

# Gateway WIFI-LoRaWAN para Integração de Medidores Inteligentes de Energia

Vinicius Muller de Freitas\*, Luiz Antonio Rodrigues\* e Marcio Seiji Oyamada\*

\*Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Cascavel-PR, Brasil

Email: [vinicius.muller@gmail.com](mailto:vinicius.muller@gmail.com)

**Abstract**—The Internet of Things has evolved rapidly, adopting new technologies such as Low-Power Wide Area Networks (LPWAN), in particular, the LoRaWAN protocol developed for LoRa modulation. Many smart sensors are equipped with Wi-Fi modules and require an on-site internet connection. However, this is not always possible in rural areas. In this context, using LoRa allows these devices to communicate directly with miles away gateways. Thus, this work proposes a solution to integrate smart energy sensors with Wi-Fi modules into LoRa devices connected to a LoRaWAN network to remotely monitor energy production and consumption in areas without Internet access. The solution presented explores the potential of LoRa/LoRaWAN for remote monitoring, especially in scenarios where transmission time is not critical and the number of connected devices is small. Tests were conducted with smart sensors and the LoRa development boards TTGO and Heltec to analyze the communication performance and message flow in the LoRaWAN network. The results show that this technology can be an efficient alternative for monitoring energy data in remote locations.

**Keywords**—LPWAN; Remote Monitoring; Long Range Communication.

**Resumo**—A Internet das Coisas tem crescido rapidamente, adotando novas tecnologias como as redes de baixa potência e longo alcance (LPWAN), com destaque para o protocolo LoRaWAN, desenvolvido para modulação LoRa. Muitos medidores inteligentes estão equipados com módulos Wi-Fi, exigindo conexão com a internet no local. Porém, em áreas rurais, isso nem sempre é possível. Nesse contexto, o uso de LoRa permite que esses dispositivos se comuniquem diretamente com gateways a quilômetros de distância. Assim, este trabalho propõe uma solução para integrar medidores de energia inteligentes com módulos Wi-Fi a dispositivos LoRa, conectados a uma rede LoRaWAN, para monitorar remotamente a geração e o consumo de energia em áreas sem acesso à internet. A solução apresentada explora o potencial do LoRa/LoRaWAN para monitoramento remoto, especialmente em cenários onde o tempo de transmissão não é crítico e o número de dispositivos conectados é baixo. Foram realizados testes com sensores inteligentes e placas de desenvolvimento LoRa TTGO e Heltec, analisando o desempenho da comunicação e o fluxo de mensagens na rede LoRaWAN. Os resultados indicam que essa tecnologia pode ser uma alternativa eficiente para o monitoramento de dados energéticos em locais remotos.

**Palavras-chave**—LPWAN; Monitoramento remoto; Comunicação de Longo Alcance.

## I. INTRODUÇÃO

A expressão “Internet das Coisas” (IoT, *Internet of Things*) teve origem nos anos 90, inicialmente associada à tecnologia RFID (Identificação por Radiofrequência), mas ao longo do tempo evoluiu para abranger conceitos mais amplos, incluindo redes de sensores sem fio (RSSF) e automação residencial e industrial [1]. Atualmente, esta tecnologia está se tornando cada vez mais prevalente em nosso cotidiano, devido à sua capacidade de estabelecer comunicação com diversos dispositivos físicos equipados com sensores. Essa comunicação possibilita a interação desses dispositivos com a nuvem e entre si [2]. De acordo com uma pesquisa apresentada por [3], espera-se que o número de dispositivos IoT conectados globalmente alcance a marca de 29 bilhões até 2027. Esse crescimento representa uma expansão significativa em relação aos 3,6 bilhões registrados em 2015 e aos 14,4 bilhões em 2022. Esse aumento previsto indica que um número crescente de objetos estará conectado à Internet, permitindo seu controle e monitoramento remoto.

Os dispositivos IoT têm a capacidade de monitorar ambientes, regular a iluminação em residências, gerenciar o consumo de energia em instalações industriais e desempenhar diversas outras funções [4]. A IoT está transformando a maneira como interagimos com o mundo físico, proporcionando maior eficiência e automação em variadas áreas da vida cotidiana e industrial. Um dos tipos de sensores utilizados na IoT são os medidores inteligentes (*smart meters*), dispositivos de grande importância nas redes elétricas inteligentes (*smart grids*), permitindo o monitoramento em tempo real do consumo de energia e o fluxo bidirecional de informações para criar um fornecimento avançado de energia automática e distribuída, como o medidor trifásico Iammeter WEM3080T [5].

No entanto, os dispositivos IoT ainda enfrentam desafios significativos, especialmente em relação às limitações de processamento, consumo de energia e alcance de comunicação [6]. Dentre os protocolos mais amplamente adotados para a comunicação de dispositivos IoT, destacam-se o Wi-Fi e o Bluetooth. O Wi-Fi é notável em contextos onde a alta taxa

de transmissão de dados é crucial, e o consumo energético e o alcance de transmissão não são obstáculos críticos. No entanto, o Wi-Fi apresenta alto consumo energético e alcance relativamente curto, limitando-se a aproximadamente 50 metros. Por outro lado, o Bluetooth possui consumo energético consideravelmente inferior, tornando-o uma escolha favorável para aplicações IoT. Entretanto, o alcance do Bluetooth continua a ser uma limitação, variando de 1 a 250 metros, dependendo da classe do dispositivo [7].

Em termos de protocolos de comunicação utilizados para IoT, a escolha dependerá da camada na arquitetura do sistema pela qual eles trafegarão. A maioria dos protocolos IoT opera na camada de aplicação, que serve como interface entre o usuário e o dispositivo. Alguns dos protocolos utilizados incluem o AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*), que proporciona interoperabilidade entre o *middleware* de mensagens; o DDS (*Data Distribution Service*), um protocolo versátil ponto a ponto; o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), projetado para comunicação leve entre computadores, especialmente útil para conexões de baixa largura de banda com locais remotos; e o Modbus/TCP, derivado do protocolo Modbus utilizado em controladores lógicos programáveis, adaptado para aplicação em arquiteturas com meio físico em dispositivos industriais [8], [9].

Para atender às necessidades de cenários que demandam tanto um alto alcance de transmissão de dados quanto um baixo consumo energético, surgiram as redes LPWAN (*Low-Power Wide Area Network*), que proporcionam uma ampla cobertura de rede, baixa taxa de transmissão e baixo consumo energético, ideal para dispositivos alimentados por baterias [10]. Conforme destacado por [11], as tecnologias LPWAN frequentemente utilizadas incluem Sigfox, LoRa/LoRaWAN e NB-IoT. Dentre essas opções, a tecnologia LoRa (*Long Range*) se destaca tanto pelo baixo custo de investimento quanto pelo alcance, oferecendo uma cobertura de até 8 km em áreas urbanas, superior à da Sigfox [7]. Outra vantagem é o uso do protocolo LoRaWAN para comunicação, que é um protocolo aberto e possui uma largura de banda maior em comparação com outros protocolos LPWAN.

O objetivo deste trabalho foi estudar e desenvolver uma solução viável para a integração entre medidores inteligentes equipados com módulos de comunicação Wi-Fi e dispositivos LoRa conectados por redes LoRaWAN. O propósito é possibilitar o monitoramento remoto de longo alcance em locais onde a infraestrutura de Internet convencional não está disponível. Essa integração visa superar as limitações de alcance e consumo de energia associadas aos módulos Wi-Fi, aproveitando a eficácia do protocolo LoRaWAN para comunicação de longa distância, conectando-se a *gateways* que, por sua vez, facilitam a conexão

com a Internet.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, é feita uma breve introdução aos sensores inteligentes e sua aplicação no contexto de cidades inteligentes, seguida de uma apresentação mais detalhada sobre a tecnologia LoRa e o protocolo LoRaWAN, os principais meios de comunicação para dispositivos IoT, além das soluções de prototipação utilizadas neste trabalho.

### A. Medidores Inteligentes

*Smart meters* ou medidores inteligentes são dispositivos eletrônicos utilizados para a coleta de dados de energia. Por meio deles, é possível obter informações importantes, como consumo de energia, demanda de potência, corrente, tensão e fator de potência, criando assim curvas de consumo em seu histórico. Essa capacidade permite a otimização do auto-consumo no local onde estão instalados [12]. Devido a essa funcionalidade, eles são comumente utilizados nas *smart grids* (redes elétricas inteligentes), desempenhando um papel crucial na coleta, mensuração e análise de dados [13].

O papel dos *smart meters* não se limita às *smart grids*; ele também se estende aos prosumidores de energia elétrica, que são agentes do SEE (Sistema de Energia Elétrica) que, ao mesmo tempo que consomem energia, também a produzem, podendo injetar o excedente gerado na rede de distribuição [14]. Prosumidores dependem fortemente desses medidores, especialmente ao injetarem o excedente de energia gerada na rede. O monitoramento preciso é necessário para garantir conformidade com as regulamentações e para medir a quantidade de energia exportada [15].

Um dos sensores comumente utilizados para aplicações IoT é o sensor Compere KPM37, que é um medidor de energia trifásico capaz de realizar a medição de parâmetros elétricos trifásicos, análise harmônica do 2º ao 31º harmônico e estatísticas temporais. Originalmente, o KPM37 utiliza comunicação via Modbus-RTU com interface RS485, mas também suporta opções de comunicação através de Wi-Fi e 4G, tendo versões com o módulo LoRa incluído [16]. Ele permite o envio de dados em tempo real, permitindo configurar o tempo de envio dos dados, além de dados sobre o consumo de energia diário e mensal. Também é possível configurar ele para enviar sinais alerta caso ele detecte a ocorrência de um evento do tipo SOE. [16]

### B. LoRa e LoRaWAN

A tecnologia LoRa, acrônimo para *Long Range* (do inglês, longo alcance), permite a transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo energético, tornando-se a plataforma sem-fio preferencial para IoT. Desenvolvida pela

Semtech Corporation, a LoRa é promovida pela LoRa Alliance, uma aliança tecnológica sem fins lucrativos da qual a Semtech é membro fundador e patrocinadora do conselho [7], [17].

LoRa utiliza uma técnica de modulação de sinal baseada em espalhamento espectral de *chirps*, derivada da técnica de *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Essa abordagem otimiza o desempenho da rede, permitindo a troca da taxa de transmissão por robustez de sinal [18]. A utilização dessa técnica permite que a tecnologia LoRa tenha um longo alcance de comunicação, mas com baixas taxas de transmissão; a largura de seus canais de transmissão pode variar entre 125 kHz, 250 kHz ou 512 kHz, onde o fator de espalhamento (*Spreading Factor* - SF) é o parâmetro que influencia na largura dos canais de banda, podendo variar de 7 a 12, impactando diretamente no ruído do sinal, na sensibilidade e no alcance. Além disso, é relevante notar que a LoRa utiliza fatores de espalhamento ortogonais, possibilitando a transmissão e recebimento simultâneos, o que contribui para uma maior eficiência na comunicação [18], [19]. No Brasil, as frequências utilizadas seguem o padrão Australiano AU915 (915-928MHz).

A comunicação de dispositivos LoRa pode ser feita com diferentes protocolos. Entretanto, dentre eles há um desenvolvido exclusivamente para o uso da modulação LoRa: o LoRaWAN. Esse protocolo é desenvolvido e mantido pela LoRa Alliance e teve sua versão inicial publicada em Janeiro de 2015 [7], [20].

O protocolo LoRaWAN é implementado por meio de uma topologia em estrela de estrelas, na qual a rede é composta pelos seguintes elementos: dispositivo final (*end devices*), *gateways*, servidor de rede (*Network Server*) e servidor de aplicação (*Application Server*). A Figura 1 ilustra o esquema dessa topologia.

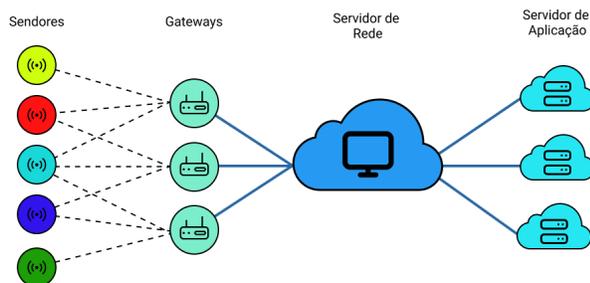


Fig. 1. Topologia LoRaWAN (do Autor).

Os dispositivos finais representam todos os dispositivos, como sensores e atuadores, responsáveis por gerar dados e enviá-los à rede [21]. Esses dispositivos não mantêm uma conexão direta, isto é, a conexão é estabelecida por meio de um *gateway*, que recebe as informações dos dispositivos finais e as

encaminha ao servidor de rede, podendo ter diversos dispositivos conectados, desde que estejam dentro do alcance [7], [18].

O servidor de rede tem um papel de administrar dinamicamente todos os aspectos da rede LoRaWAN, ajustando os parâmetros da rede de maneira flexível para se adequar às condições além de implementar medidas de segurança para garantir uma comunicação segura [18], [21]. Os servidores de aplicação são responsáveis por processar e encaminhar dados os dados para a aplicação dos usuários, é possível ter mais de um servidor de aplicação na rede LoRaWAN [21].

Antes que os dispositivos finais possam enviar mensagens para o servidor de rede eles devem ser registrados. Este processo é chamado de ativação [22]. Para realizar a ativação algumas informações são salvas no dispositivo, sendo elas: [23]

- *End Device Address (DevAddr)*: O endereço do dispositivo final é responsável por identificar o dispositivo dentro da rede atual, sendo composto por 32 bits e alocado pelo servidor de rede.
- *Network Session Key (NwkSKey)*: A chave de sessão da rede é utilizada tanto pelo dispositivo final quanto pelo servidor de rede para garantir e calcular o MIC (*Message Integrity Code* - Código de Integridade da Mensagem) de todos os pacotes (*data frames*), assegurando a integridade dos dados.
- *Application Session Key (AppSKey)*: A chave de sessão de aplicação é empregada pelo dispositivo final e pelo servidor de aplicação para criptografar e descriptografar o conteúdo (*payload*) de pacotes específicos da aplicação.

O processo de ativação de um dispositivo final pode ser realizado de duas formas: através da ativação via OOTA (*Over-The-Air Activation*), na qual os dispositivos executam um processo de entrada na rede, sendo designado a eles um endereço dinâmico, e as chaves de segurança são acordadas; ou através da ativação via ABP (*Activation By Personalization*), na qual tanto o endereço quanto as chaves de segurança do dispositivo são codificadas diretamente nele próprio [22].

### C. The Things Stack

A *The Things Stack* (TTS) é uma solução colaborativa de servidor de rede para redes LoRaWAN, que facilita o envio de dados dos *gateways* para o servidor de aplicação. Trata-se de uma rede baseada em servidores na nuvem que conecta diversos *gateways* espalhados pelo globo. A TTS oferece opções de rede *open source* para usuários comuns, além de opções comerciais para empresas [24]. Nos planos comerciais, ela também disponibiliza soluções para o servidor de aplicação, permitindo que este seja executado tanto em seu próprio sistema em nuvem quanto em um servidor próprio.

A arquitetura da TTS opera por meio de uma estrutura de microsserviços baseada em API, sendo projetada para alta

disponibilidade e confiabilidade. A rede da TTS aloca uma porta para cada protocolo, utilizando o protocolo TLS (*Transport Layer Security*) quando disponível. Isso possibilita que serviços que utilizam o mesmo protocolo possam compartilhar portas. Além disso, a TTS suporta a descoberta de serviços por meio do protocolo DNS (*Domain Name System*), tornando-se útil para a pesquisa de *clusters* por nomes [25].

#### D. MQTT

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) um protocolo de fila de mensagens que atua na camada de aplicação de uma rede. Inicialmente, o protocolo havia sido desenvolvido pelas empresas IBM e Eurotech. Entretanto, em 2014 o MQTT foi adotado e publicado como um padrão oficial da OASIS. Esse protocolo é projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes com largura de banda limitada ou conexões instáveis, sendo particularmente adequado para cenários de comunicação IoT [26].

A comunicação estabelecida pelo MQTT segue o modelo *Publisher/Subscriber*, facilitando o envio de mensagens de um para muitos de maneira assíncrona por meio de eventos de mensagens, a Figura 2 ilustra a topologia do MQTT. O protocolo opera sobre redes TCP/IP, embora também possa ser utilizado com outros protocolos que ofereçam conexões bidirecionais, ordenadas e sem perdas [27]. É importante destacar que não ocorre comunicação direta entre os clientes. Dentre os elementos essenciais do MQTT, destacam-se os clientes, os *brokers*, inscrição e os tópicos.

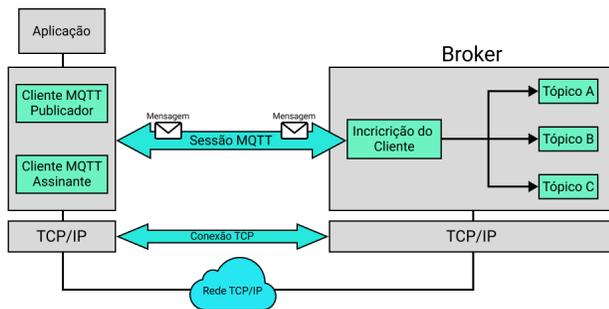


Fig. 2. Topologia MQTT (Adap. [26]).

Existem diferentes formas de se implementar o MQTT, a mais utilizada é o Mosquitto [28], uma solução *open source* para *brokers* MQTT, compatível com as versões 5.0, 3.1.1 e 3.0 do protocolo, sendo mantida pela Eclipse Foundation. Ele possui um baixo custo computacional, sendo adequado tanto para computadores como para dispositivos IoT, podendo até mesmo ser executado em servidores.

O PicoMQTT [29] é uma biblioteca para a implementação do MQTT em dispositivos IoT que utilizam os microcontroladores

ESP32 e ESP8266. Ela possibilita a criação de clientes e de *brokers*, apresentando-se como uma alternativa ao uso de placas como a Raspberry Pi, comumente utilizada na maioria das soluções MQTT [30]. O autor do projeto ressalta que a biblioteca possui algumas limitações, especialmente no que diz respeito à qualidade de serviço (QoS), onde os clientes podem utilizar apenas QoS 0 e 1, enquanto o *broker* utiliza apenas QoS 0 e não suporta assinaturas persistentes, descartando mensagens caso o cliente esteja desconectado.

#### E. The Things Board

A *The Things Board* (TTB), é uma plataforma IoT *open-source* utilizada para coleta de dados, processamento, visualização e gerenciamento de dispositivos. Ela facilita a conexão de dispositivos por meio de protocolos IoT padrão da indústria, como MQTT, CoAP e HTTP, e pode ser utilizado tanto em ambientes de nuvem quanto em instalações locais. A plataforma possui diversas aplicabilidades, sendo uma delas o gerenciamento de energia via IoT, a plataforma proporciona uma solução completa para coletar dados confiáveis e escaláveis de medidores inteligentes e monitores de energia [31].

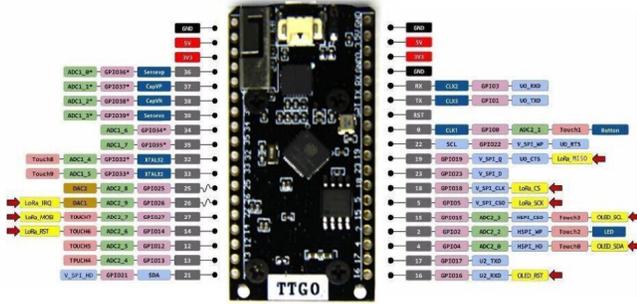
#### F. Soluções de Prototipação

Diversos dispositivos foram desenvolvidos para facilitar a prototipagem de sistemas utilizando a tecnologia LoRa. Geralmente esses dispositivos integram os componentes necessários para estabelecer a comunicação, juntamente com outras tecnologias, como sensores de temperatura e umidade, por exemplo. Dois dispositivos notáveis nesse contexto são a TTGO LoRa32 versão 1.0 e a Heltec ESP32 WiFi LoRa versão 2.0, que possuem uma construção muito parecida [7].

Ambas as placas estão equipadas com o módulo de comunicação LoRa SX1276, permitindo comunicação nas faixas de 868/915 MHz, em conjunto de um *display* OLED (*Organic Light Emitting Diode*) uma memória *Flash* de 8MB e utilizam o chip ESP32 SoC D0WDQ6 para implementação de seu MCU (*Microcontroller Unit*) [32], [33].

A configuração do dispositivo final pode ser realizada utilizando linguagens como C, C++ e Python, em conjuntos dos frameworks Arduino ou Espressif ESP-IDF, dependendo do ambiente utilizado. A implementação da comunicação LoRa é disponibilizada por meio de *firmware*, distribuído na forma de bibliotecas, como a LMIC. A LMIC foi originalmente desenvolvida pela IBM, mas o projeto foi descontinuado e posteriormente assumido pela comunidade, que o disponibilizou como código aberto no GitHub. O papel dela é implementar os protocolos LoRaWAN e *Medium Access Control* (MAC), gerenciar o ambiente de execução e fornecer uma camada de abstração de hardware para os transmissores [34].

TTGO LoRa32 v1



Heltec ESP32 WiFi LoRa v2

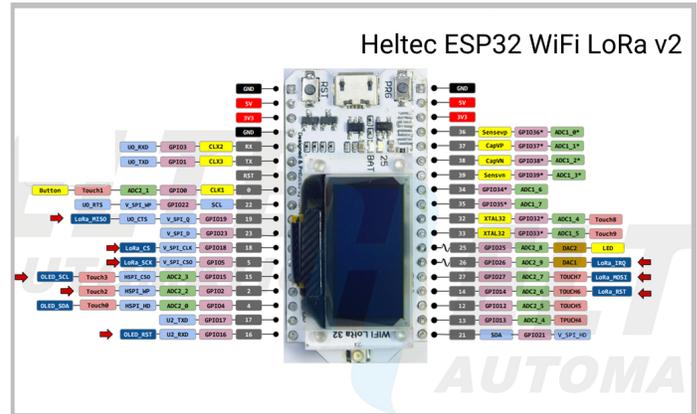


Fig. 3. Comparação as Placas Heltec e TTGO [29].

### III. PROTOTIPAÇÃO

Essa seção visa apresentar as etapas tomadas para construir o protótipo utilizado para a comunicação do *smart-meter* com o *gateway*. O código completo do desenvolvimento do protótipo se encontra em um repositório do GitHub<sup>1</sup>. Para poder realizar o desenvolvimento do protótipo foi utilizado a a IDE (*Integrated Development Environment* - Ambiente de Desenvolvimento Integrado) VSCode<sup>2</sup> juntamente com a extensão PlatformIO<sup>3</sup>, tornando possível trabalhar com as placas de desenvolvimento citadas anteriormente.

Para a realização da comunicação do sensor via LoRa, foi desenvolvido um protótipo em que se tem um único nó (chamado de Transmissor LoRa), responsável por capturar as informações do sensor via MQTT e então envia-las via LoRa até o *gateway*. A Figura 4 ilustra como a comunicação é estabelecida. Ele tem como objetivo ser uma implementação mais simples e econômica, voltado para cenários que não se possui um grande numero de sensores ou a necessidade de um maior gerenciamento das mensagens.



Fig. 4. Protótipo para comunicação LoRa (do Autor).

<sup>1</sup><https://github.com/Bytelost/Smart-Meters-Using-LoRa>

<sup>2</sup><https://code.visualstudio.com/>

<sup>3</sup><https://platformio.org/>

A implementação do nó foi feita utilizando uma placa ESP32, mais especificamente o modelo Heltec ESP32 WiFi LoRa v2, apresentada na Seção II-F. Os modelos de placa ESP32 não possuem suporte para comunicação via MQTT, para solucionar esse problema foi utilizado a biblioteca PicoMQTT, visto na Seção II-D.

Assim que as mensagens do sensor chegam, elas são armazenadas em uma estrutura de fila de dados, dessa forma será garantido que as mensagens possam ser processadas na mesma ordem em que chegaram. Para evitar que as mensagens armazenadas excedam o limite máximo de memória da placa, o sensor foi configurado para enviá-las a cada cinco minutos. Dessa forma, a placa consegue processar e transmitir as mensagens sem o risco de ultrapassar o limite da memória.

Para implementar a transmissão das mensagens via LoRa, foi utilizada a biblioteca LMIC. Com a biblioteca instalada foi possível configurar o transmissor LoRa para que ele mande as mensagens para o *gateway*. O modo de ativação escolhido para poder enviar as mensagens até a *gateway* foi a ABP (*Activation By Personalization*), por ser uma forma de ativação mais simples e não apresentar diferença no desempenho da comunicação quando comparada com a OTAA (*Over The Air Activation*).

### IV. INTEGRAÇÃO COM A THE THINGS STACK

A fim de poder visualizar os dados que estão sendo enviados até a TTS foi buscado por uma plataforma que permita a criação de *dashboards* para poder realizar a visualização dos dados. Dessa forma a plataforma escolhida foi a da *The Things Board* (TTB), apresentada na Seção II-E Inicialmente, para a integração pudesse ser realizada foi preciso criar um *payload formatter* para que os dados recebidos pela TTN, que são recebidos de forma binária, pudessem ser enviados para a

TTB. Com os dados devidamente tratados, foi possível iniciar a integração, a *The Things Board* disponibiliza diversas formas de integração, permitindo que outras plataformas possam enviar dados. A forma escolhida foi a via MQTT, que é suportada em ambas as plataformas, além de permitir especificar de qual dispositivo ou aplicação os dados serão recebidos.

Assim que os dados chegam a TTB é necessário fazer uma filtragem, visto que quando a TTN envia os dados o *payload* contém não só os dados recebidos, mas todas as informações a respeito do dispositivo e do *gateway* utilizado. Com os dados devidamente filtrados é possível associar os dados a um dispositivo da TTB, permitindo que eles possam ser visualizados em um *dashboard*

### V. CENÁRIO DE TESTES

A fim de averiguar se a integração do protótipo desenvolvido com o sensor inteligente Compere KPM37, apresentado na Seção II-A, o sensor e o protótipo foram instalados a um painel de luz localizado próximo ao ginásio do campus Unioeste-Cascavel, com o objetivo de avaliar o desempenho da comunicação em relação a perda de pacotes transmitido. As mensagens de interesse para os testes ficam são enviadas via MQTT no tópico MQTT\_RT\_Data, onde são enviados oito pacotes contendo as telemetrias do painel de luz.

Uma característica notada é que para que seja possível conectar o sensor ao protótipo foi necessário habilitar a autenticação de clientes do PicoMQTT, além de não ser possível fazer a inscrição no tópico em que o sensor enviava as mensagens, portanto, a inscrição é feita em todos os tópicos e os valores são filtrados manualmente.

A conexão com a rede LoRaWAN foi feita utilizando um *gateway* formado por um *shield* Radioenge Gateway LoRaWAN montado sobre um Raspberry Pi 3, permitindo que seja possível transmitir os dados para o servidor de rede da TTS e encaminha-los para o *dashboard* da TTB. A Figura 5 como foi feita a montagem do *gateway*.

Para poder monitorar os pacotes que chegam a TTS foi utilizado uma integração semelhante a feita para a TTB, com o objetivo de poder visualizar quais pacotes estavam chegando a plataforma. Dessa forma foi utilizado uma das máquinas disponíveis do laboratório do Grupo de Inteligência Aplicada - GIA, para poder fazer esse monitoramento, que ficou monitorando as mensagens do período de 25 de Julho de 2024 até 01 de Agosto de 2024.

Em um segundo cenário, a fim de poder verificar se o protótipo criado pode causar algum congestionamento nos canais de transição foi testado como seria o fluxo de mensagens dentro de uma rede com vários dispositivos. Para poder fazer esse teste foi utilizado o *Dragino One Chanel Gateway* Modelo LG01N, ilustrado na Figura 6, um modelo de *gateway* interno



Fig. 5. Radioenge Gateway LoRaWAN e Raspberry Pi 3 [19].

para uso mais doméstico [35]. A escolha dele para a realização desse teste se deve por ele ser um *gateway* mono canal. Devido a essa característica, foi possível simular um ambiente com grande fluxo de dados, permitindo ter uma noção de como a rede LoRaWAN lidaria com o grande fluxo de dados da aplicação.



Fig. 6. Dragino One Chanel Gateway Modelo LG01N [35].

Por conta da característica do *gateway*, foi preciso fazer uma alteração na função responsável por enviar os dados via LoRa do protótipo para permitir que ele mandasse as mensagens apenas em um canal.

### VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização dos testes descritos na Seção V, foi possível perceber que o modelo testado estava se comunicando apenas em SF menor ou igual a 9 com 125Khz de largura de banda. Isso ocorreu, pois cada SF suporta um limite máximo de *payload* que eles conseguem enviar, onde SF acima de 10 suportam no máximo um *payload* de 64 bytes, limitando o alcance máximo que a comunicação com o sensor poderá ter,

visto que o tamanho médio dos pacotes enviados por ele é de 110 bytes sem considerar o *overhead*.

Um ponto importante que foi notado foi a respeito do *Duty Cycle* (do inglês, Ciclo de Serviço), que representa o tempo necessário que um dispositivo deve esperar para poder enviar outra mensagem. Esse tempo deve ser 90% do tempo necessário para mensagem enviada ser transmitida. No cenário testado, inicialmente as mensagens conseguiam ser enviadas até o *gateway* sem nenhum problema, mesmo com o dispositivo as enviando a cada dez segundo, entretanto assim que um novo dispositivo foi inserido na rede a plataforma da TTN começou a ignorar as mensagens enviadas pelo protótipo. O que se acredita é que como o protótipo não está respeitando o *Duty Cycle* a TTN começou a ignorar as mensagens enviadas por ele.

Outro fator que pode ter causado esse desligamento da transmissão é o *Time on Air* (do inglês, Tempo no Ar), que representa a quantidade de tempo que o pacote ocupa o canal urate a transmissão. Na documentação do protocolo LoRaWAN, este limite é de 400ms, porém dentro do padrão AU915, que é o utilizado no Brasil, os pacotes não possuem um tempo máximo de ocupação do canal. Entretanto, existem regulações que podem o limitar em cada país. A TTN possui uma regulamentação própria, chamada *Fair Access Policy* (do inglês, Política de Acesso Justo), que limita o *uplink* de mensagens para 30 segundos por dia, e 10 mensagens de *downlink* por dia. No período que os testes foram realizados o protótipo consumia mais de 30 segundos diariamente para poder enviar os dados, acredita-se que como não havia competição de outros dispositivos a TTN acabava por ignorar esse limite, porém assim que outro dispositivo foi inserido ela passou a bloquear as mensagens do protótipo já que ele já havia atingido o seu limite.

A análise das mensagens enviadas mostrou que o protótipo não é tolerante a falhas, visto que durante a execução dos testes ele apresentou diversas perdas de pacotes, a Figura 7 apresenta um gráfico mostrando o número total de mensagens enviadas e comparando as que não sofreram perdas de dados com as que sofreram.

Nele é possível ver que das 819 mensagens enviadas, 453 apresentaram alguma perda de dados, ou seja dos oito pacotes que sensor envia alguns foram perdidos durante o envio, e apenas 366 conseguiram ser enviadas sem perdas. Isso mostra que a solução desenvolvida não é recomendada para o monitoramento de dados sensíveis a perdas ou se tem um tempo muito grande para a atualização dos dados.

O teste realizado com o *gateway* Dragino One Channel Gateway, a fim de averiguar se o protótipo desenvolvido poderia sobrecarregar a rede, revelou que, em um ambiente com um grande número de dispositivos LoRa, a plataforma consegue receber apenas o primeiro pacote enviado pelo sensor. Por se

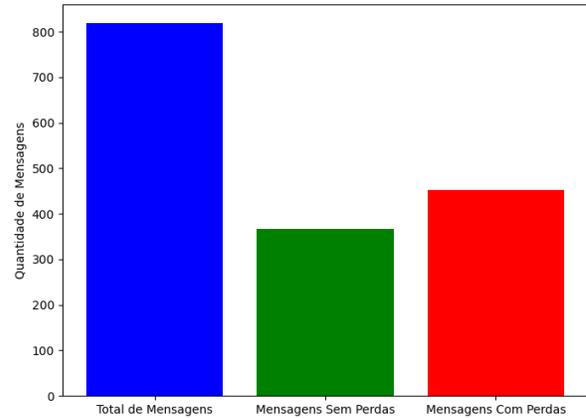


Fig. 7. Comparativo de mensagens enviadas

tratar de um número considerável de mensagens grandes para serem enviadas em um período muito curto, acaba-se inundando o canal e impedindo que as demais mensagens possam ser enviadas. Portanto, o modelo desenvolvido não é adequado para uso em redes públicas com muitos dispositivos, pois poderá impedir que outros dispositivos possam enviar dados, além de necessitar de um tempo de envio muito grande para que o sensor possa enviar todas as suas mensagens.

Os resultados obtidos dos testes mostram que a integração da TTS com a plataforma da TTB pode ser realizada de maneira fácil e intuitiva. Nela foi possível receber os dados do dispositivos via LoRa e encaminhá-los para um dispositivo da TTB. Durante a integração das plataformas, foi testado se integração com a TTB conseguiria lidar com mais de um sensor conectado ao dispositivos LoRa, no teste foi visto a integração só consegue fazer enviar os dados para um único dispositivo da plataforma, por conta disso caso se tenha múltiplos sensores conectados a um dispositivo LoRa será necessário fazer uma integração para cada sensor na TTB.

## VII. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [36] é proposto o desenvolvimento de um sistema de *smart metering* para o Grupo B, que são dispositivos onde periodicamente são abertas janelas de recepção permitindo o *downlink* de mensagens alinhando o seu temporizador interno com o da rede, utilizando o protocolo de comunicação LoRaWAN. São discutidos conceitos relacionados à infraestrutura avançada de medição, medidores inteligentes e os protocolos de comunicação envolvidos. O trabalho inclui a criação de um protótipo capaz de se comunicar com medidores inteligentes,



transmitindo informações por meio de uma rede LoRa, permitindo o corte e o religamento remotos, especialmente em situações de inadimplência ou manutenção de rede. Os resultados do estudo mostraram um desempenho promissor do dispositivo, proporcionando maior controle e eficiência na gestão do consumo de energia elétrica. A análise de cobertura da rede LoRaWAN revelou uma taxa de entrega superior a 90% para 91,67% dos dispositivos, indicando uma boa cobertura nas áreas de implantação e contribuindo para a confiabilidade e estabilidade da comunicação entre dispositivos e Gateways.

No trabalho de [37], aborda-se a capacidade de uma rede LoRaWAN para coletar informações provenientes de medidores inteligentes de energia. O foco recai sobre as necessidades de comunicação em diferentes cenários de medição inteligente, apresentando uma análise dos prós e contras do LoRaWAN. Segundo o trabalho, LoRaWAN tem potencial para atender as demandas de velocidade e latência na maioria dos casos de medição inteligente, como o monitoramento. A topologia estrela-estrela do LoRaWAN é interessante para operadoras de sistemas de distribuição na implementação de medição inteligente. Acordos de *roaming* entre operadoras facilitam a comunicação, reduzindo a sobrecarga administrativa. No entanto, é crucial limitar a carga útil da mensagem e o tamanho da célula para suportar vários nós de medição inteligente, enquanto os *gateways* devem oferecer o máximo de canais adicionais possível. Testes experimentais indicam que o LoRaWAN opera de forma confiável em células pequenas, mesmo em condições desafiadoras de recepção de rádio típicas de casos de uso em medição inteligente.

## VIII. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi estudar e desenvolver uma solução viável para a integração entre medidores inteligentes equipados com módulos de comunicação Wi-Fi e dispositivo LoRa conectados por redes LoraWAN, visando possibilitar o monitoramento remoto de longo alcance em locais onde a infraestrutura de Internet convencional não está disponível.

Diante os resultados obtidos pelos testes realizados, é possível notar que integrar o uso de *smart meters* com comunicação LoRa pode ser adequado em determinados cenários, quando não se tem fácil acesso à Internet. Entretanto, alguns pontos devem ser notados ao utilizar esta integração, como o tamanho dos dados a serem transmitidos, o alcance da comunicação e a quantidade de dispositivos LoRa conectados na rede. Além disso com base nos testes de perdas de dados foi possível averiguar que o uso da tecnologia LoRa pode não ser viável para o monitoramento de dados em que se não pode ter perdas dos dados enviados, já ela sofre bastante interferência do ambiente.

Foi possível identificar que o protótipo desenvolvido apresenta problemas na comunicação do sensor Compere KPM37 com as placas TTGO e Heltec, sendo eles o tempo de envio e a escalabilidade, pois conforme aumenta o número de *smart meters* utilizados, maior será o tempo necessário para que as placas possam enviar os dados via LoRa, dessa forma não sendo viável a sua utilização com um grande número de sensores em cenários que possuem um menor tempo de monitoramento. Adicionalmente, verificou-se que a rede LoRaWAN empregada deve ter um número reduzido de dispositivos conectados ou ser dedicada exclusivamente ao uso de *smart meters*, devido ao congestionamento que se pode ter dentro da rede.

A integração entre a *The Things Network* e a *The Things Board* demonstra uma comunicação eficaz, estável e ágil no envio e recebimento de dados, além de oferecer um gerenciamento simplificado dessa integração. No entanto, é importante observar que a integração tende a ser de um para um, isto é, um dispositivo na TTN envia dados para um dispositivo correspondente na TTB e vice-versa. Esse modelo pode ser um fator limitante em cenários onde múltiplos *smart meters* estão conectados a um único dispositivo LoRa, com cada sensor representando um dispositivo distinto na TTB.

Por fim, é possível afirmar que a solução consegue realizar a integração dos *smart meters* com dispositivos LoRa conectados por redes LoraWAN, entretanto, com alguns fatores limitantes, mostrando-se inviável em determinados cenários que possuem um grande número de sensores e a necessidade de um menor tempo para o envio dos dados, além de não ser uma boa opção quando não se pode ter perda dos dados enviados.

Para trabalhos futuros, pretende-se otimizar o processo de envio das mensagens, tanto na questão de tempo como na de quantidade. Isso exigirá filtrar as mensagens recebidas do sensor, enviando apenas as que são utilizadas na plataforma da TTB. Também pretende-se estudar formas de melhorar a escalabilidade da solução, adicionando um dispositivo intermediário responsável por receber e processar os dados dos sensores, diminuindo a carga do nó de envio. Outra abordagem seria trabalhar com a compressão dos dados enviados, para que eles ocupem menos espaço dos canais de transmissão.

## IX. AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária, pelo financiamento deste projeto de iniciação científica a partir do Programa de Iniciação Científica (PIC - PIBIC).

## REFERÊNCIAS

- [1] B. P. Santos *et al.*, "Internet das coisas: da teoria à prática," 7. ed. *Belo Horizonte: UFMG, 2017. cap. Internet das Coisas: da teoria à prática, p. 1-50.*, 2017.
- [2] A. W. Services, "O que é iot (internet das coisas)?" 2023, acesso em: 30 de jan 2024. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/iot/>

- [3] S. Sinha, “State of iot 2023: Number of connected iot devices growing 16
- [4] L. Foye, “With the internet of things set to near 30 billion devices by 2025, tech giants are facing pressure to address the growing environmental impact their products pose,” 2022, acesso em: 30 de jan 2024. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/37pz8vf4>
- [5] J. Zheng, W. Gao, and L. Lin, “Smart meters in smart grid: An overview,” 04 2013, pp. 57–64.
- [6] J. Loureiro *et al.*, “Redes de sensores sem fio,” *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, vol. 21, 01 2003.
- [7] R. A. da Silva Alcantara, “Estudo de dispositivos lora e proposta de alterações visando redução de consumo em modo deep sleep,” 2022.
- [8] M. Azure, “Tecnologias e protocolos de iot,” 2024, acesso em: 04 de fev 2024. [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/pt-br/solutions/iot/iot-technology-protocols/>
- [9] Altus, “Conhecendo os protocolos modbus tcp, ethernet/ip e profinet,” 2024, acesso em: 04 de fev 2024. [Online]. Available: <https://www.altus.com.br/post/411/conhecendo-os-protocolos-modbus-tcp-2c-ethernet-2fip-e-profinet>
- [10] B. S. Chaudhari, M. Zennaro, and S. Borkar, “Lpwan technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations,” *Future Internet*, vol. 12, no. 3, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1999-5903/12/3/46>
- [11] e. a. M. Saari, “Lora - a survey of recent research trends,” in *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2018 - Proceedings*, ser. 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2018 - Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, pp. 872–877.
- [12] Solfácil, “O que é um smart meter e como pode auxiliar na sua geração de energia solar?” 2024, acesso em: 31 de jan 2024. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/2my76mkj>
- [13] Y. Kabalci, “A survey on smart metering and smart grid communication,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 302–318, 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115014975>
- [14] E. Schneider, “Guia rápido: como falar sobre “prosumidores” energéticos,” 2023, acesso em: 11 Set. 2024. [Online]. Available: <https://blog.se.com/br/gestao-de-energia/prosumer/2023/06/guia-rapido-como-falar-sobre-prosumidores-energeticos/>
- [15] J. R. F. Rampazzo, “Plataforma para monitoramento do consumo e produção de energia elétrica em prosumidores,” 2023.
- [16] Compere, “Kpm37 wireless 4g wifi lora din rail three phase energy meter,” 2024, acesso em: 29 de abr 2024. [Online]. Available: <https://www.comperepower.com/product/kpm37-din-rail-lora-three-phase-energy-meter.html>
- [17] Semtech, “What is lora?” 2023, acesso em: 22 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.semtech.com/lora/what-is-l>
- [18] —, “What are lora® and lorawan®?” 2024, acesso em: 22 de jan 2024. [Online]. Available: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>
- [19] W. C. Faino, “Avaliação prática de comunicação e levantamento dos métodos de segurança de lorawan para coleta de dados de sensores sem fio,” 2022.
- [20] T. T. Network, “What are lora and lorawan?” 2024, acesso em: 22 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>
- [21] —, “Lorawan architecture,” 2024, acesso em: 22 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>
- [22] —, “End device activation,” 2023, acesso em: 27 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/end-device-activation/>
- [23] L. Alliance, *LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification*, 2020.
- [24] T. T. Industries, “The things stack for lorawan,” 2023, acesso em: 29 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsindustries.com/docs/getting-started/the-things-stack-basics/>
- [25] —, “Networking,” 2023, acesso em: 29 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsindustries.com/docs/the-things-stack/concepts/networking/>
- [26] P. R. Egli, “Mqtt – mq telemetry transport,” 2016, acesso em: 25 de jan 2024. [Online]. Available: [https://indigoo.com/petersblog/?page\\_id=2](https://indigoo.com/petersblog/?page_id=2)
- [27] O. Standard, *MQTT Version 5.0*, 2019.
- [28] E. Mosquitto, “Mosquitto mqtt,” 2024, acesso em: 31 de jan 2024. [Online]. Available: <https://mosquitto.org/>
- [29] M. Leśniewski, “Picomqtt,” 2024, acesso em: 27 de set 2023. [Online]. Available: <https://github.com/mlesniew/PicoMQTT>
- [30] J.-L. Aufranc, “Picomqtt – an mqtt client/broker library for esp8266 and esp32,” 2023, acesso em: 29 de jan 2024. [Online]. Available: <https://www.cnx-software.com/2023/04/18/picomqtt-an-mqtt-client-broker-library-for-esp8266-and-esp32/>
- [31] T. T. Board, “The things board,” 2024, acesso em: 29 de abr 2024. [Online]. Available: <https://thingsboard.io/>
- [32] S. Santos, “Esp32 with built-in sx1276 lora and ssd1306 oled display (review),” 2021, acesso em: 29 de jan 2024. [Online]. Available: <https://makeradvisor.com/esp32-sx1276-lora-ssd1306-oled/>
- [33] G. Schorcht, *Heltec WiFi LoRa 32 V2 boards*, 2024.
- [34] A. F. Pastório *et al.*, “Fundamentos de lorawan – teoria e prática,” *Escola Regional Redes de Computadores*, 2021.
- [35] Dragino, “LG01-N – single channel lora iot gateway,” acesso em: 17 Set 2024. [Online]. Available: <https://www.dragino.com/products/lora/item/143-lg01n.html>
- [36] e. a. Flávio Garlet Reck, “Desenvolvimento do sistema de smart metering do grupo b utiliza comunicação pelo protocolo lorawan,” 2020.
- [37] e. a. Joannes I. Laveyne, “Application of lorawan for smart metering: An experimental verification,” 2018.