

# Análise de Cobertura de Rede de Sensoriamento Sem Fio baseado em LoRa para Prevenção de Desastres Naturais em Cidades Inteligentes

Rodrigo A. Bilobran, Mayksuel Ramalho, Gabriel S. de Oliveira, Nicholas Neves, Rafael Porto, Victor Afonso M. Sobral, Marcos Rezende, Pedro V. G. Castellanos, Dianne S. V. Medeiros

**Resumo**— Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e coleta de dados relevantes e necessários para o diagnóstico antecipado e a consequente prevenção de desastres naturais baseado na arquitetura LoRa. São desenvolvidos um nó sensor, um concentrador e um servidor de rede. O desempenho da comunicação entre o nó sensor e o concentrador é avaliado para estabelecer a área de cobertura. A avaliação é feita em teste de campo, verificando taxa de perda de pacotes, vazão e atraso, variando o fator de espalhamento. Os resultados mostram que o ambiente urbano prejudica o desempenho, limitando a área de cobertura a 250 m no ambiente de teste.

**Palavras-Chave**— LoRa, IoT, Sensoriamento remoto.

**Abstract**— This paper presents the development of a monitoring and collection system of relevant and necessary data for early diagnosis and consequent prevention of natural disasters based on the LoRa architecture. A sensor node, a gateway, and a network server are built. The communication performance between the sensor node and the gateway is evaluated to establish the coverage area. The evaluation is carried out in a field test, checking packet loss rate, throughput, and delay, varying the spreading factor. The results show that the urban environment impairs performance, limiting the coverage area to 250 m in the test environment.

**Keywords**— LoRa, IoT, Remote sensing.

## I. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das grandes cidades brasileiras, principalmente nas encostas de morros e na beira de rios, tem trazido grandes desafios aos gestores públicos. Somente no mês de janeiro de 2024, mais de 100 mil pessoas foram afetadas pelas chuvas no estado do Rio de Janeiro, deixando 27 mil cidadãos desalojados e 12 mortos<sup>1</sup>. No Rio Grande do Sul, a maior tragédia climática da história do estado ocorreu em 2024, deixando mais de 140 mortos e afetando mais de 2 milhões de pessoas<sup>2</sup>. Em 27 de abril de 2024, a região central do estado já sofria com fortes chuvas. O primeiro alerta

Rodrigo Bilobran, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói-RJ; Mayksuel Ramalho, Gabriel de Oliveira, Nicholas Neves, Victor Sobral, Departamento de Engenharia de Telecomunicações (TET), UFF, Niterói-RJ; Marcos Rezende, Defesa Civil de Niterói, Prefeitura Municipal de Niterói, Niterói-RJ; Pedro Castellanos, Dianne Medeiros, TET/PPGEET, UFF, Niterói-RJ; e-mails: {rbilobran, mayksuelramalho, gabrielsampaio, nicholas-neves, rafaelporto, victorafonso, pcastellanos, diannescherly}@id.uff.br, marcosfd.01@gmail.com. Este trabalho foi parcialmente financiado por CNPq, CAPES, FAPERJ, RNP e Prefeitura Municipal de Niterói.

<sup>1</sup><https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/01/24/mais-de-100-mil-pessoas-foam-afetadas-pelas-chuvas-no-rj-em-2024-diz-governo.ghtml>

<sup>2</sup><https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/12/a-cronologia-da-tragedia-no-rio-grande-do-sul.ghtml>

foi gerado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) em 29 de abril de 2024. Em primeiro de maio o estado já estava em situação de calamidade pública. É notável o potencial catastrófico desses incidentes meteorológicos, que causam enormes prejuízos à vida humana nessas regiões. Os modelos de previsão do tempo são utilizados para previsão meteorológica para alguns dias ou semanas no futuro, sendo que a assertividade desses modelos diminui quanto mais longe do presente estiver a previsão. Já os modelos de projeção climática tentam antecipar o clima futuro em uma escala de tempo de anos. A assertividade desses modelos vem melhorando ao longo dos anos, sendo um esforço multidisciplinar que inclui, dentre outras necessidades, a construção de conjuntos de dados a partir da observação e coleta de dados meteorológicos para desenvolver e validar os modelos [1].

Nesse cenário, o sensoriamento remoto e envio de informações em tempo real ajudam a agilizar a coleta de dados para construção dos conjuntos de dados. No contexto da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é possível construir sensores para monitoramento remoto, permitindo a obtenção de dados em quantidade e qualidade para possibilitar uma efetiva tomada de decisão e prevenção de catástrofes. Os sensores remotos têm conectividade, sendo capazes de enviar informações para serem armazenadas em servidores. Esses servidores podem ser hospedados localmente ou em uma nuvem. Posteriormente, esses dados podem ser facilmente acessados e usados em diversas aplicações, incluindo o aprimoramento dos modelos climáticos. Juntamente com aplicações em outros campos, como saúde pública, transportes, agricultura, casas inteligentes e segurança, a IoT permite tornar as cidades mais inteligentes. Dessa maneira, a gestão de cidades inteligentes é baseada em dados de monitoramento reais e atualizados, sem dependência humana na alimentação dos bancos de dados [2].

Diversos trabalhos propõem sistemas de monitoramento de variáveis ambientais utilizando sensores remotos com capacidade de comunicação [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Alguns desses trabalhos focam em apresentar o protótipo construído e avaliar o alcance da transmissão [3], [4], [5], [6], enquanto outros avaliam o desempenho da comunicação [7], [8], [9]. Nenhum desses trabalhos desenvolve um sistema de monitoramento remoto visando a prevenção de desastres naturais. Diferentemente, este artigo propõe o desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio baseada em LoRa para monitoramento e coleta de dados relevantes para o diagnóstico antecipado e consequente prevenção de desastres naturais, como

enchentes e deslizamentos. Os protótipos são desenvolvidos e os experimentos são realizados em um ambiente urbano, na cidade de Niterói, Rio de Janeiro.

O restante deste artigo está organizado como segue. A Seção II introduz a tecnologia LoRa e descreve a arquitetura de uma rede LoRa. A Seção III discute trabalhos relacionados. A Seção IV o desenvolvimento do protótipo para a rede de monitoramento. A Seção V apresenta a metodologia utilizada para realização dos testes de campo. A Seção VI discute os resultados obtidos. Por fim, a Seção VII aponta as conclusões e destaca possíveis trabalhos futuros.

## II. REDES DE SENSORES SEM FIO BASEADAS EM LORA

Um dos setores em maior crescimento na IoT são as Redes de Sensores Sem Fio (*Wireless Sensor Networks* - WSNs), que coletam informações do ambiente através de nós sensores, provendo uma interface digital às coisas do mundo real [10]. Os sensores, geralmente posicionados em locais de difícil acesso e sem fonte de energia disponível, devem consumir pouca energia como requisito fundamental. Visando uma economia na implantação da WSN, os sensores devem ter o maior alcance possível, evitando a implementação de esquemas de comunicação com múltiplos saltos. Para aliar o baixo consumo energético e o longo alcance, várias tecnologias de redes LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) estão surgindo, como LoRa, SIGFOX e NB-IOT [11]. Comparada as demais tecnologias, LoRa pode prover menor consumo de potência e maior distância de comunicação, chegando a alcançar até 15 km de cobertura em linha de visada [3], [5].

LoRa é um formato de modulação de camada física proprietário da Semtech baseado na técnica CSS (*Chirp Spread Spectrum*), provendo baixo consumo de energia, longa distância de comunicação e sensibilidade de até  $-140$  dBm [3]. LoRa usa uma faixa de frequências não licenciada, reduzindo custo de construção e implementação. O CSS consiste no uso de uma faixa ampla linear de frequência modulada por pulsos curtos (*chirp*) para formar a camada física. O CSS é parametrizado por um fator de espalhamento (*Spread Factor* - SF), que varia de 7 a 12 e altera a taxa de dados. Cada SF permite alcançar distância e taxa de dados diferentes. Quanto maior o SF, mais longo é o *chirp*, reduzindo a taxa de dados e uma menor relação sinal-ruído na recepção para receber os pacotes [4]. Taxas de dados mais altas reduzem a métrica de Tempo no Ar (*Time-on-Air* - ToA), tempo que o sinal precisa para atravessar o caminho entre o transmissor e o receptor. Quando o ToA é reduzido, uma maior quantidade de nós transmitam. Contudo, devido à maior taxa de transmissão, o alcance é reduzido [12].

É fundamental diferenciar o protocolo LoRaWAN e a tecnologia LoRa. As redes de sensores sem fio baseadas em LoRa normalmente implementam na camada física a modulação LoRa e na camada de enlace, o protocolo LoRaWAN. Esse protocolo pertence à subcamada de controle de acesso ao meio do modelo OSI, sendo construída sobre a camada física LoRa. Além disso, a especificação do protocolo LoRaWAN define uma camada de segurança, que utiliza chaves de criptografia simétrica AES em blocos de 128 bits. A arquitetura de uma rede LoRaWAN baseia-se em três elementos, o Dispositivo final (*End-Device* - ED), responsável por coletar as informações

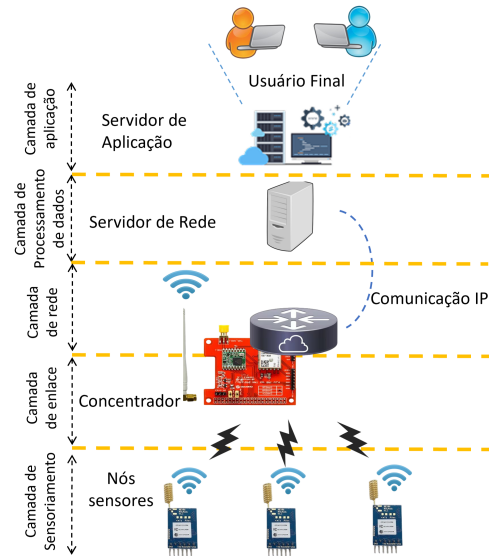


Fig. 1. Arquitetura de uma rede LoRaWAN, base para implementar uma rede LoRa (camada física) para comunicação entre os sensores e o gateway.

do ambiente, o *Gateway*, concentrando a coleta de dados, e o servidor de rede, atuando como coordenador e controlador da rede [4]. O protocolo LoRaWAN é usado para comunicação entre os sensores e o gateway.

A Figura 1 exemplifica a arquitetura básica de uma rede LoRaWAN, dividida em camadas funcionais. A camada de medição é composta pelos sensores (ED), que se comunicam com a camada de enlace composta pelo gateway, que estabelece uma comunicação por meio do protocolo IP com o servidor de rede na camada de *middleware*, responsável por armazenar e prover os dados coletados para os servidores de aplicação na camada de aplicação, acessados pelos usuários. Destaca-se que é possível construir uma rede de sensores sem fio com base nessa arquitetura mesmo sem utilizar o protocolo LoRaWAN. Este artigo utiliza a arquitetura da Figura 1 para construir uma rede LoRa unicamente na camada física para comunicação entre os sensores e o gateway, e disponibilização das informações coletadas em um servidor.

## III. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, diversos autores já desenvolveram trabalhos envolvendo a tecnologia LoRa. Lu desenvolveu uma rede em malha baseada em LoRa para monitorar a temperatura de minas de carvão [3]. Magrin et al. realizaram uma simulação de uma rede LoRa para avaliar o seu desempenho, constatando uma taxa de sucesso na entrega de pacotes de 95% para um gateway servindo aproximadamente 15 mil dispositivos [4]. Palanisamy e Chalapathi construíram um protótipo de sensor remoto com sensores de pH, umidade do solo, temperatura do solo e parâmetros NPK para ajudar os agricultores no monitoramento das plantações e tomada de decisões [5]. Os autores utilizam 5 sensores remotos para avaliar o protótipo. Nenhuma colisão foi observada e não houve perda de pacotes. No entanto, a distância entre os nós sensores e o gateway não foi informada. Mishra et al. também descrevem a arquitetura do sistema baseado em LoRa desenvolvido para monitorar os parâmetros do solo e permitir a supervisão remota pelos

agricultores [6]. Porém, não foram apresentados dados de desempenho de rede.

Jörke et al. realizam uma avaliação do desempenho da tecnologia LoRa em diferentes cenários, obtendo uma taxa de entrega de pacotes de 99% a uma distância de até 4,8 km [7]. Além disso, um modelo de propagação para as frequências de 868 MHz e 433 MHz foi proposto. Maulana e Edward desenvolveram uma rede baseada em LoRa para coletar informações sobre a qualidade do ar em cidades inteligentes [8]. O protótipo foi capaz de transmitir pacotes sem perdas a uma distância de até 111 m e com perda de pacotes de 51,28% a uma distância de 442 m. Radcliffe et al. avaliaram o desempenho da rede LoRa em um ambiente densamente urbano, mostrando uma cobertura de 200 m sem perdas [9].

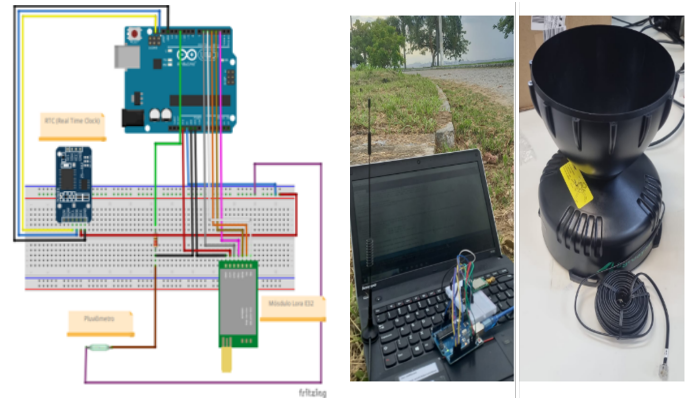
Dentre os trabalhos analisados, apenas três [7], [8], [9] mostram a avaliação de desempenho das redes LoRa em ambientes reais. Além disso, nenhum trabalho tratou do sensoriamento de parâmetros de precipitação em grandes cidades para prevenção de desastres naturais. O principal diferencial deste artigo está no desenvolvimento de protótipos para coleta de dados ambientais para prevenção de desastres naturais em ambiente urbano.

#### IV. SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO

O sistema de monitoramento e coleta de dados para diagnóstico antecipado e prevenção de desastres naturais proposto neste artigo é projetado de acordo com a arquitetura da rede LoraWAN. Sendo assim, os componentes dessa rede podem ser divididos em três entidades: o nó sensor, o nó concentrador (*gateway*) e o nó servidor. Essas entidades são conectadas utilizando uma topologia em estrela, centrada no nó concentrador. Os protótipos desenvolvidos para cada entidade são descritos a seguir. Destaca-se que os protótipos desenvolvidos são genéricos para medição de quaisquer variáveis ambientais, desde que existam sensores compatíveis com a plataforma utilizadas. Ademais, para realizar os experimentos, o sensor utilizado no desenvolvimento foca no caso de uso de medição pluviométrica, sem perda de generalidade.

1) *Nó Sensor*: O sensor pluviométrico é definido com base em características de consumo, resolução, tipo de interface e custo das opções de sensores disponíveis no mercado. Após avaliar essas características, escolhe-se o pluviômetro modelo 6463M da Davis. Para a comunicação, utiliza-se o módulo LoRa E32-TTL100D da EByte. Um módulo RTC modelo DS 3231 é usado para garantir a manutenção do horário configurado. Todos os módulos são integrados a uma plataforma Arduino UNO R3. A Figura 2(a) mostra a interligação dos módulos e a Figura 2(b) mostra o protótipo do nó sensor.

2) *Nó concentrador*: O nó concentrador representa o *gateway* responsável pela coleta de informações dos nós sensores e envio ao servidor de rede. O protótipo do nó concentrador é desenvolvido utilizando um Raspberry Pi 4 Model B com 2 GB de memória RAM e cartão Micro SD de 32 GB para o sistema operacional. Conecta-se um módulo LoRa modelo E32-TTL100D para prover a comunicação com os sensores remotos. A comunicação entre o nó concentrador e o servidor de rede é feita através da porta Ethernet disponível no microcomputador. Não é necessário um módulo RTC externo para



(a) Interligação dos módulos.

(b) Protótipo.

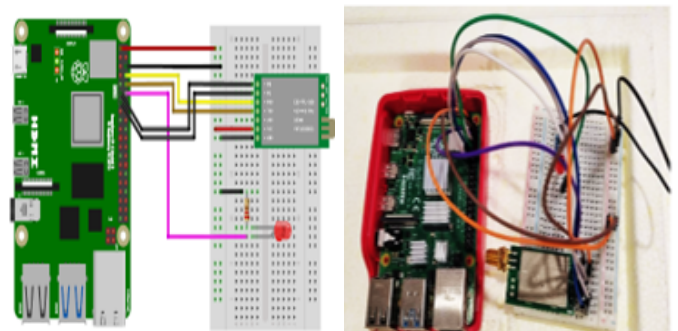
Fig. 2. Arquitetura do nó sensor.

sincronização, porque o microcomputador já possui um RTC embutido. O sistema operacional instalado é o Ubuntu 20.04 LTS para facilitar a utilização de ferramentas de *software* não disponíveis no sistema operacional nativo Raspbian. Os dados são recebidos pelo nó concentrador utilizando um código Python de desenvolvimento próprio. Esse código também é responsável por estabelecer a comunicação com o nó servidor por meio do protocolo MQTT. A Figura 3(a) mostra a interligação do módulo LoRa com o Raspberry Pi. O LED conectado serve apenas para indicação de recebimento de dados. A Figura 3(b) mostra o protótipo construído.

3) *Nó servidor*: responsável pelo recebimento dos dados do nó concentrador e disponibilização das informações para os servidores de aplicação. Esse nó é construído em uma máquina virtual Ubuntu 20.04 que utiliza contêineres para implementação dos serviços necessários. Para tal, utiliza-se Docker, com contêineres para o banco de dados, PostgreSQL, a plataforma IoT, Node-RED e o painel de visualização, Grafana. Os dados obtidos pelo nó sensor instalado na cidade de Niterói é compartilhado com a Prefeitura de Niterói para monitoramento por meio do nó servidor.

#### V. TESTE DE CAMPO

O desempenho da comunicação é avaliado a partir de métricas comuns de qualidade de serviço em redes de co-



(a) Interligação dos módulos.

(b) Protótipo.

Fig. 3. Arquitetura do nó concentrador.

munição de dados: taxa de perda de pacotes, atraso e vazão. A taxa de perda de pacotes,  $PLR$ , é calculada como  $PLR = (N_{tx} - N_{rx})/N_{tx} \times 100\%$ , em que  $N_{tx}$  representa o número de pacotes transmitidos e  $N_{rx}$ , o número de pacotes recebidos. A vazão,  $PThr$ , é o número de bits efetivamente enviados durante um período de tempo de observação  $\Delta t$ . Esse número é representado pela quantidade de bits recebidos com sucesso. Neste artigo, a vazão é medida em termos de quantidade de pacotes e não quantidade de bits, como segue:  $PThr = N_{rx}/\Delta t$ . Por fim, o atraso é o tempo que um pacote leva desde o momento em que é transmitido,  $t_{tx}$ , até o momento em que é recebido,  $t_{rx}$ , o que inclui componentes de atraso de processamento, de fila, de transmissão e de propagação. Na prática, matematicamente o atraso,  $D$ , pode ser calculado como  $D = t_{rx} - t_{tx}$  para cada pacote.

No teste de campo, os nós sensor e concentrador são levados ao ambiente de avaliação, o campus do Gragoatá da Universidade Federal Fluminense, escolhido por ser um ambiente seguro e com linha de visada parcial, com poucos obstáculos. O nó sensor envia dados a uma taxa de aproximadamente 0,9 pacotes por segundo e é posicionado no terraço do bloco H do campus, a uma altura de aproximadamente 25 metros do solo. As medidas são realizadas em pontos fixos e para cada ponto de medição altera-se o SF da modulação. Em cada ponto, são executadas 5 rodadas de medição, durante 30 segundos. O módulo E32-TTL100D da EByte permite alterar os SF entre 7 e 10, não havendo possibilidade de testar SFs 11 e 12. O nó concentrador é posicionado em uma altura de aproximadamente 1,60 metros do solo. As medições são realizadas em pontos pré-selecionados, distantes entre si de 50 metros. A Figura 4 mostra uma visão do ambiente e a Tabela I descreve os principais parâmetros utilizados na medição. Pode-se observar que os nós não possuem linha de visada direta em alguns pontos de medição devido às árvores no ambiente. Além da vegetação, é possível notar pela figura 4 algumas construções no entorno do cenário de medição. No entanto, essas edificações não afetavam a linha de visada direta entre os nós sensor e concentrador.

## VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra os resultados obtidos para a transmissão em termos de taxa de perda de pacotes, vazão medida em



Fig. 4. Ambiente de medições em pontos fixos no campus do Gragoatá da Universidade Federal Fluminense.

TABELA I  
 ESPECIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS PRINCIPAIS UTILIZADOS NA  
 COMUNICAÇÃO ENTRE OS NÓS.

Item	Especificação
Potência de Transmissão	20 dBm
Antena de transmissão	7 dBi
Antena de Recepção	7 dBi
Taxa de transmissão	0,9 pacote/s

pacotes por segundo e atraso entre pacotes recebidos. Na Figura 5(a), observa-se que a taxa de perda de pacotes tende a ser nula, mas há alguma variação dependendo do SF e da distância do ponto de medição. Entre 250 e 300 m observa-se maior perda e maior variação. Consequentemente, a vazão tende a diminuir nos pontos de medição em que há perda e varia mais, como mostra a Figura 5(b). A perda nesses pontos também afeta o atraso na chegada entre pacotes, como mostra a Figura 5(c), visto que quando a taxa de transmissão é constante e um pacote é perdido, a diferença de tempo entre os dois pacotes consecutivos entregues com sucesso é maior. Para a distância de 500 m os resultados mostram-se semelhantes a distâncias menores, indicando que seria possível receber os dados a distâncias ainda maiores, mesmo sob influência de alguns obstáculos como copas de árvores.

Uma observação contraintuitiva é que em alguns pontos de medição, fatores de espalhamento mais elevados, que deveriam alcançar distâncias maiores com desempenho melhor, na verdade apresentam desempenho pior. No ambiente de medição, atribui-se esse fato ao maior tempo no ar da transmissão em SF mais elevado, o que pode aumentar a chance de o sinal sofrer interferência de outras transmissões. O módulo LoRa E32-TTL100D transmite em uma frequência de 433 MHz. No ambiente de medição, uma obra em andamento pode ter influenciado a perda de pacotes em SFs mais elevados devido à interferência pelo uso de *walkie-talkies*. Isso indica que mesmo em distâncias maiores, se houver outros sinais que possam provocar interferência, a aplicação se beneficia do uso de um SF menor por reduzir o tempo no ar. Em relação ao atraso no recebimento de pacotes consecutivos e à vazão, a influência do fator de espalhamento e da distância são mascaradas pela baixa taxa de transmissão utilizada, indicando que a variação no atraso e na vazão devido a esses fatores é desprezível para o tipo de aplicação estudada. A maior influência nessas métricas, no cenário de avaliação é devida à perda de pacotes.

De acordo com as medições realizadas, o melhor fator de espalhamento é o SF7, que mostra resultados mais estáveis à medida que a distância aumenta. Em cenário com perda muito baixa, como em 200 m, o aumento do fator de espalhamento não aumenta a vazão obtida, e a redução no atraso é desprezível, indicando que no cenário avaliado mesmo uma aplicação com baixa vazão não se beneficia do aumento do SF. No teste de campo realizado, a taxa de transmissão de 1 pacote/s equivale a uma taxa em bits de 128 b/s.

Comparativamente, Jörke et al. [7] obtiveram 100% de pacotes recebidos na distância de 4 km em uma cidade na Alemanha. No cenário estudado neste artigo, observa-se uma

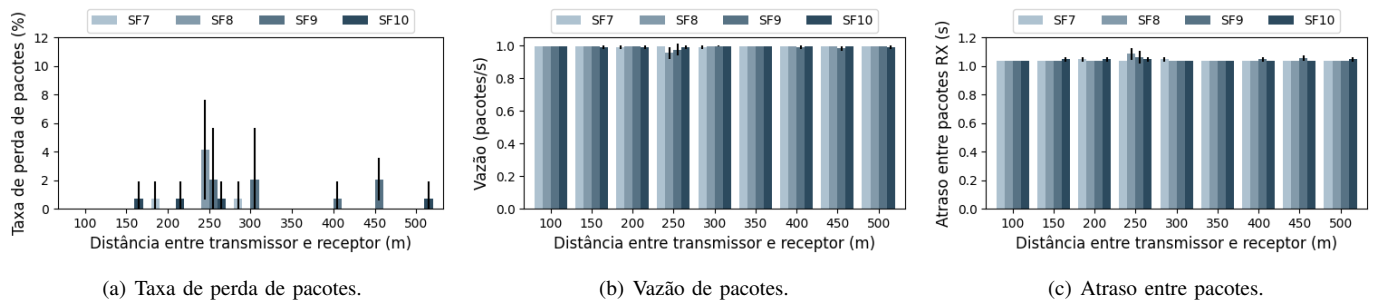


Fig. 5. Desempenho da comunicação entre nó sensor e nó concentrador nos testes de campo.

perda de pacote significativa em 250 m e 300 m, reduzida em distâncias maiores, até 500 m. Isso provavelmente ocorre pelas diferenças do ambiente de medição. Neste artigo, os pontos de medição não estão em linha de visada, apesar de a obstrução ser parcial, diferentemente de Jörke et al., cujos pontos estão em linha de visada. Resultados semelhantes ao deste artigo são encontrados por Maulana e Edward [8] e Radcliffe et al. [9], que encontraram perda nula a 111 m e 200 m respectivamente.

A área de cobertura do sensor remoto para comunicação com um concentrador na rede LoRa em um ambiente urbano, considerando não apenas a recepção do sinal, mas também a recepção bem sucedida dos dados enviados com taxa de perda nula é bem menor comparada a outros ambientes. Os obstáculos no caminho e o tipo de ambiente devem ser levados em consideração no dimensionamento da rede para evitar perda de informações relevantes à prevenção de desastres naturais. Ademais, para alcançar distâncias maiores no ambiente urbano com taxa de perda de pacotes nula ou próxima de 0%, devem ser utilizados protocolos de transmissão confiáveis baseados, por exemplo, em Solicitação de Repetição Automática (*Automatic Repeat Request - ARQ*).

## VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o desenvolvimento de protótipos para a implantação de uma rede baseada na comunicação via LoRa para monitoramento e coleta de dados relevantes para o diagnóstico antecipado e consequente prevenção de desastres naturais, como enchentes e deslizamentos em ambiente urbano. Os protótipos desenvolvidos na plataforma Arduino UNO, usam módulos de comunicação, sincronização e sensoriamento. Testes de campo foram realizados em pontos fixos para avaliar o desempenho da comunicação. Foram extraídas métricas de taxa de perda de pacotes, vazão e atraso entre pacotes recebidos variando o fator de espalhamento da modulação. Os resultados obtidos indicaram que o SF7 apresentou melhor desempenho no sistema, mostrando resultados mais estáveis à medida que a distância aumenta. Além disso, foi possível observar um aumento da taxa de perda de pacotes a partir de 250 metros. Portanto, o alcance da rede LoRa foi afetado pelos obstáculos do ambiente urbano, sendo necessário levar em consideração o tipo de ambiente no cálculo da área de cobertura, evitando perda de informações relevantes para a prevenção de desastres naturais. A rede LoRa construída mostrou-se eficaz para a coleta de informações pluviométricas,

aliando um nível de confiança adequado na transmissão ao baixo custo de implementação para consequente prevenção de desastres naturais nas grandes cidades brasileiras. Como trabalhos futuros, vislumbra-se o desenvolvimento de um protocolo baseado em retransmissão automática para melhorar a taxa de perda de pacotes. Ademais, pretende-se comparar o desempenho de uma rede LoRa baseada em transmissão confiável com o de uma rede LoRaWAN.

## REFERÊNCIAS

- [1] National Research Council, *A national strategy for advancing climate modeling*. National Academies Press, Dec 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.17226/13430>
- [2] N. Kaushik and T. Bagga, "Smart cities using iot," in *2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, 2021, pp. 1–6.
- [3] P. Lu, "Design and implementation of coal mine wireless sensor ad hoc network based on LoRa," in *3rd International Conference on Information Science, Parallel and Distributed Systems (ISPDS)*, 2022, pp. 54–57.
- [4] D. Magrin, M. Centenaro, and L. Vangelista, "Performance evaluation of lora networks in a smart city scenario," in *International Conference on Communications (ICC)*, 2017, pp. 1–7.
- [5] B. P and G. Chalapathi, "LoRa-based wireless sensor network testbed for precision agriculture application," in *International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, 2024, pp. 1–6.
- [6] S. Mishra, S. Nayak, and R. Yadav, "An energy efficient LoRa-based multi-sensor iot network for smart sensor agriculture system," in *Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks*, 2023, pp. 28–31.
- [7] P. Jörke, S. Böcker, F. Liedmann, and C. Wietfeld, "Urban channel models for smart city IoT-networks based on empirical measurements of LoRa-links at 433 and 868 MHz," in *28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2017, pp. 1–6.
- [8] N. Maulana and I. J. Mathews Edward, "IoT-enabled LoRa wireless sensor network for real-time air quality monitoring with geographic information system mapping," in *International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Informations System (ICIMCIS)*, 2023, pp. 387–392.
- [9] P. J. Radcliffe, K. G. Chavez, P. Beckett, J. Spangaro, and C. Jakob, "Usability of LoRaWAN technology in a central business district," in *85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2017, pp. 1–5.
- [10] S. Khriji, Ö. K. Günyeli, D. El Houssaini, and O. Kanoun, "Energy-efficient short-long range communication network combining LoRa and low-power radio for large-scale IoT applications," in *9th International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, 2022, pp. 1–6.
- [11] M. Liya and M. Aswathy, "LoRa technology for internet of things (IoT): a brief survey," in *4th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 2020, pp. 8–13.
- [12] U. Noreen, A. Bounceur, and L. Clavier, "A study of LoRa low power and wide area network technology," in *2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 2017, pp. 1–6.