

# Projeto de um Repetidor LoRaWAN de Baixo Custo e Baixo Consumo de Energia

Lucas Maziero, Carlos Barriquello, Tiago B. Marchesan, Filipe G. Carlotto, William. D. Vizzotto  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria, Brasil  
lucas.mazie.ro@hotmail.com

**Resumo**— Neste trabalho, é explanado experimentos e conceitos iniciais relacionados a construção de um repetidor LoRaWAN de baixo custo. Os experimentos iniciais são provas de conceito a fim de validar e verificar a viabilidade de inserção de um repetidor na rede LoRaWAN de comunicação. O experimento foi realizado com dispositivos de Classe A. É mostrado que adicionando um repetidor na rede LoRaWAN tem-se um aumento significativo na taxa de entrega de pacotes e também possibilitando o aumento de cobertura da rede, sem a necessidade de adicionar um novo gateway, assim, mitigando custos, aumentando a robustez e confiabilidade da rede LoRaWAN.

**Palavras chaves**— Baixo custo, LoRa, LoRaWAN, Repetidor, Gateway.

## I. INTRODUÇÃO

O protocolo LoRaWAN foi projetado para Internet das Coisas (IoT), onde os dispositivos geralmente necessitam de um baixo consumo de energia. O protocolo LoRaWAN utiliza a modulação LoRa, o que proporciona um baixo consumo de potência do dispositivo e longo alcance, chegando na ordem de quilômetros (km). Quando se fala em IoT a segurança é um fator indispensável, sendo que esta já vem embutida no protocolo LoRaWAN, ou seja, todos os dados são criptografados de ponta a ponta, assim assegurando a privacidade da informação que trafega pela rede LoRaWAN. O dispositivo final pode ser um sensor, um medidor de consumo de energia elétrica (*smart meter*), hidrômetros, *beacons* e muitos outros.

Nesse trabalho é analisado a proposta de um repetidor LoRaWAN que é inserido entre o dispositivo final e o gateway (concentrador) afim de melhorar o alcance e a qualidade da comunicação LoRa, dessa forma proporcionando a cobertura de áreas onde o sinal chega com baixa potência e também sendo possível estender a rede LoRaWAN sem a necessidade de inserir um novo gateway na rede, sendo o dispositivo mais caro da infraestrutura de comunicação.

### A. LoRa

LoRa é a camada física da rede de longa distância criada pela Semtech. O nome LoRa significa “Long Range” (Longo Alcance). Essa tecnologia sem fio se classifica na categoria LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) tendo grande alcance, baixo consumo e baixo custo [1]. Operando na frequência de 915MHz no Brasil.

### B. LoRaWAN

O LoRaWAN define o protocolo de comunicação e a arquitetura de rede, enquanto a camada física LoRa permite o link de comunicação de longo alcance. O protocolo LoRaWAN também é responsável por gerenciar as frequências de comunicação, taxa de dados e energia para todos os dispositivos de forma individual [2]. Na rede LoRaWAN os dispositivos finais enviam os dados de forma assíncrona para qualquer gateway que esteja na sua área de cobertura. A topologia da rede se baseia num arranjo do tipo estrela, similar a uma rede Wi-Fi ou de telefonia celular. As informações enviadas pelo protocolo LoRaWAN são criptografadas (AES-128), de modo que somente a aplicação final pode ter acesso aos dados. A arquitetura da rede LoRaWAN e mostrada na Figura 1.

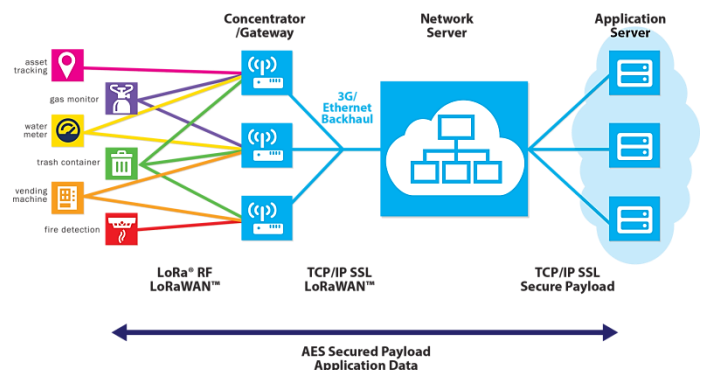


Fig. 1. Arquitetura completa de rede LoRa [3].

Uma das características principais dos dispositivos finais da rede LoRaWAN é a classe na qual eles estão operando. Existem 3 classes e são divididas da seguinte forma:

- **Classe A:** Essa classe deve ser suportada em todos os dispositivos. É a classe mais econômica em energia e somente abre janelas de recepção após seus envios.
- **Classe B:** Dispositivos com eficiência energética intermediária, possui janelas de recepção pré-programadas controladas por sinalizadores (*beacon*) que os gateways enviam periodicamente.
- **Classe C:** Dispositivos constantemente conectados à rede, não tem latência para recepção e apenas não podem receber no momento que estão enviando.

### C. Taxa de dados, fator de espalhamento e largura de banda na rede LoRaWAN

A rede LoRaWAN possui uma taxa de dados na faixa de 0.3 kbps até 50 kbps (com opções de alta velocidade utilizando FSK com uma taxa de 11 kbps a 50 kbps) sendo que a taxa de dados não precisa ser estática, o protocolo LoRaWAN suporta uma taxa de dados adaptativa (ADR) onde o servidor de rede é capaz de gerenciar essa taxa de dados de forma otimizada e individual em cada dispositivo final. A principal diferença da rede LoRaWAN é o *Spreading Factor - SF* (fator de espalhamento), que corresponde ao período que a modulação leva entre cada varredura completa do espectro. Quanto maior o fator de espalhamento, mais lenta é a varredura da largura de banda que está sendo usada. Os valores de SF podem variar de 7 a 12. Já o tempo de transmissão é afetado também pela largura de banda utilizada (*BW - Bandwidth*). A relação entre a *BW* e a taxa de *chips* (menor sinal transmitido em um sistema de comunicação sem fio) na modulação LoRa é de *1 chip* por segundo por Hertz, ou seja, para uma largura de banda de 125 kHz tem-se uma taxa de 125 *kchip/seg* [3].

### D. Segurança e estrutura dos pacotes LoRaWAN

Na LoRaWAN, os dispositivos finais se comunicam com um servidor de rede por meio de um ou mais gateways. O servidor de rede, por sua vez, direciona os dados de cada dispositivo final para o servidor de aplicação que por sua vez gerencia os dados de transmissão. A segurança é fornecida nos níveis de dados e de controle pelas chaves de sessão, *NwkSKey* e *AppSKey*, respectivamente. Cada pacote contém um cabeçalho MAC, sendo que esse cabeçalho é composto por *MAC header*, *Frame counter*, *payload* e *MIC*. Este último é gerado usando a chave *NwkSKey* e garante a integridade do pacote. A estrutura do pacote é mostrada na Figura 2.

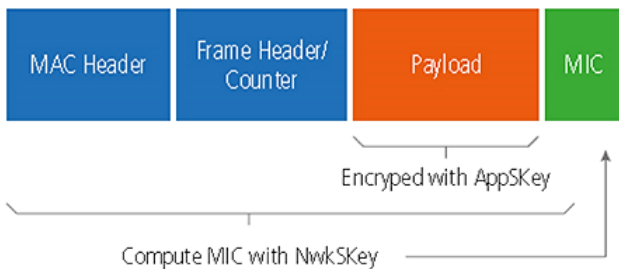


Fig. 2. Estrutura do pacote LoRaWAN.

## II. METODOLOGIA

O projeto do repetidor LoRaWAN leva em conta basicamente dois conceitos: o primeiro que o repetidor seja de baixo custo e o segundo que seja autônomo, ou seja, sem a necessidade de estar conectado diretamente na rede elétrica, isto possibilita seu uso em locais remotos onde a cobertura de sinal é muito baixa. Seu uso descarta a necessidade de adicionar um novo gateway na rede, sendo este um componente de alto

valor agregado e ainda é necessária toda a infraestrutura de rede, como internet no local onde o mesmo for instalado.

### A. Componentes utilizados

Como processador principal foi utilizado a placa Arduino Pro Mini, essa baseia-se no microcontrolador ATmega328P sendo alimentada com 5V e trabalhando a uma velocidade de 16MHz. Este microcontrolador é responsável pela interface com o módulo LoRa RFM95 e execução das lógicas internas do repetidor LoRaWAN.

O módulo de comunicação como já mencionando é o RFM95 que incorpora o modem de espalhamento espectral LoRa (SX1276). O módulo RFM95, opera na frequência de 915MHz, permite ao usuário decidir sobre a largura de banda da modulação (*BW*), fator de espalhamento (*SF*) e taxa de correção de erro (*CR*) [4], os componentes utilizados no projeto são mostrados na Figura 3.

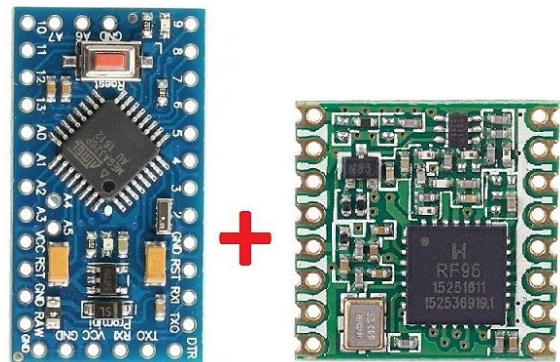


Fig. 3. Arduino Pro Mini e Módulo LoRa RFM95.

### B. Repetidor LoRaWAN

O repetidor é totalmente transparente na rede LoRaWAN, ou seja, os dispositivos finais enviam os dados via protocolo LoRaWAN para o repetidor, que imediatamente retransmite esses dados para o gateway sem ser notado na rede. O repetidor suporta dispositivos Classe A, operando em somente em um canal de frequência. Nos primeiros testes, o dispositivo funcionou sem qualquer inteligência de software agregado, sendo que isso será implementado conforme o projeto for evoluindo. Mas já há acesso ao *MAC header* e *Frame counter* parte do *frame* LoRaWAN onde se encontram informações úteis do dispositivo final, sendo elas: informação de direção dos pacotes (*uplink/downlink*), ID (identificador único do dispositivo final na rede LoRa), contador de pacotes (contador sequencial que serve para verificar se houve perdas de pacotes), *payload* (o *payload* vem criptografado, portando com pouca utilidade), tamanho do *payload*, indicador de potência do sinal recebido do dispositivo final (RSSI) e razão sinal ruído (SNR). Estas variáveis podem ser utilizadas para implementar filtros de pacotes, assim, possibilita melhorias na gestão dos pacotes a serem retransmitidos. O protótipo do repetidor é mostrado na Figura 4.



Fig. 4. Protótipo do repetidor LoRaWAN.

Também foi aferido o consumo de energia gasto pelo repetidor LoRaWAN, sendo que no pico da transmissão (onde o consumo é máximo) tem-se uma corrente de 110mA a 3,3V por um pequeno período de tempo em torno de 2 segundo. Na maior parte do tempo o repetidor fica aguardando a chegada de pacotes LoRaWAN, assim, seu consumo cai para 70mA, podendo ser alimentado por fontes alternativas, como por exemplo um mini painel fotovoltaico.

Por padrão o módulo RFM95 opera no modo de recebimento de pacotes, quando algum pacote LoRaWAN é detectado o módulo RFM95 imediatamente altera seu modo para transmitir o pacote, após o pacote ter sido transmitido o módulo volta para o modo de recebimento de pacotes. A fluxograma de funcionamento do repetidor LoRaWAN e mostrado na Figura 5.

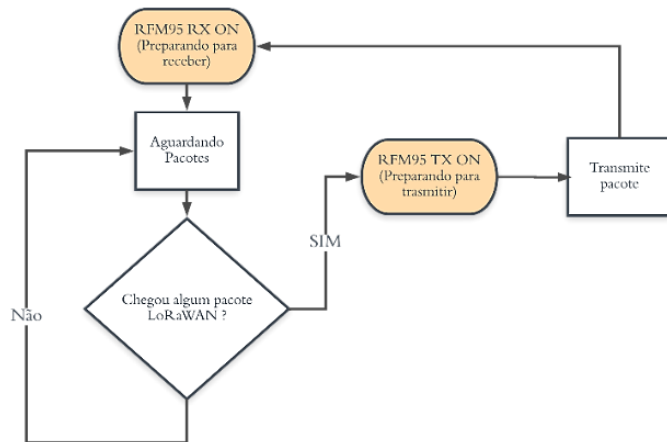


Fig. 5. Fluxograma de funcionamento do repetidor LoRaWAN.

### III. EXPERIMENTO COM REPETIDOR LORAWAN

Foram realizados dois experimentos, sendo um sem a presença do repetidor LoRaWAN e o outro com o repetidor fazendo parte da rede de comunicação.

O primeiro experimento foi realizado sem a presença do repetidor LoRaWAN na rede LoRa sendo que dessa forma o dispositivo final envia diretamente para o gateway, essa é a

forma tradicional de funcionamento da rede LoRa atualmente. Esse primeiro experimento foi executado por aproximadamente 5 horas, com o dispositivo final configurado na frequência de 916.8MHz (CH0 do padrão Australiano) com fator de espalhamento de SF10 (máximo permitido no padrão Australiano) e potência de transmissão TX de 14 dBm, transmitido um pacote de 27 bytes sem confirmação de recebimento (sem ACK), com envios periódicos a cada 15 segundos, simulando intenso tráfego de dados na rede LoRaWAN. Já o dispositivo final foi posicionado em um local estratégico com baixo sinal, assim, causando perdas de pacotes de forma proposital. A estrutura do primeiro experimento é apresentada na Figura 6.



Fig. 6. Estrutura do primeiro experimento (sem repetidor na rede LoRa). Adaptada de [5].

No segundo experimento foi utilizada a mesma infraestrutura e as mesmas configurações do primeiro, mas agora com o repetidor LoRaWAN na rede localizado aproximadamente a metade da distância entre dispositivo final e gateway LoRaWAN. Tais experimentos tiveram a finalidade de descobrir se houve melhorias na taxa de entrega de pacotes para a aplicação final. A estrutura do segundo experimento é mostrada na Figura 7.



Fig. 7. Estrutura do segundo experimento (com repetidor na rede LoRa). Adaptada de [5].

O experimento foi realizado no campus da UFSM, com o dispositivo final dentro do prédio da Agência de Inovação e transferência de tecnologia, afim de atenuar o sinal, sendo que o gateway LoRaWAN está a uma distância de aproximadamente 430m, localizado no prédio da Reitoria da UFSM, nesse trajeto tem-se uma barreira natural (floresta de pinus), o que atenua ainda mais a potência do sinal. A estrutura física do experimento pode ser vista na Figura 8.

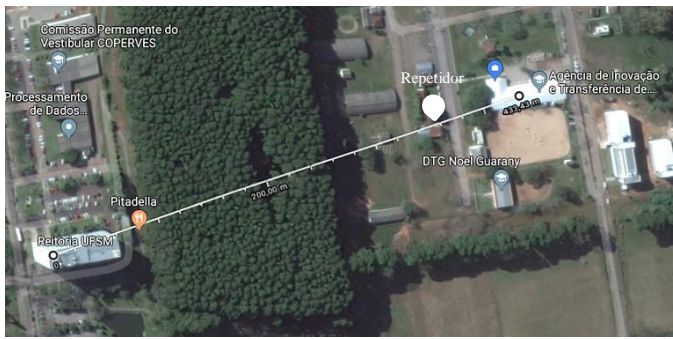


Fig. 8. Estrutura completa do experimento, com dispositivo final e gateway LoRaWAN separados a uma distancia de aproximadamente 430m.

No primeiro experimento percebe-se pelo resultado que sem a presença do repetidor LoRaWAN se atingiu uma taxa de entrega de 91% o que está bem abaixo do esperado. Portanto para aplicações em que haja necessidade de garantia de entrega de pacotes essa taxa se mostra inadequada.

Já no segundo experimento agora com o repetidor LoRaWAN inserido na rede, nota-se uma melhora bem significativa na taxa de entrega que foi de 99%, o que é uma taxa bem melhor que a do primeiro experimento. Os pacotes não entregues, podem ter como possível causa variações climáticas (temperatura, umidade, chuva, etc.) ou até mesmo colisões de pacotes, já que existem vários dispositivos conectados a essa rede espalhados pelo campus. Essa taxa de pacotes não entregues pode ser contornada com algumas técnicas como: compactação, codificação e redundância de pacotes. Os resultados obtidos com e sem a presença do repetido LoRaWAN pode ser visto através do gráfico da Figura 9.

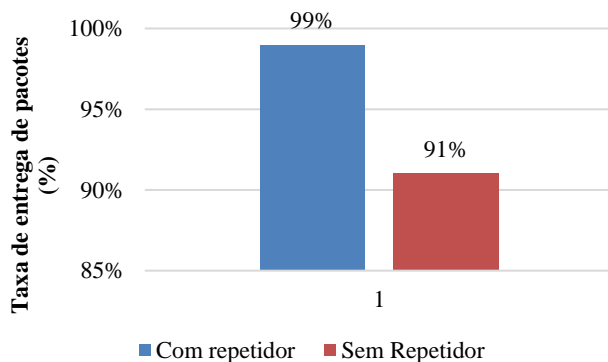


Fig. 9. Taxa de entrega de pacotes, com e sem presença do repetidor LoRaWAN na rede.

#### IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi proposto a inserção de um repetidor LoRaWAN de forma transparente entre o dispositivo final e o gateway, sem a necessidade de alteração ou reconfiguração do dispositivo final. Mostra-se que quando o repetidor é inserido na rede LoRaWAN, a potência do sinal é melhorada, o que resulta em um aumento significativo na taxa de entrega de pacotes. Também há a possibilidade de usar o repetidor para estender a cobertura da rede ou melhorar o sinal em locais com pouca cobertura, sem a necessidade de adicionar um novo gateway na rede LoRaWAN.

Conclui-se, assim, que o repetidor LoRaWAN se mostrou eficiente na sua proposta. Quando comparado com outro trabalho [6] proposto de um repetidor que usa o mesmo receptor do gateway e, portanto, é mais complexo, mais caro e consome mais energia. O repetidor aqui proposto consome em média aproximadamente 70mA e, portanto, pode ser alimentado por bateria por mais tempo ou por fontes alternativas, como um painel fotovoltaico, facilitando a instalação em lugares de difícil acesso e sem acesso à rede de energia.

#### REFERÊNCIAS

- [1] B. Ray, Link Labs. *What is LoRa?*. Disponível em: <https://www.link-labs.com/blog/what-is-lora>
- [2] LoRa Alliance, *LoRaWAN Specification*, 2018.
- [3] Semtech, *LoRa COMMUNITY*, 2018.
- [4] HopeRF. RFM95/96/97/98(W) - Low Power Long Range Transceiver Module V1.0. Acesso: [http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM95\\_96\\_97\\_98W.pdf](http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM95_96_97_98W.pdf)
- [5] Libelium, Libelium Adds LoRaWAN for Full Compatibility with Smart Cities Networks. Figura adaptada pelo autor. Disponível em: <http://www.libelium.com/lorawan-waspote-868-europe-900-915-us-433-mhz-asia-lora>.
- [6] B. Van De Velde and A. Lora, "Multi-hop LoRaWAN: including a forwarding node," pp. 1–8.