

Estudo da viabilidade da tecnologia LoRa na telemetria de foguetes e satélites

Felipe Pontes, Nathan de Almeida, Rafael Farias Filho e G. Jerônimo da Silva Jr.

Resumo—Este artigo apresenta um estudo sobre o comportamento de um sistema de comunicação sem fio, baseado no módulo LoRa Ebyte E220-900T30D, aplicado à telemetria de foguetes e satélites suborbitais, utilizados em projetos de extensão da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Testes foram realizados em diferentes tipos de ambientes e com distintos níveis de interferência eletromagnética, na tentativa de simular condições reais de lançamento. Utilizou-se o software Hercules SETUP para recepção e análise dos dados transmitidos. Os resultados demonstram um alcance de até 750 metros mesmo na presença de obstáculos, indicando viabilidade para aplicações aeroespaciais, ainda que a distância seja limitada para tais cenários.

Palavras-Chave—LoRa, telemetria, experimentos, comunicação sem fio.

Abstract—This paper presents a study on the behavior of a wireless communication system based on the LoRa Ebyte E220-900T30D module, applied to telemetry of suborbital rockets and satellites, used in extension projects at the Federal University of Pernambuco (UFPE). Tests were carried out in different types of environments and with varying levels of electromagnetic interference, in an attempt to simulate real launch conditions. The Hercules SETUP software was used for receiving and analyzing the transmitted data. The results demonstrate a range of up to 750 meters even in the presence of obstacles, indicating feasibility for aerospace applications, although the distance is limited for such scenarios.

Keywords—LoRa, telemetry, tests, wireless communication.

I. INTRODUÇÃO

O Asa Branca Aerospace (ASA) é o projeto de extensão com temática aeroespacial da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), voltado ao desenvolvimento de tecnologias nas áreas de drones, foguetes e satélites, com atuação em competições nacionais e internacionais. O grupo é composto por estudantes de engenharia, com orientação de professores, e constitui uma atividade de extensão, com o objetivo de aplicar conhecimentos técnicos em desafios reais do setor aeroespacial. Atualmente, o ASA se prepara para duas importantes competições: a Latin American Space Challenge (LASC) e a Olimpíada Brasileira de Satélites (OBSAT). A LASC é uma das maiores competições de foguetes da América Latina, reunindo equipes universitárias para o lançamento de foguetes experimentais com diferentes níveis de complexidade e altitudes. Já a OBSAT, promovida pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), desafia equipes a desenvolver e operar satélites educacionais com aplicações reais, promovendo o aprendizado multidisciplinar em áreas como eletrônica, sistemas embarcados, telecomunicação e ciências espaciais. Em ambas as competições, um

dos principais requisitos é a implementação de um sistema de telemetria eficiente e confiável, capaz de monitorar variáveis como altitude, atitude, temperatura, pressão, aceleração e a localização do sistema. Para esse propósito, a tecnologia LoRa (*long range*) surge como uma alternativa promissora. Além de permitir comunicações de longo alcance com baixo consumo energético [1], o LoRa se destaca por sua simplicidade de implementação, robustez contra interferência e viabilidade em ambientes com obstáculos ou reflexões intensas [2].

No desenvolvimento de sistemas de telemetria para aplicação no ASA, surgiu a necessidade de avaliar a confiabilidade do rádio transceptor Ebyte E220-900T30D (LoRa). Esse módulo é utilizado como solução temporária, devendo ser substituído posteriormente por um projeto personalizado, desenvolvido especificamente para aplicações aeroespaciais. O uso da tecnologia LoRa tem se mostrado promissora para foguetes amadores e suborbitais [8], bem como para cubesats em órbitas baixas [7]. A escolha do módulo Ebyte para esta etapa inicial deve-se à sua ampla aceitação na comunidade *maker* e ao desempenho satisfatório observado em distâncias de até 10 km em linha de visada [3].

Este artigo apresenta os resultados de experimentos de campo com o rádio transceptor utilizado, avaliando sua comunicação em ambientes com obstáculos e interferências. Os dados obtidos também servirão de base para o desenvolvimento futuro de um sistema de comunicação por rádio frequência (RF), pelo grupo ASA. A Seção II descreve o funcionamento do LoRa e o hardware utilizado; a Seção III detalha a metodologia; a Seção IV apresenta os resultados; e a Seção V discute as conclusões e perspectivas futuras.

II. UM RESUMO SOBRE A TECNOLOGIA LORA

A tecnologia LoRa é baseada na modulação Espalhamento Espectral Chirp (CSS, do inglês *Chirp Spread Spectrum*), que usa como base uma função conhecida como Chirp para realizar um espalhamento espectral [4]. Um dos componentes utilizados na telemetria em projetos do ASA é o módulo comercial LoRa E220-900T30D [5], da fabricante Ebyte, que opera na faixa de 850.125 - 930.125 MHz. Esse módulo é baseado no chip Semtech LLCC68 [6].

Na modulação CCS, uma sequência de SF bits, $[b_0, b_1, \dots, b_{SF-1}]$ é convertida em um símbolo s , em que SF é o fator de espalhamento (coincidentemente). O símbolo s é então modulado utilizando a função Chirp [4].

Além da modulação CCS, os símbolos são organizados em pacotes chamados de *LoRa Frame*, de forma que os dados são organizados por preâmbulo, cabeçalho (ou *header*) e carga (ou *payload*) [6]. Além disso, existe a opção de adicionar um código cíclico, com taxa variável, no cabeçalho e na carga, com o objetivo de validar o recebimento do *LoRa Frame*. No caso da verificação da redundância cíclica (CRC, do inglês *Cyclic Redundancy Check*) falhar, o *LoRa Frame* é descartado, porém, dependendo da aplicação é possível requisitar um reenvio. A Figura 1 mostra o diagrama do *LoRa Frame*.

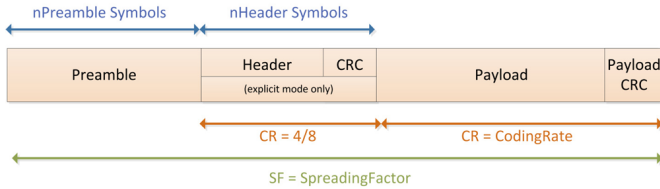


Fig. 1: Organização da estrutura *LoRa Frame*, imagem do manual [6].

A configuração do *LoRa Frame* é gerenciado no dispositivo (chip) por meio de um aplicativo de interface, que nesse caso é o programa da Ebyte [5].

III. METODOLOGIA

Para avaliar o desempenho do módulo LoRa E220-900T30D, foram realizados experimentos em diferentes condições de propagação e distâncias no prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) e no campus da UFPE, incluindo os departamentos de Engenharia Elétrica (DEE), Eletrônica e Sistemas (DES), Matemática (DMAT) e no INTM (Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais). O ambiente foi propositalmente escolhido por apresentar variações estruturais, obstáculos internos, presença de pessoas, veículos e fontes de interferência eletromagnética típicas de cenários urbanos universitários.

Esta seção descreve os dois experimentos conduzidos para avaliar a confiabilidade da comunicação sem fio utilizando o módulo LoRa Ebyte E220-900T30D. Ambos foram realizados em ambientes urbanos do CTG/UFPE, com variações de distância, obstáculos físicos e cenários com e sem linha de visada (LoS/NLoS, do inglês *Line/Non-Line of Sight Channel*). As estações base (transmissora e receptora) foram configuradas com módulos LoRa conectados a sistemas distintos: uma estação utilizava um Arduino Uno para transmissão autônoma, e a outra utilizava um laptop conectado via conversor USB-TTL FTDI FT232R, como mostra a Figura 2.

A comunicação foi monitorada com o software Hercules Setup Utility, que permite envio e recepção de dados via porta serial. Ambas as estações utilizaram antenas omnidirecionais DIYmall 915/868 MHz com ganho de 5 dBi, compatíveis com a frequência de operação dos módulos (915,125 MHz, canal 65). Os módulos LoRa foram configurados no software disponibilizado pela própria fabricante (EByte), no modo normal, que é definido quando os pino M1 e M2 estão em nível lógico baixo (M1 = 0V, M0 = 0V), com o mesmo endereço de rede e canal, operando por interface UART em nível TTL. A seguir, os dois experimentos são detalhados.

A. Experimento 1 (E1)

Neste experimento inicial, os testes buscaram avaliar a taxa de sucesso na recepção de mensagens em diferentes distâncias e condições de propagação. A mensagem transmitida foi composta por 1126 bytes, segmentada em blocos de 70 bytes com delimitadores, e fisicamente empacotada em blocos de até 200 bytes, respeitando o limite do chip LLCC68. A transmissão foi repetida três vezes por fase, e os tempos foram registrados manualmente com base nos logs do terminal serial. Os testes foram organizados em quatro fases com distâncias variando de 5 a 400 metros, incluindo ambientes com paredes internas, desníveis de andares e cenários urbanos externos. Adicionalmente, foram realizadas variações na orientação das

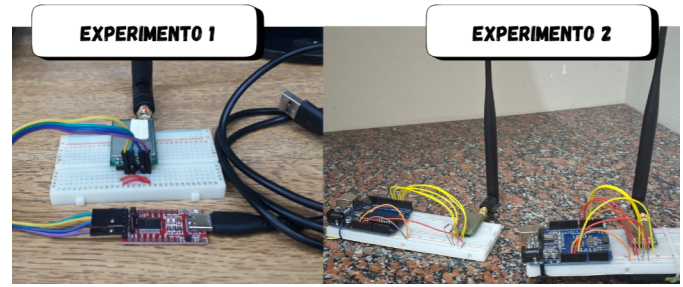


Fig. 2: Materiais utilizados nos Experimentos 1 e 2, respectivamente. No Experimento 1, foi utilizada a mesma configuração para transmissor e receptor, ambos conectados ao computador.

antenas, tanto convergente (frontal) quanto oposta. Também foi avaliada a blindagem eletromagnética, cobrindo a antena transmissora com um objeto cilíndrico de alumínio.

B. Experimento 2 (E2)

O segundo experimento manteve a mesma estrutura básica de hardware, software e topologia de rede do primeiro, mas com duas mudanças fundamentais: (i) a mensagem transmitida passou a ter exatamente 200 bytes enviados a cada 10 segundos, durante um período fixo (2 minutos) de observação em cada fase; e (ii) foi incluída a análise da potência de sinal recebido (NSm), estimada a partir da resposta do receptor.

O E2 repete fisicamente os locais das fases do E1: os testes da 1ª, 2ª e 3ª fases do E2, correspondem, respectivamente, às fases 1, 3 e 4 do E1. A diferença principal está no conteúdo analisado: enquanto o E1 avalia a taxa de recepção e integridade dos pacotes, o E2 adiciona a observação direta da potência média do sinal recebido, permitindo uma visão mais detalhada do comportamento do enlace sob diferentes condições. Outras duas fases adicionais (Fases 4 e 5 do E2) estenderam o alcance dos testes até 750 metros, com obstáculos urbanos, pessoas, árvores e tráfego.

C. Motivações das escolhas metodológicas

A metodologia busca simular cenários reais de uso da tecnologia LoRa em sistemas embarcados de telemetria, como foguetes, cubesats e sensores ambientais. A variação de distância, obstáculos e desníveis teve como objetivo testar a comunicação em situações sem linha de visada (NLoS), comuns em ambientes urbanos e operacionais complexos. Testes com diferentes orientações das antenas simulam desalinhamentos típicos em sistemas móveis. Já a blindagem metálica representa estruturas condutoras reais, como carenagens ou invólucros industriais. Com isso, os dois experimentos permitiram avaliar tanto a taxa de recepção quanto a potência do sinal, fornecendo uma base prática para o uso confiável do LoRa em aplicações críticas de longo alcance.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos nos experimentos de comunicação LoRa realizados em diferentes ambientes do campus da UFPE. Ambos os experimentos avaliaram o impacto da orientação das antenas e do bloqueio físico do sinal por um objeto metálico. Nos testes de orientação, os resultados mostraram que não houve variação significativa no desempenho da comunicação entre as configurações com antenas convergentes e opostas, confirmando o comportamento

esperado das antenas omnidirecionais utilizadas neste estudo. Por outro lado, o teste de bloqueio do sinal, realizado com um cilindro de alumínio cobrindo completamente a antena do transmissor, deixando apenas a base aberta, demonstrou que nenhum sinal foi recebido pelo receptor, mesmo com os dispositivos posicionados próximos entre si. Esse resultado evidencia a alta sensibilidade da comunicação LoRa a blindagens metálicas.

Os resultados dos experimentos podem ser apresentados por fases (locais), conforme ilustrado na Figura 3, com análise dos tempos médios de envio (Δt) do pacote completo e da taxa de recepção dos pacotes (TRP). Como não foi observado erro nos pacotes recebidos em ambos experimentos, a taxa de erro (0%) não foi adicionada aos resultados. A Tabela I resume os dados do E1.

TABELA I: Resultados do E1.

	Distância (m)	Δt (s)	TRP
Fase 1	5	5,02	100%
Fase 2	100	5,56	100%
Fase 3	170	6,43	85,7%
Fase 4	400	7,12	90%

No segundo dia de experimento (E2), as fases 4 e 5 foram realizadas em novas posições geográficas, com mensagens de 200 bytes enviadas a cada 10 segundos durante um período de 2 minutos. Além da TRP e de Δt , foi registrado o nível de potência do sinal médio recebido (NSm), conforme Tabela II.

TABELA II: Resultados do E2.

	Distância (m)	Δt (s)	TRP	NSm (dB)
Fase 1	5	0,409	100%	25.98
Fase 2	170	1,08	91,67%	20.17
Fase 3	400	1,096	50%	18.99
Fase 4	550	1,077	83,33%	19.94
Fase 5	750	1,072	58,33%	19.24

Os resultados do experimento E2 evidenciam que a taxa de recepção de pacotes (TRP) sofreu quedas acentuadas em maiores distâncias, sobretudo nas fases 3 e 5, mesmo com níveis de potência do sinal relativamente próximos aos observados em fases anteriores. Essa discrepância sugere que fatores como desvanecimento do canal, efeitos de multipercurso e interferências típicas do ambiente urbano influenciaram significativamente [3].

V. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a confiabilidade da comunicação LoRa em modo ponto a ponto (P2P), em diferentes cenários do campus da UFPE. Os testes, realizados em distâncias de 5 a 750 metros em um ambiente urbano, caracterizado por numerosos obstáculos e alta interferência eletromagnética, demonstraram um desempenho satisfatório para aplicações de telemetria. Isso reforça o potencial do LoRa como solução viável, de baixo custo e baixo consumo, para telemetria em lançamentos suborbitais experimentais e projetos universitários na área aeroespacial. A taxa média de sucesso nas transmissões foi superior a 85%, com perdas pontuais nas fases 3 e 4 do E1 e nas fases 2, 3, 4 e 5 do E2, atribuídas principalmente à distância, obstáculos físicos e

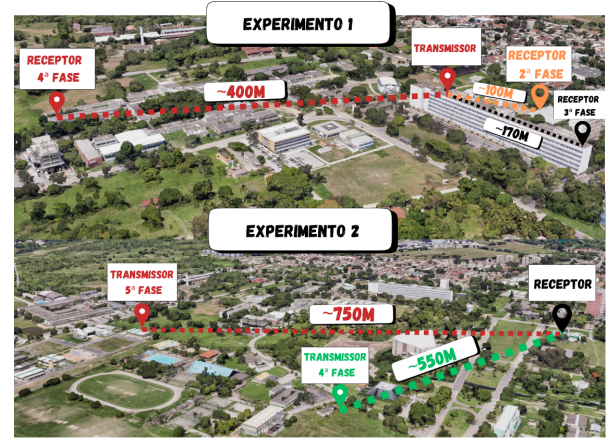


Fig. 3: Fases dos experimentos realizados. No E1, os testes da 1ª fase estão divididos apenas por uma parede.

interferências no canal de comunicação. É importante destacar que os resultados apresentados foram bons mesmo em um ambiente altamente ruidoso e desafiador, ainda não permitem afirmar que o sistema seja plenamente aplicável às exigências de competições aeroespaciais. Essas competições envolvem distâncias superiores a 10 km entre os pontos de comunicação, além de variações abruptas na velocidade e deslocamento dos dispositivos. Ainda assim, os resultados obtidos neste cenário adverso são um forte indicativo de que, em condições mais favoráveis, como ambientes com linha de visada e menor interferência, o sistema poderá atender aos objetivos propostos para a telemetria. Como próximo passo, está planejada a realização de testes chamado Missão ASA na praia, que permitirá avaliar o comportamento da comunicação em condições ideais, com linha de visada direta e distâncias de até 15 km, possibilitando assim uma análise mais conclusiva sobre sua aplicabilidade nas demandas específicas de lançamentos suborbitais.

REFERÊNCIAS

- [1] V. P. Silva Junior, "Conheça a tecnologia LoRa® e o protocolo LoRaWAN™," *Embarcados*, abr. 2016. [Online]. Disponível em: <https://embarcados.com.br/conheca-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan/>
- [2] K. Staniec and M. Kowal, "LoRa Performance under Variable Interference and Heavy-Multipath Conditions," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, pp. 1–12, 2018. DOI: 10.1155/2018/6931083.
- [3] K. Peppas, S. K. Chronopoulos, D. Loukatos, and K. Arvanitis, "New Results for the Error Rate Performance of LoRa Systems over Fading Channels," *Sensors*, vol. 22, no. 9, pp. 3350, 2022. DOI: 10.3390/s22093350.
- [4] A. Maleki, H. A. H. Nguyen, E. Bedeer and Robert Barton, "A Tutorial on Chirp Spread Spectrum Modulation for LoRaWAN: Basics and Key Advances," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 5, pp. 4578-4612, 2024. DOI: 10.1109/OJCOMS.2024.3433502.
- [5] Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., Ltd., "E220-900T30D LoRa Wireless Module User Manual," 2020. [Online]. Available: <https://manuals.plus/pt/ebyte/e220-900t30d-lora-wireless-module-manual>
- [6] Semtech Corporation, "LLCC68: Long Range, Low Power, sub-GHz RF Transceiver," Datasheet, Rev. 1.0, Jul. 2019. [Online]. Available: https://www.mouser.com/pdfDocs/DS_LLCC68_V10-2.pdf
- [7] A. Doroshkin, A. Zadorozhny, O. Kus, V. Prokopyev, and Y. Prokopyev, "Laboratory testing of LoRa modulation for CubeSat radio communications," *MATEC Web of Conferences*, vol. 158, pp. 01008, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201815801008.
- [8] M. U. M. Sallehuddin, N. M. Thamrin, M. H. Azami, and Z. Salleh, "Design and Implementation of a Real-Time Telemetry System for Remote Data Acquisition in Unmanned Vehicle Application," *2025 IEEE International Conference on Robotics and Technologies for Industrial Automation (ROBOTHIA)*, pp. 1–6, 2025. DOI: 10.1109/ROBOTHIA63806.2025.10986419.