenhada para redes de longo alcance e baixa potência. Assim, esta tecnologia está projetada para permitir a conectividade de objetos inteligentes em distâncias da ordem dos quilômetros, com baixo consumo de energia, requerimento essencial das redes da Internet das Coisas. A camada física (PHY) da tecnologia LoRa modula sinais em sub-bandas de rádio da faixa de frequências não licenciadas ISM (Industrial, Scientific and Medical) na ordem dos MHz. Vale ressaltar que no Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), a faixa de frequências regulamentada para ISM está entre 915 e 928 MHz (ANATEL, 2018). Dessa forma a tecnologia LoRa implementa uma técnica de modulação por espalhamento espectral de chirps (Chirp



Spreading Spectrum – CSS), que possui uma variação de frequência sem mudar a fase entre símbolos adjacentes, fazendo com que o sinal resultante seja resistente a interferências por ruídos ou sinais com frequências próximas (GOURSAUD; GORCE, 2015).

LoRa possui em sua especificação o espalhamento espectral que está relacionado a um parâmetro denominado fator de espalhamento (Spreading Factor – SF), pode ser configurada com seis valores diferentes para o SF (SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 e SF12) (LORATM-ALLIANCE, s/d). Para o fator de espalhamento existe um compromisso entre robustez da modulação a interferências e a taxa de transmissão de bits, como ilustra a Figura 1.

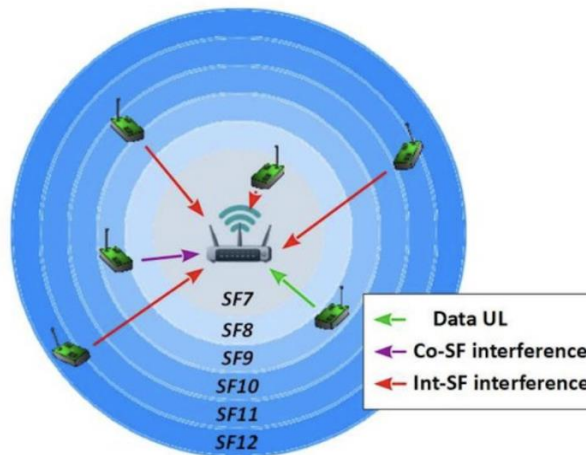


Figura 1: Fator de Espalhamento LoRa - *Spreading Factor*  
(Fonte: WARET, et al., 2019).

Entretanto, a tecnologia LoRa também se caracteriza pela redução na complexidade do hardware, a diminuição do tamanho dos cabeçalhos e da complexidade da rede em termos de saltos e endereçamento, viabilizando uma comunicação bidirecional simples, com o uso de uma infraestrutura mínima. Contudo, o entendimento mais preciso sobre o funcionamento das redes LoRa é que existem conceitos elementares necessários. Segundo Dornan (2001), a rede wireless por exemplo torna-se um dos componentes complexos do sistema que abrange a comunicação pública, e ela pode afetar três camadas do modelo OSI (Open Systems Interconnect) de comunicação, a física, meios de transmissão, de enlace, na qual as duas funções são detecção e correção de erros, e a terceira camada de rede passa a rotear as informações de dois ou mais sistemas de comunicação e determina a qualidade de serviço (QoS) da rede e



controla o fluxo de dados para evitar assim congestionamento da rede. LoRa é o tipo de camada física, camada mais inferior na disposição de camadas do modelo OSI em telecomunicações. Segundo Forouzan (2007), esta é a camada responsável por fazer a interação entre os componentes da rede através do meio de transmissão, assegurando sua conectividade e transferência dos dados de um nó para o próximo.

As funções são conversão do sinal eletromagnético adquirido para número binário (0 e 1) e vice e versa, controle da taxa de transferência, sincronização no nível de bits, multiplexação e comutação. Quando os dados adquiridos forem tensão, corrente ou luz, estes serão transmitidos via cabo, podendo ser coaxial, fibra óptica, etc., porém, se os dados adquiridos forem ondas eletromagnéticas estas deverão ser transmitidas sem cabo, ou seja, pelo ar, como é o caso das ondas de rádio, infravermelho, micro-ondas e Bluetooth. O que difere as várias tecnologias de comunicação sem fio entre si, são as técnicas de modulação de pulso, velocidade na taxa de transmissão de dados, protocolo de comunicação, frequência, etc. As redes de comunicação Wireless possuem o padrão IEEE 802.11 que abrange níveis físico e de enlace, porém, cada tecnologia de transmissão sem fio possui suas características bem definidas, e variam conforme sua aplicabilidade. A frequência de operação é uma dessas características, e dita a forma como os dispositivos se comunicam. Ela interfere na capacidade de transferência de dados transmitidos, e no ambiente em que é aplicada devido às legislações. Na Figura 1, estão presentes alguns dos tipos de comunicação sem fio em suas respectivas escalas no espectro de frequência, bem como onde a rede LoRa se enquadra. Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda para uma velocidade constante e mais dados essa onda é capaz de transportar.

As ondas de radiofrequência, onde se encontra a rede LoRa especificamente, estão presentes nas faixas de  $10^2$  e  $10^6$  Hz, são mais comumente tratadas por ciclos por segundo. Segundo Dornan (2001), rádio é o nome dado ao tipo de onda eletromagnética utilizada para comunicações e vem se expandindo cada vez mais por conta das novas tecnologias.

Com base nos aspectos citados acima, este artigo busca apresentar uma proposta para calcular a taxa de perda de pacotes na transmissão de dados em relação à distância entre transmissores (sensores) e receptores (antenas) compatíveis com o protocolo LoRaWan.



## **METODOLOGIA**

### **Tipo de Pesquisa**

O presente estudo refere-se a uma pesquisa exploratória e descritiva. As pesquisas exploratórias buscam proporcionar maior intimidade com a problemática levantada, com intuito de torná-la mais explícita, uma vez que se trata de assuntos pouco aprofundados (GIL, 2002). No que se refere há um estudo descritivo, Gil (2002) aponta que estas pesquisas têm como objetivo descrever características de determinada população ou fenômeno ou, então, estabelecer relações entre variáveis.

### **Local da Pesquisa**

A pesquisa será realizada na cidade de Unijuí, campus Santa Rosa, RS e os sensores de umidade e temperatura do solo da RAK modelo 12035 Ver-A Wisblock Soil Sensor.

### **População Alvo**

A população alvo do estudo é a tecnologia LoRa (Long-Range ou Longo Alcance) é uma especificação proprietária, mantida pela Semtech, para redes LPWAN (Low Power Wide Area ou Longo alcance e baixa potência).

### **Benefícios**

A pesquisa em questão poderá trazer benefícios à comunidade científica uma vez que os conhecimentos produzidos pelo estudo impactarão em novos resultados, contribuindo com um aporte teórico e prático.

### **Riscos**

A presente pesquisa possui risco mínimo para a população alvo. Enquadram-se neste tipo de risco os estudos que empreguem técnicas e métodos de pesquisa em que não se realiza nenhuma intervenção considerada invasiva ou modificação intencional nas variáveis tecnológicas, porém, este risco mínimo pode ser justificado pelos ganhos e benefícios que a pesquisa trará.



## **Etapas da Pesquisa**

**Etapa 01:** Usar apenas um Gateway para a geração de dados experimentais. Segundo a especificação técnica do produto, sem interferência, tem um diâmetro de cobertura de aproximadamente 15 quilômetros (omnidirecional).

**Etapa 2:** Pretende-se utilizar o fator de espalhamento SF7, SF10 e SF12 sem interferência. Um fator de espalhamento maior implica em maior resistência a interferências, mas também reduz a taxa de transmissão de dados e aumenta o tempo de transmissão, resultando em maior consumo de energia. Por outro lado, um fator de espalhamento menor aumenta a taxa de transmissão de dados, mas torna o sinal mais suscetível a interferências.

## **INTERNET DAS COISAS NO ÂMBITO DE CIDADES INTELIGENTES**

A grande massa humana nas cidades cresce exponencialmente devido à migração maciça e à urbanização, e dessa forma a expectativa é a de que a população mundial vivendo em áreas urbanas deverá aumentar de 54% em 2014 para 66% até 2050, informação referenciada pela ONU - The United Nations. Com essa imagem gerada, tem-se a preocupação com o impacto de crescimento populacional no planejamento urbano das grandes metrópoles e ao mesmo tempo, temos o advento de novas tecnologias da informação e comunicação conhecida como as (TICs), e com grande relevância nesse processo de crescimento temos a IoT - *Internet of Things Network*, que permitiu a democratização da capacidade de produção dos cidadãos que passaram a ter poderes para participar da dinâmica de inovação de suas cidades. A premissa em torno desse termo “Internet das Coisas” veio dos fundadores do MIT Auto-ID Center em 2001 (ASHTON, 2009; BROCK, 2001).

Segundo Li et al. a Internet das Coisas é um conceito precisamente tecnológico, tendo sido originado em conceitos como informação e tecnologia. Referente ao conceito básico da IoT é necessário observar que, conectar as coisas, permitindo que essas “coisas” se comuniquem entre si e que as pessoas também se comuniquem com elas. Já o conceito de Cidades inteligentes está sendo cada vez mais difundido, desenvolvido e posto em prática. Existem inúmeros exemplos de tecnologias incorporadas pela Internet das Coisas em cenários de cidades inteligentes.



No entanto devido a maioria das tecnologias serem baseadas em redes multi-saltos, as quais não oferecem ampla cobertura, tem-se então, aplicações que envolvem cobertura de cidades e onde envolve novas tecnologias de comunicação que foram desenvolvidas com o intuito de suprir a necessidade de maior cobertura. Existem soluções promissoras nesse cenário tecnológico e como apresentação temos as redes LoRaWAN.

## **LORA E LORAWAN**

A tecnologia LoRa (Long-Range ou Longo Alcance) é uma especificação proprietária, mantida pela Semtech, para redes LPWAN (Low Power Wide Area ou Longo alcance e baixa potência). O LoRa é uma tecnologia de camada física, que faz uso de uma técnica de modulação por espectro focada em dispositivos que seguem o paradigma da Internet das Coisas (IoT), ou seja, dispositivos presentes no cotidiano de seus usuários. Tecnologia LoRa é utilizada em conjunto com diversos protocolos distintos, sendo considerada uma tecnologia atrativa para o desenvolvimento de aplicações voltadas a IoT (Internet of Things Network).

Contudo, ela opera em frequências não licenciadas ISM (espectro de rádio reservado internacionalmente para fins industriais, científicos e médicos), reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico, com o intuito de aproveitar a frequência em redes legadas (antigas) de telefonia, entre outras. Tratando da tecnologia LoRaWAN, esta é uma tecnologia baseada em um modelo de camadas que possibilita a implementação de uma pilha ou conjunto de protocolos como demonstrado na Figura 1, trazendo a definição de comunicação entre os componentes da arquitetura, ou seja, a tecnologia LoRa passa a ser basicamente parte física/eletrônica que permite a modulação e LoRaWAN é o protocolo padrão MAC (*Media Access Control* ou *Controle de Acesso de Mídia*) de controle de acesso, geralmente utilizado em redes LoRa. O incremento da camada física LoRa com a camada lógica da rede tem o surgimento de redes LoRaWAN.

## **PROPOSTA DE CENÁRIO EXPERIMENTAL**

Para montar o cenário de experimentação, pretende-se utilizar o fator de espalhamento SF7, SF10 e SF12 sem interferência. Um fator de espalhamento maior implica em maior resistência a interferências, mas também reduz a taxa de transmissão de dados e aumenta o tempo de transmissão, resultando em maior consumo de energia. Por outro lado, um fator de



espalhamento menor aumenta a taxa de transmissão de dados, mas torna o sinal mais suscetível a interferências.

Esta etapa irá determinar as distâncias e, conseqüentemente, a localização dos sensores e a periodicidade da captura de dados. Como estudo de caso será utilizado o *Gateway* localizado na Unijuí, campus Santa Rosa, RS e os sensores de umidade e temperatura do solo da RAK modelo 12035 Ver-A Wisblock Soil Sensor.

A Figura 2 abaixo visa ilustrar o cenário experimental proposto neste artigo. Detalhes físicos da localização do sensor ainda estão sendo estudados. A ilustração representa a localização dos 6 fatores de espalhamento, SF7 a SF12 a partir do posicionamento do Gateway. Já S1, S2 e S3 representam a localização dos sensores de umidade e temperatura do solo.

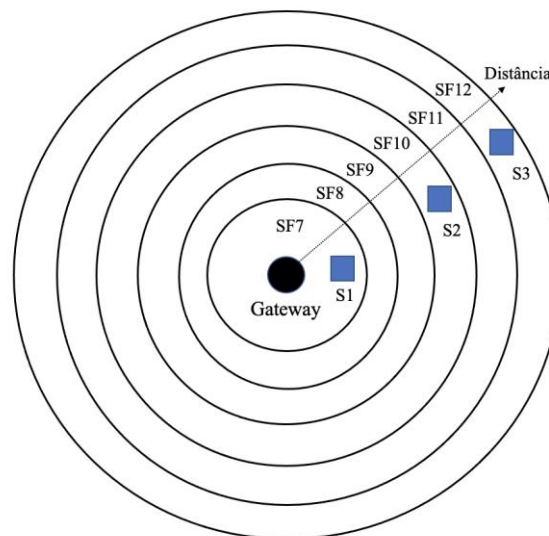


Figura 2: Esquema visual proposto para o campo experimental

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma proposta de cenário real para calcular a perda de pacotes na transmissão de dados em relação à distância entre transmissores (sensores) e receptores (antenas) compatíveis com o protocolo LoRaWan em campo experimental real. A partir da implantação deste cenário (captura, transmissão e armazenamento) é possível criar um dataset de dados com vistas a aplicar modelos matemáticos focados na perda de dados em transmissão de dados. Este estudo possibilita a compreensão da infraestrutura com o objetivo de propor melhorias no posicionamento de sensores e *gateways*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHTON, K. That “Internet of things” thing. **RFID Journal**, v. 22, n 7, p. 97-114, 2009.

AUGUSTIN, A. et al. A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of things. **Sensors**, 16(9):1466, 2016.

BATALLA, J. M. et al. (Ed.). **Beyond the Internet of things: everything interconnected**. Cham: Springer, 2017.

BROCK, D. L. **The electronic product code (EPC): a naming scheme for physical objects**. MIT-AUTOID-WH-002. Cambridge, MA: Auto-ID Center, 2001.

DORNAN, A. **Wireless Communication: o guia essencial de comunicação sem fio**. Editora Campus, Rio de Janeiro. 2001.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007. 1134p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LORATM-ALLIANCE. **LoRaTM-Alliance Technology**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.lora-alliance.org/technology>. Acesso em: Agosto de 2018.

LORATM-ALLIANCE. **LoRaWAN Specification**. V1. N. 2. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.lora-alliance.org/>. Acesso em: Setembro de 2018.

LORATM-ALLIANCE. **LoRaTM-Alliance Technology**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.lora-alliance.org/technology>. Acesso em: Agosto de 2018.

WARET, A. et al. "LoRa Throughput Analysis With Imperfect Spreading Factor Orthogonality," in **IEEE Wireless Communications Letters**, vol. 8, n. 2, p. 408-411, April 2019, doi: 10.1109/LWC.2018.2873705.