

Desenvolvimento de sistema de smart metering do Grupo B utilizando comunicação pelo protocolo LoRaWAN

Flávio Garlet Reck * Antônio Mário Kaminski **
 Filipe Gabriel Carloto ** Lucas Maziero **
 Carlos Henrique Barriquello * Daniel Pinheiro Bernardon *
 Tiago Bandeira Marchesan * Paulo Ricardo Marin ***
 Everton Nascimento ***

* *Universidade Federal de Santa Maria, (e-mails: flavio.reck@acad.ufsm.br; barriquello@gedre.ufsm.br; dpbernardon@ufsm.br; tiago@ufsm.br)*

** *Fox IoT, (e-mails: antoniokaminski@foxiot.com.br; filipe@foxiot.com.br; lucasmaziero@foxiot.com.br)*

*** *Mux Energia, (e-mails: pauloricardo@muxenergia.com.br; everton@muxenergia.com.br)*

Abstract: This article addresses the development of a smart metering system for Group B, utilizing communication through the LoRaWAN protocol. Concepts related to Advanced Metering Infrastructure, smart meters, and the employed communication protocols are presented. The work involved the development of a prototype capable of communicating with smart meters, transmitting information over a LoRa network. Additionally, the developed system provides functionality for remote power cut off and reconnect, particularly in cases of non-payment or network maintenance. An analysis of LoRa network coverage was also conducted in the cities where the application was developed, involving approximately 170 devices. The obtained results contribute to the field of smart metering, highlighting the feasibility of employing the LoRaWAN protocol for efficient communication with smart meters.

Resumo: Este artigo aborda o desenvolvimento de um sistema de smart metering para o Grupo B, que utiliza comunicação pelo protocolo LoRaWAN. São apresentados conceitos sobre Advanced Metering Infrastructure, medidores inteligentes e os protocolos de comunicação empregados. O trabalho envolveu o desenvolvimento de um protótipo capaz de se comunicar com medidores inteligentes, transmitindo informações através de uma rede LoRa. Além disso, o sistema desenvolvido prevê a funcionalidade de corte e religamento remotos, especialmente em casos de inadimplência ou de manutenção de rede. Também foi realizada uma análise de cobertura da rede LoRa nas cidades onde a aplicação foi desenvolvida, envolvendo aproximadamente 170 dispositivos. Os resultados obtidos contribuem para o campo de *smart metering*, evidenciando a viabilidade do uso do protocolo LoRaWAN para comunicação eficiente com medidores inteligentes.

Keywords: Smart metering; LoRaWAN; Advanced Metering Infrastructure; Energy management; Network coverage; Power control.

Palavras-chaves: Medição inteligente; LoRaWAN; Infraestrutura de Medição Avançada; Controle de energia; Cobertura de rede; Gerenciamento de energia.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas avançados de medição (AMI) desempenha um papel fundamental na eficiência e no gerenciamento eficaz da distribuição de energia elétrica. Uma das principais vantagens dos sistemas AMI é a capacidade de coletar e transmitir dados de medição em tempo

* O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001 e das empresas Mux Energia e Fox IoT através do projeto de P&D ANEEL PD-00401-0005/2020.

real, permitindo uma monitorização precisa do consumo de energia. Nesse contexto, redes de comunicação de longo alcance, como a tecnologia LoRa (Long Range), em conjunto com o protocolo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), apresentam-se como uma solução promissora. Essas redes oferecem uma cobertura abrangente e uma alta capacidade de transmissão de dados, tornando-se aliadas ideais para o projeto de sistemas de smart metering, como o proposto neste artigo.

Um dos principais desafios enfrentados pelas empresas de distribuição de energia é o corte e o religamento remotos do

fornecimento de energia. Tradicionalmente, essas tarefas exigem o deslocamento de equipes em campo, o que resulta em custos significativos e possíveis atrasos no atendimento aos clientes. No entanto, com a utilização de sistemas AMI e tecnologias de comunicação avançadas, como o LoRaWAN, é possível realizar o corte e o religamento da energia de forma remota e eficiente. Isso proporciona às empresas uma capacidade de resposta mais rápida, reduzindo os custos operacionais e melhorando a satisfação do cliente.

A combinação de sistemas AMI com a tecnologia LoRaWAN e um sistema de corte e o religamento remotos da energia representa um avanço significativo no setor de distribuição de energia, promovendo eficiência, sustentabilidade e melhores serviços aos clientes.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Infraestrutura de Medição Avançada

Derivado do inglês *Advanced Metering Interface* (AMI), a infraestrutura de medição avançada desempenha um papel crucial no desenvolvimento de sistemas de *smart metering* eficientes e confiáveis. A AMI é composta por uma série de componentes interconectados, que possibilitam a coleta, transmissão e processamento de dados de medição em tempo real (Gungor et al., 2011). Dentre os principais componentes da infraestrutura AMI, destacam-se os medidores inteligentes, que são equipados com recursos avançados de medição e comunicação. Esses medidores, por sua vez, são integrados a uma rede de comunicação, como por exemplo redes celulares ou *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), como no caso deste trabalho, que permitem a transmissão de dados a longas distâncias de forma eficiente. Além disso, a infraestrutura AMI inclui sistemas de gerenciamento de dados, que processam e armazenam as informações coletadas pelos medidores, garantindo a integridade e a segurança dos dados. A Figura 1 apresenta a estrutura básica de uma AMI aplicada ao sistema de distribuição.

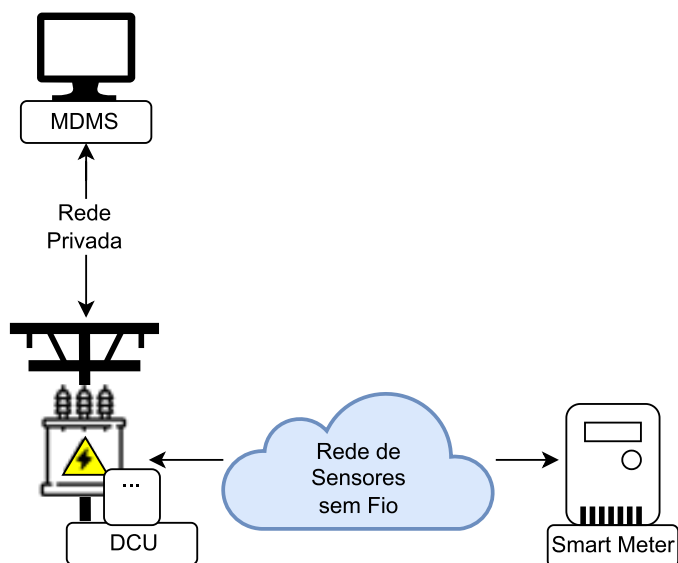


Figura 1. Estrutura de uma AMI (Kim and Jin, 2015).

A efetividade da AMI depende da integração harmoniosa de seus componentes, a fim de garantir a coleta precisa e confiável dos dados de medição. Como principais componentes de uma AMI é possível destacar, de acordo com Jha et al. (2014):

- *Smart Meter*: Os medidores inteligentes desempenham um papel fundamental, pois vão além de simplesmente medir o consumo de energia, atuando como uma valiosa fonte de informações para as concessionárias. Eles fornecem dados não apenas sobre o consumo de energia, mas também sobre diversos parâmetros da rede, como níveis de tensão, corrente, fator de potência, frequência e muito mais. Além disso, esses medidores possuem funcionalidades adicionais, como a capacidade de cortar e religar o fornecimento de energia, bem como armazenar dados na memória interna do dispositivo;
- *Data Concentrator Unit* (DCU): A unidade concentradora de dados desempenha um papel fundamental na *Smart Grid*, recebendo informações dos medidores inteligentes e transmitindo para o centro de comando, garantindo a confiabilidade e integridade dos dados. Ela utiliza dois tipos de comunicação: um de longo alcance e baixa taxa de dados para interagir com os dispositivos de campo, e outro de alta velocidade para se comunicar com a central de controle, possibilitando monitoramento em tempo real e controle eficiente do sistema;
- *Metering Data Management Server* (MDMS): A central de controle da *Smart Grid* desempenha um papel essencial como a interface final entre o usuário e os dispositivos de campo. Sua função principal é receber os dados provenientes do concentrador de dados, armazená-los e apresentá-los ao usuário de forma acessível e compreensível. Além disso, a central de controle também é responsável por receber comandos enviados pelo usuário e encaminhá-los ao concentrador de dados, para que sejam executados nos dispositivos de campo. Em suma, a central de controle é o ponto central de gerenciamento e interação entre o usuário e o sistema da *Smart Grid*, facilitando a troca de informações e comandos para um funcionamento eficiente e adequado.

2.2 Medidores Eletrônicos e seus Protocolos

Medidores eletrônicos desempenham um papel essencial no contexto dos sistemas de medição avançada e *smart meters*. Esses medidores são dispositivos de alta precisão que substituem os tradicionais medidores eletromecânicos, fornecendo recursos avançados de medição e comunicação. Os *smart meters* têm a capacidade de coletar dados de consumo de energia em tempo real e transmiti-los para os sistemas de gerenciamento, permitindo um monitoramento mais eficiente do consumo de energia e uma gestão aprimorada da distribuição.

Dois exemplos de medidores eletrônicos utilizados neste trabalho, compatíveis com essa aplicação são os modelos E450 da empresa Landis+Gyr (Landis+Gyr, 2017) e o modelo NSXi da Nansen (Nansen, 2019). A Figura 2 apresenta o medidor da Landis+Gyr ao lado esquerdo e o medidor da Nansen à direita.



Figura 2. Medidor Landis+Gyr e Nansen NSXI.

Para garantir a interoperabilidade e a comunicação adequada entre os medidores eletrônicos e os sistemas de gerenciamento, diversos protocolos são utilizados. Um dos protocolos amplamente adotados é o padrão brasileiro NBR 14522. Esse protocolo define os requisitos técnicos para a comunicação bidirecional entre os medidores eletrônicos e os sistemas de aquisição e tratamento de dados. A NBR 14522 estabelece os formatos de mensagem, a estrutura de dados e as interfaces de comunicação (ABNT, 2008), promovendo a integração eficiente e confiável dos medidores eletrônicos em sistemas AMI.

Além dele, outros protocolos são amplamente utilizados para a troca de informações entre medidores eletrônicos e sistemas de gerenciamento. O protocolo PIMA, desenvolvido pela COPEL é um exemplo notável, principalmente pela sua simplicidade. O protocolo PIMA define padrões de *payload* para envio de dados de faturamento (COPEL, 2018). Cabe aos fabricantes de medidores a implantação das variáveis, sendo as mais comuns as energias ativa e reativa consumidas

Outro protocolo relevante é o DLMS (Device Language Message Specification) (DLMS, 1997), um padrão internacionalmente reconhecido para a comunicação entre medidores eletrônicos e sistemas de gerenciamento. O DLMS define uma estrutura de mensagem flexível e extensível, permitindo a troca de informações complexas e o suporte a diversos serviços, como leitura de medição, controle de carga e diagnóstico de falhas. Esse protocolo tem sido amplamente adotado em projetos de smart metering ao redor do mundo, proporcionando interoperabilidade entre diferentes fabricantes e garantindo uma comunicação eficiente e confiável.

2.3 Comunicação sem fio de longo alcance

A comunicação sem fio de longo alcance desempenha um papel crucial na implementação de sistemas de AMI e *smart meters*. Uma tecnologia amplamente utilizada nesse contexto são as redes LPWAN, do inglês *Low Power Wide Area Network*. A Figura 3 apresenta um comparativo do alcance e taxa de dados dos principais tipos de rede usada em IoT, com destaque para as redes LPWAN.

Neste trabalho, foi escolhida uma rede LoRa (Long Range), juntamente com o protocolo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Essa combinação oferece uma solução eficiente e escalável para a transmissão de dados de medição em longas distâncias, permitindo a criação de redes de comunicação abrangentes.

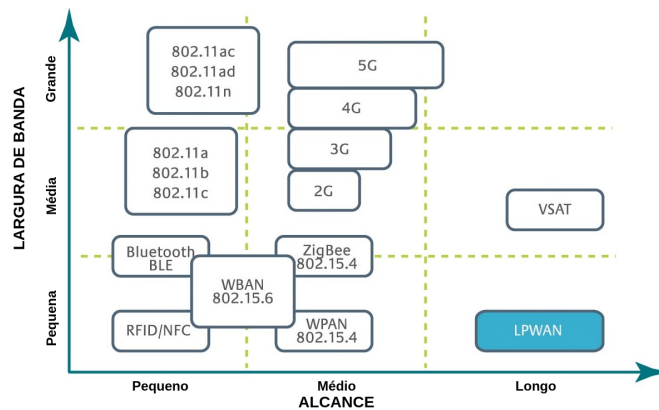


Figura 3. Comparativo de redes de comunicação para IoT (Addvalue, 2020).

A tecnologia LoRa é baseada em modulação de espectro espalhado, que permite uma comunicação de longo alcance com baixo consumo de energia. Essa tecnologia opera em frequências não licenciadas, como a banda ISM (Industrial, Scientific, and Medical), o que facilita sua implementação em diferentes países e regiões. Através da utilização de técnicas de espalhamento espectral, o sinal LoRa possui uma maior resistência a interferências, garantindo uma comunicação confiável mesmo em ambientes urbanos densos (Raza et al., 2017).

O protocolo LoRaWAN, por sua vez, é responsável pela gestão da rede LoRa e define a camada de acesso ao meio e a estrutura de comunicação. Ele permite que os dispositivos, como os smart meters, se comuniquem com *Gateways* LoRaWAN, que atuam como pontes entre os dispositivos e os servidores de rede. O LoRaWAN oferece diferentes classes de dispositivos com diferentes níveis de consumo de energia e capacidades de comunicação, possibilitando uma flexibilidade na implementação dos dispositivos envolvidos. A Figura 4 apresenta a topologia da arquitetura da rede.

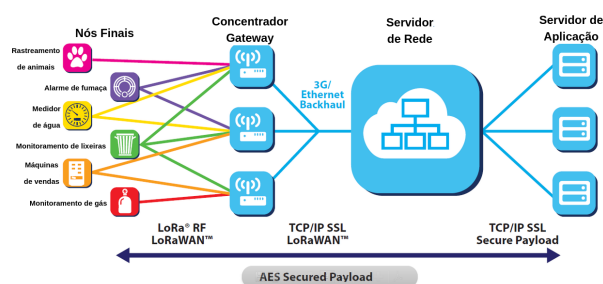


Figura 4. Arquitetura de um sistema LoRaWAN (LoRa- Alliance, 2015).

Uma das principais vantagens do protocolo LoRaWAN é a sua escalabilidade, que permite a conexão de milhares de dispositivos em uma única rede. A combinação da tecnologia LoRa e do protocolo LoRaWAN oferece uma solução eficiente e econômica para a comunicação sem fio de longo alcance em sistemas de smart metering. Essa abordagem permite a cobertura abrangente de áreas geográficas extensas, facilitando a implementação de projetos de medição avançada e fornecendo dados de consumo de energia em tempo real para os sistemas de gerenciamento.

Com a capacidade de alcançar medidores localizados em áreas remotas, a rede LoRa e o protocolo LoRaWAN desempenham um papel fundamental na viabilização de uma infraestrutura de comunicação robusta e confiável para a gestão eficiente da distribuição de energia elétrica.

2.4 Corte e religamento

O corte e o religamento de energia elétrica são procedimentos frequentemente realizados pelas equipes das concessionárias, especialmente em casos de inadimplência ou quando há necessidade de manutenção na rede elétrica. No entanto, essas atividades podem apresentar desafios significativos para as equipes técnicas, principalmente em relação ao tempo de deslocamento da equipe e também expondo-as a riscos e perigos associados ao trabalho em campo (Sarto, 2018).

Um dos principais desafios enfrentados pelas equipes é a exposição a ambientes perigosos durante o processo de corte e religamento. Em alguns casos, as equipes precisam lidar com condições climáticas adversas, como tempestades, que podem aumentar ainda mais o perigo envolvido nessas tarefas.

Em se tratando do lado do consumidor, o principal fator no processo de religamento é o tempo para que a equipe da concessionária venha até a residência para realizar o procedimento, que em muitas vezes acaba se estendendo, podendo gerar incômodos.

Nesse contexto, a implementação de um sistema remoto de corte e religamento de energia desempenha um papel fundamental na mitigação dos riscos enfrentados pelas equipes técnicas. Com a utilização de sistemas avançados de medição, como os smart meters, e tecnologias de comunicação, como uma rede LoRa, é possível realizar essas operações de forma remota, eliminando a necessidade de deslocamento físico dos técnicos até o local.

Ao adotar um sistema remoto, as concessionárias podem reduzir significativamente a exposição dos técnicos às condições ambientais e proporcionar um melhor aproveitamento do tempo de trabalho dos profissionais. Por meio do controle remoto dos smart meters, é possível realizar o corte e o religamento de energia com segurança, sem a necessidade de intervenção presencial. Isso não apenas protege os técnicos, mas também agiliza o processo, permitindo uma resposta mais rápida e eficiente às solicitações de corte ou religamento de energia.

3. RESULTADOS

3.1 Desenvolvimento do equipamento

Foi desenvolvido um equipamento de telemedicação com funcionalidades avançadas para o corte e religamento remoto de energia, permitindo um melhor gerenciamento do fornecimento de energia. Além das características básicas de um equipamento de telemedicação, como a comunicação com o medidor usando os padrões PIMA e a saída de usuário conforme a norma ABNT NBR 14522, este equipamento incorpora duas novas funcionalidades: acionamento de relés e medição de tensão. A Figura 5 exemplifica as funcionalidades do equipamento.

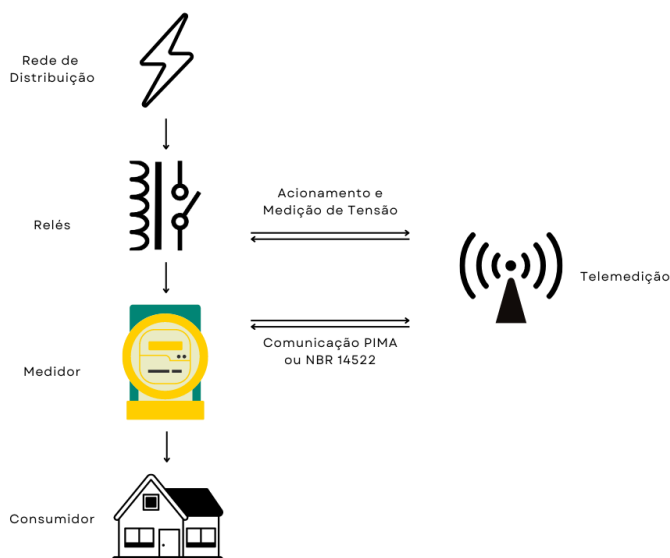


Figura 5. Aplicação de telemedicação com corte e religamento.

Para suprir a falta dessas funcionalidades em medidores convencionais, foi criada uma versão do equipamento com relés, um para cada fase. Os relés utilizados foram os *latching relays*, que possuem uma capacidade de até 120 A, com o acionamento realizado por pulsos de 12 VDC. Essa escolha foi feita devido à confiabilidade de sua capacidade de comutação e sua habilidade de suportar correntes compatíveis com consumidores do grupo B.

O equipamento realiza a comunicação por meio das tecnologias LoRa ou celular LTE, o que possibilita o envio eficiente e confiável dos dados coletados. Essa abordagem permite a integração do equipamento em sistemas de gerenciamento de energia existentes, oferecendo um controle preciso e remoto do corte e religamento do fornecimento de energia.

O desenvolvimento deste equipamento de telemedicação com funcionalidades aprimoradas, como acionamento de relés e medição de tensão, juntamente com a disponibilidade de uma versão com relés para medidores convencionais, representa um avanço significativo na gestão dos usuários da rede de distribuição. Ele proporciona maior eficiência e controle operacional tanto para os prestadores de serviços quanto para os usuários finais.

3.2 Software

Como parte do sistema, para complementar a solução e fazer a integração entre dispositivos e usuários, um *software* distribuído em nuvem foi desenvolvido. Esse sistema é capaz de manipular, armazenar e consultar os dados, transformando-os em informações. A arquitetura do sistema está representada na Figura 6.

O *Gateway* captura os pacotes dos dispositivos e envia para o *Measurement Data Collector* (MDC) via internet utilizando o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). O MDC recebe os dados e os insere em um banco de dados próprio para séries temporais, o que aumenta o desempenho das inserções e das buscas. Essa

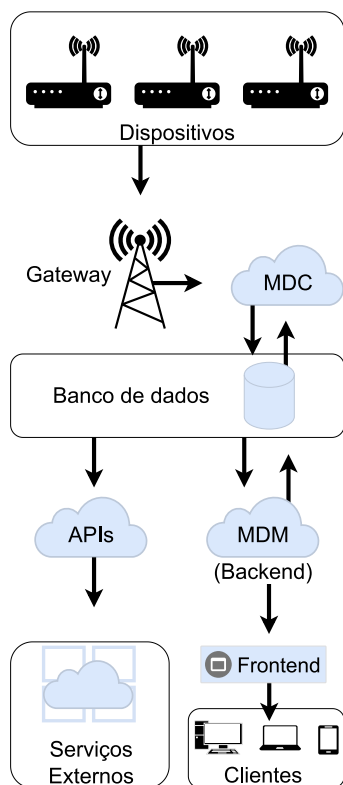


Figura 6. Arquitetura do software.

parte do sistema não pode ser acessada por nenhum outro nó além dos *gateways*.

O *Measurement Data Manager* (MDM) tem como função buscar os dados armazenados pelo MDC e entregá-los aos usuários. Os usuários utilizam o *frontend*, que consiste na interface do sistema, para requisitar os indicadores de qualidade de acordo com as unidades consumidoras e o período de competência. Então, o MDM busca os dados e entrega um arquivo auditável para o usuário.

Os dados também podem ser requisitados por meio de uma *Application Programming Interface* (API), que disponibiliza *endpoints* para o sistema integrado de gestão empresarial (ERP) utilizado pelas concessionárias. Dessa forma, a gestão dos dados fica centralizada e os arquivos auditáveis podem ser enviados automaticamente para a agência reguladora.

3.3 Análise de cobertura da rede LoRa

Com base nos protótipos desenvolvidos, a presente solução foi implantada nas cidades de Tapejara e Ibiacá, localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Um total de 4 *Gateways* (concentradores de dados LoRa, conforme ilustrado na Figura 4), foram instalados para fornecer cobertura de rede nessas cidades. A distribuição dos *Gateways* foi determinada levando em consideração o tamanho das cidades, com 3 deles localizados em Tapejara e 1 em Ibiacá. A escolha de suas localizações foi baseada em estudos de topografia, a fim de identificar as posições mais adequadas.

Ao todo, 168 dispositivos foram empregados para estabelecer a comunicação com medidores eletrônicos em Unidades Consumidoras da Mux Energia, coletando dados e transmitindo-os a cada intervalo de 5 minutos. Inicial-

mente, a comunicação com os medidores ocorre por meio dos protocolos NBR 14522 e PIMA, dependendo do tipo de medidor conectado ao dispositivo.

Para avaliar a extensão da cobertura da rede, foram analisados os índices relacionados à taxa de entrega, que expressa a porcentagem de dados recebidos pelos *Gateways* em relação à quantidade enviada pelos dispositivos.

A Tabela 1 apresenta os resultados da taxa de entrega registrados nos últimos 2 e 7 dias, a partir do momento da análise, com o intuito de minimizar os efeitos de interferências momentâneas que possam ter ocorrido. Essas combinações de períodos são igualmente úteis para examinar o comportamento da rede em diferentes horários e condições climáticas, incluindo dias de chuva e de sol, por exemplo. Os resultados foram positivos, com 91,67% dos dispositivos apresentando uma taxa de entrega superior a 90%.

Tabela 1. Taxas de entrega nos últimos 2 e 7 dias.

Faixa	Taxa 2D	Taxa 7D
100%~90%	91,67%	86,81%
89.9%~70%	6,25%	11,11%
69.9%~50%	0,69%	0,69%
49.9%~30%	1,39%	1,39%
29.9%~0%	0%	0%

Percebe-se que os resultados são muito satisfatórios, e uma análise da localização dos dispositivos indica que a distância até o *Gateway* exerce um impacto significativo nos resultados. Observou-se uma média de distância de 430 metros entre os dispositivos e os respectivos *Gateways*.

Nos resultados com as menores taxas de entrega, ou seja, aqueles com indicadores entre 30% e 49,9%, constatou-se que a distância não é o principal fator determinante, mas sim o relevo do terreno. Esses dispositivos estavam localizados em áreas de vale, onde foi observado um sombreamento significativo. Essa conclusão foi obtida por meio de simulações de cobertura realizadas, que permitiram identificar as condições adversas nas quais esses dispositivos estavam operando. A Figura 7 apresenta um dispositivo cuja taxa de entrega é de 38,50%, onde é possível perceber que ele está localizado justamente em uma área de sombreamento pelo relevo, em uma simulação realizada através da plataforma "Coverage.sh".

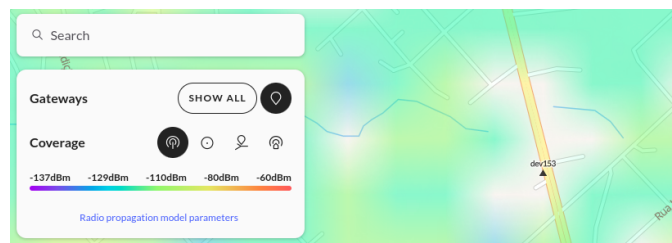


Figura 7. Dispositivo em área de sombreamento.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o desenvolvimento de um sistema de *smart metering* do Grupo B com recursos de corte e religamento remotos, utilizando a comunicação pelo protocolo LoRaWAN. Foram discutidos conceitos fundamentais

da Infraestrutura de Medição Avançada e apresentados os medidores eletrônicos de energia elétrica, juntamente com os principais protocolos utilizados para a comunicação com esses dispositivos. Além disso, foram explorados os conceitos de comunicação sem fio de longo alcance, como LPWAN e LoRa, destacando a relevância da tecnologia LoRaWAN para a solução proposta. Também foi discutido o *software* desenvolvido para viabilizar a implementação e operação do sistema.

Os resultados obtidos foram promissores, evidenciando o desempenho satisfatório do dispositivo em relação ao corte e religamento remoto, proporcionando maior controle e eficiência na gestão do consumo de energia elétrica. Além disso, a análise de cobertura da rede sem fio revelou resultados positivos, com 91,67% dos dispositivos apresentando uma taxa de entrega superior a 90%. Esses resultados indicam uma boa cobertura da rede LoRaWAN nas áreas de implantação, contribuindo para a confiabilidade e estabilidade da comunicação entre os dispositivos e os *Gateways*.

Considerando os avanços tecnológicos apresentados neste estudo, é evidente que a utilização do protocolo LoRaWAN e dos medidores eletrônicos de energia elétrica proporciona um sistema de *smart metering* eficiente e promissor para o Grupo B. Essa solução oferece benefícios significativos, como a redução de custos operacionais, a melhoria na gestão e controle do consumo de energia e a capacidade de realizar operações de corte e religamento remotamente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001 e das empresas Mux Energia e Fox IoT através do projeto de P&D ANEEL PD-00401-0005/2020.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2008). Nbr14522 - intercambio de informacoes para sistemas de medicao de energia eletrica.
- Addvalue (2020). Satcom-iot via lora-wan. URL <https://www.addvaluetech.com/satcom-iot-via-lora-wan/>. Data de acesso: 20/01/2020.
- COPEL (2018). Especificações técnicas de equipamentos de medição. <https://www.copel.com/site/fornecedores-e-parceiros/especificacoes-tecnicas-de-equipamentos-de-medicao/>. Accessed: 2023-05-26.
- DLMS (1997). Device language message specification | dlms. <https://www.dlms.com/>. Accessed: 2023-05-26.
- Gungor, V.C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., and Hancke, G.P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 7(4), 529–539.
- Jha, I., Sen, S., and Agarwal, V. (2014). Advanced metering infrastructure analytics—a case study. In *2014 Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC)*, 1–6. IEEE.
- Kim, K. and Jin, S.i. (2015). Branch-based centralized data collection for smart grids using wireless sensor networks. *Sensors*, 15(5), 11854–11872.
- Landis+Gyr (2017). E450 - folha de especificações. URL https://www.landisgyr.com.br/webfoo/wp-content/uploads//2017/11/LandisGyr_E450.pdf. Data de acesso: 20/01/2021.
- LoRa-Alliance (2015). What is lora and lorawan, and how to use it? URL <http://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>. Data de acesso: 20/01/2022.
- Nansen (2019). Nsxi - medidores especiais. URL <https://www.salfatis.com.br/wp-content/uploads/2019/01/NSXi-PT.pdf>. Data de acesso: 20/01/2021.
- Raza, U., Kulkarni, P., and Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *ieee communications surveys & tutorials*, 19(2), 855–873.
- Sarto, F.M. (2018). Dispositivo de corte e religamento de energia residencial através da tecnologia bluetooth.