

Monitoramento de Resíduos Poluentes com Tecnologia de Comunicação LPWAN

Draylon Vieira Lopes¹, Janine Kniess¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina
Centro de Ciências Tecnológicas - Brasil
draylon.vl@edu.udesc.br, janine.kniess@udesc.br

***Resumo.** Este trabalho apresenta uma solução de Internet das Coisas para monitoramento ambiental, utilizando-se da tecnologia LPWAN/LoRaWAN. Foi realizada uma análise de desempenho com as métricas, perda de pacotes, Razão Sinal-Ruído e Força do Sinal Recebido. Os resultados mostraram a eficiência do LoraWan em relação a sua alta resistência a interrupção de sinal e baixa perda de informação.*

1. Introdução e Motivação

Através da Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* (IoT)) é possível realizar o monitoramento de gases poluentes em diferentes cenários como, cidades, florestas ou indústria. As tecnologias de transmissão presentes na IoT do tipo *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) foram propostas com o foco em economia de bateria dos dispositivos e transmissão dos dados de longo alcance, como por exemplo, LoRaWAN [Bor et al. 2016], Sigfox [RFC 8376 2018] e *Narrowband IoT* NB-IoT [Ratasuk et al. 2016], evitando que pessoas tenham que se deslocar ao local monitorado. Na literatura, pode-se encontrar trabalhos similares ao do escopo deste trabalho, por exemplo, o trabalho de [Gaitán et al. 2022] visa avaliar o desempenho da tecnologia de comunicação LoRaWAN em estuários e zonas costeiras. Avalia-se o alcance da comunicação LoRaWAN através de experimentos e os autores apontam que, a entrega de dados é alta, e a perda de uma transmissão é ocasional. Os autores em [Ali et al. 2019] propõem uma aplicação de monitoramento do ar através de detecção de partículas e resíduos utilizando dispositivos, LoRaWAN e ZigBee, a fim de fornecer dados de temperatura e umidade. O autor conclui que o Zigbee é mais adequado à curtas distâncias, alta densidade de dispositivos e topologia de rede em malha, e o LoRaWAN [Bor et al. 2016] no monitoramento de longo alcance, requerendo uma quantidade menor de dispositivos.

Neste trabalho, apresenta-se um sistema IoT para monitoramento de gases poluentes utilizando a tecnologia de comunicação LoRaWAN [Bor et al. 2016]. O sistema emite alertas quando o nível de resíduos está acima do estabelecido. A tecnologia LoRaWAN [Bor et al. 2016] foi a escolhida, pois possibilita a configuração de redes privadas que não necessitam de assinatura a uma empresa que ofereça o serviço. Uma análise de desempenho foi realizada em relação as métricas, perda de pacotes, Razão Sinal-Ruído e Força do Sinal Recebido. Este artigo está organizado como segue: Na Seção 2, apresenta-se o sistema IoT com dispositivos LoraWAN. Na Seção 3, apresenta-se o ambiente de configuração, os resultados e as conclusões.

2. Sistema para Monitoramento Ambiental LoRaWAN

O sistema proposto possui três módulos: Comunicação LPWAN, Tratamento de dados e Apresentação. A representação gráfica é apresentada na Figura 1. O módulo de

Comunicação LPWAN representa todos os aspectos dos dispositivos LPWAN: micro-controladores e sensores (*end devices*), e de rede LoRaWAN (*gateway*). No módulo de Tratamento de Dados, o componente de Gerenciamento do Sistema é o responsável por receber os dados provenientes do módulo de comunicação LPWAN, retornar à informação ao usuário, autenticar os *end devices* e usuários e armazenar os dados recebidos via o protocolo MQTT [Standard 2024] em um banco de dados. O Módulo de Apresentação concentra as funcionalidades de apresentação dos dados e notificação de alertas.

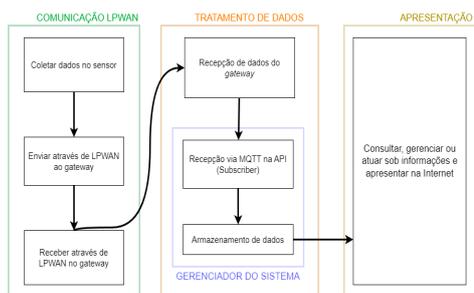


Figura 1. Arquitetura do Sistema.

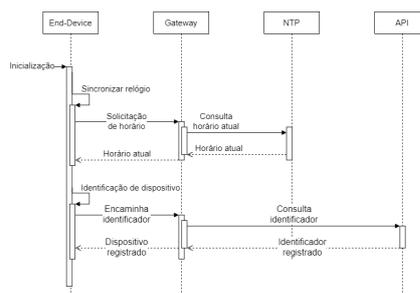


Figura 2. Sincronização de Relógios.

O funcionamento do *end device* é especificado em duas etapas: Inicialmente é feito o pareamento de relógios na rede, seguido de uma confirmação para transmitir dados ao *gateway*, Figura 2. O *end device* envia uma mensagem para o *gateway* de solicitação de sincronização de relógio, que consulta o serviço de sincronização global de relógios como o *Network Time Protocol* (NTP). O módulo de Tratamento de Dados do sistema é composto pelo Broker MQTT [Standard 2024] e uma *Application Program Interface* (API) localizada no Gerenciador do Sistema. Utilizou-se o Broker Mosquitto, logo os tópicos estão definidos conforme este Broker: **Tópico de sensores.** O *gateway* publica os dados de sensores através de um único tópico, no formato: `"/sensors_data/<id_dispositivo>/"`. **Tópicos de configuração.** O *gateway* publica e assina um tópico no formato: `"/lpwan_config/<id_gateway>/"`. **Tópicos de alerta:** A aplicação pode se inscrever em tópicos de alertas de interesse do usuário no formato: `"/alertas/<id_alerta>/"`.

O serviço é disponibilizado pela API via o protocolo HTTP. Outros protocolos podem ser adicionados ao sistema, por exemplo o MQTT ou COAP. No algoritmo de busca da API, utiliza-se o *Geocoding* [Chang 2006], que pega uma descrição textual de um local, como um endereço e o relaciona à posição geográfica, em latitude e longitude. Com isso, o usuário pode buscar uma região através de seu nome. Na ocorrência de um alerta, a API envia uma mensagem através do Broker MQTT, ao tópico designado para a emissão de alertas. Usou-se o MQTT com QoS-1 para assegurar a entrega dos alertas aos usuários. Os alertas, encontram-se pré-definidos no banco de dados da seguinte forma: Se o valor lido for maior que o limite estabelecido, emitir uma notificação ao usuário via Internet e por mensagens do tipo SMS. Os limiares para a emissão de alertas podem ser definidos pelo administrador do sistema com base nas características da aplicação. A implementação do sistema foi disponibilizada via GitHub ¹.

¹https://github.com/draylor/tcc_impl

3. Análise de Desempenho

Experimentos foram realizados no Mirante da cidade de Joinville, uma área de parque com uma grande concentração de árvores (Figura 5). Foram utilizados dois microcontroladores Esp32 com *hardware* LoRa de 915MHz [Heltec Automation 2024]. O *end device* fornece energia e coleta valores do sensor de Co2 do tipo FC-22, formata os dados e os transmite ao *gateway*. O tamanho do pacote é de 13 bytes. O Fator de Espalhamento (*Spreading Factor* - SF) do LoRaWAN foi ajustado em 7 e 12. A aplicação foi implementada na linguagem Node.JS e o banco de dados utilizado é o MongoDB [MongoDB 2024]. O *end device* foi fixado no ponto mais alto do Mirante (a 200 metros do solo) conforme indicado na Figura 5. Variou-se a posição do *gateway* para ampliar a distância em relação ao *end device*.

Quanto a perda de pacotes, (Figura 4), por exemplo, com a distância de 1000 metros e *Spreading Factor* (SF)= 12 a perda foi de 5,68% e com o SF=7 a perda foi de 21,89% (ver Figura 4). Verificou-se que quanto maior o fator de espalhamento, mais tempo o sinal permanece no ar e menor é a perda de dados. Como desvantagem, a consumo de bateria é maior. O fator de espalhamento 7 por outro lado, permite maior conservação de energia nos dispositivos. Na Figura 3, verificou-se que o RSSI variou de -86 dBm a -109 dBm, ou seja, no momento dos testes ocorreram interferências que reduziram a qualidade do sinal, porém a taxa de perda ficou abaixo de 22%. Como resultado, também foi desenvolvido um aplicativo para celular Android com, o *framework* Flutter, o Java e o Dart (Figura 6). A Tela inicial (número 1) exibe dados dos sensores. A Tela 2, as informações do sensor e alertas. Na Tela 3, o usuário pode buscar por uma localidade no formato de texto. A Tela 4 fornece visualização por mapa em um plano bidimensional. Nas Telas 3 e 4 foram implementados recursos para traduzir nomes de locais em coordenadas por *Global Positioning System* (GPS). Além disso, um sistema Web foi desenvolvido (Figura 7). A interface é composta de: i) Página inicial, contendo informações pertinentes a localidade do usuário. ii) Mapa de dados, apresentando dados de sensores e locais geográficos. iii) Ferramenta de busca, responsável por transformar nomes em posições no mapa.

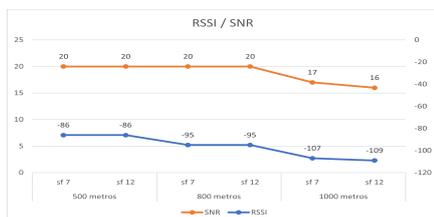


Figura 3. RSSI/SNR

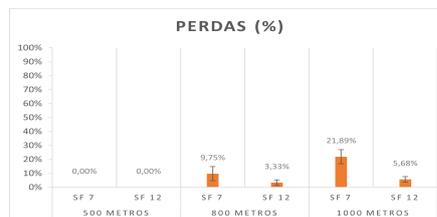


Figura 4. Perdas de Pacote.

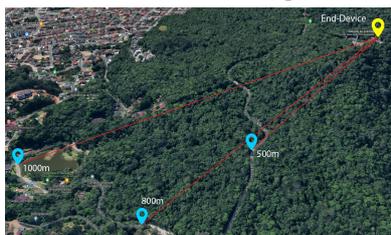


Figura 5. Mapa Cenário.

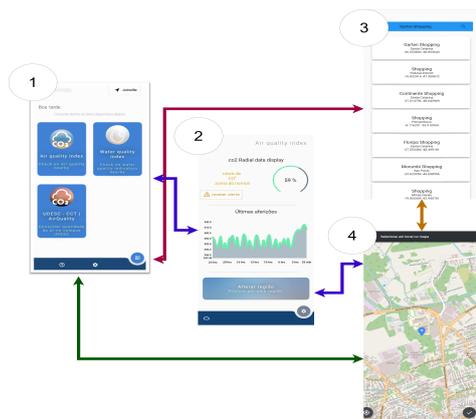


Figura 6. Aplicativo Celular.



Figura 7. Sistema WEB.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Conclui-se que a tecnologia LoRaWAN provê conectividade de longo alcance e baixa perda de pacotes devido a sua alta resistência a interrupção de sinal. No entanto, é crucial avaliar os requisitos de cada caso de uso, pois a tecnologia conta com baixa taxa de transmissão de dados. Como trabalhos futuros, sugere-se comparar os resultados do LoRaWAN com outras tecnologias do tipo LPWAN, avaliando métricas como, consumo de bateria. O sistema Web também pode ser aprimorado quanto a interface, bem como a utilização de novas abordagens de fornecimento de serviço por parte do módulo de gerenciamento do sistema, ou broker.

Referências

- Ali, A. I., Partal, S. Z., Kepke, S., and Partal, H. P. (2019). Zigbee and lora based wireless sensors for smart environment and iot applications. In *2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*, pages 19–23. IEEE.
- Bor, M., Vidler, J., and Roedig, U. (2016). Lora for the internet of things. *EWSN*, pages 361–366.
- Chang, K.-T. (2006). *Introduction to geographic information systems*. McGraw-Hill Higher Education Boston.
- Gaitán, M. G., d’Orey, P. M., Cecílio, J., Rodrigues, M., Santos, P. M., Pinto, L., Oliveira, A., Casimiro, A., and Almeida, L. (2022). Modeling lora communications in estuaries for iot environmental monitoring systems. *IEEE Sensors Journal*, 22(21):21312–21325.
- Heltec Automation (2024). Heltec Automation. <https://heltec.org/>.
- MongoDB, I. (2024). Mongoddb atlas. <https://www.mongodb.com/pt-br>.
- Ratasuk, R., Vejlgard, B., Mangalvedhe, N., and Ghosh, A. (2016). Nb-iot system for m2m communication. In *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 1–5, Doha, Qatar. IEEE.
- RFC 8376 (2018). *Low-Power Wide Area Network (LPWAN) Overview*. [S.I]: Internet Engineering Task Force (IETF). Online.
- Standard, O. (2024). MQ Telemetry Transport (MQTT).