

Solução Para Smart Metering do Grupo B com Rede LoRaWAN para Adequação à RN 871

Flávio Garlet Reck * Leonardo Adam ** Fernando Vedoim Garcia **
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: leonardoadam@foxiot.com.br;
fernando@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 paper presents the creation and development of a device to comply with the Normative Resolution n° 871/2020 of the Agência Nacional de Energia Elétrica, as well as a platform for collecting data from these devices and generating an XML file by the Normative Resolution. The device performs readings of the energy quality indicators in Group B's residential consumers. The paper also presents the main changes caused by this resolution, in the short and long terms, how this impacts the energy utilities and what must be done to meet the regulations. There is also a review on the Advanced Metering Infrastructure, electronic energy meters found on the market that meet the regulations' requirements, the network that was used, and the developed platform. In the end, in addition to the device itself, the results that were obtained from the implementation of a network composed of 168 devices in the cities of Tapejara (RS) and Ibiaçá (RS).

Resumo: Este artigo apresenta a criação e desenvolvimento de um dispositivo para atender a Resolução Normativa n° 871/2020 da Agência Nacional de Energia Elétrica, assim como uma plataforma para coleta de dados dos dispositivos, gerando um XML em conformidade com a RN 871. O dispositivo realiza leituras de indicadores de qualidade da energia elétrica em consumidores residenciais do grupo B. Estão descritas as principais alterações ocasionadas pela resolução, a curto e longo prazo, como isso impacta a concessionária de energia e o que deve ser realizado para atender a normativa. Há uma revisão sobre a infraestrutura avançada de medição, os medidores eletrônicos de energia encontrados no mercado que atendem às necessidades da normativa, a rede de comunicação usada e a plataforma desenvolvida. Ao final são apresentados, além do dispositivo em si, os resultados obtidos a partir da implementação de uma rede composta de 168 dispositivos nas cidades de Tapejara (RS) e Ibiaçá (RS).

Keywords: ANEEL; Advanced Metering Infrastructure; Energy Distribution; Energy Quality; LoRaWAN; Internet of Things.

Palavras-chaves: ANEEL; Qualidade da Energia; Infraestrutura de Medição Avançada; Distribuição de Energia Elétrica; LoRaWAN; Internet das Coisas.

1. INTRODUÇÃO

Em fevereiro de 2020 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou a resolução normativa (RN) n° 871, que atualiza os textos presentes nos módulos 6 e 8

dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2020).

Com a atualização dos módulos do PRODIST, a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica deve realizar mensalmente o envio dos indicadores de transgressão de conformidade de tensão. O arquivo contendo os indicadores deverá ser gerado automaticamente, de maneira informatizada e auditável.

Devido ao requisito do arquivo ser gerado automaticamente, sem intervenção humana, torna-se necessária a

* 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.

criação de um sistema que seja capaz de realizar essa tarefa. Os componentes mínimos para esse sistema são: um dispositivo capaz de comunicar-se com o medidor e obter os indicadores, um servidor ou nuvem para o recebimento e armazenamento desses dados, e uma plataforma para a geração do arquivo para envio à ANEEL.

O desenvolvimento do dispositivo faz parte do projeto de P&D ANEEL PD-00401-0005/2020 intitulado “Solução Inovadora de Comunicação de Longo Alcance Bidirecional de Baixo Custo para Leitura e Gerenciamento Remoto de Unidades Consumidoras Classe B em Áreas Urbanas, Suburbanas ou Rurais”. O projeto está sendo desenvolvido em conjunto entre a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a concessionária Mux Energia e a empresa Fox IoT. O projeto visa o desenvolvimento de um dispositivo com maiores funcionalidades, porém com o surgimento da RN n° 871 (2020) surgiu a necessidade de um desenvolvimento rápido de um produto que atendesse a exigência da normativa. Uma definição inicial do projeto do dispositivo foi a utilização da rede LoRa. Uma vez que a empresa Mux Energia conta com a rede instalada na cidade onde o dispositivo será instalado torna-se mais atrativa financeiramente para a empresa, pois dispensa o pagamento de mensalidades e o custo de instalação de outro tipo de rede. Assim, também é possível avaliar o desempenho desse tipo de rede para aplicações em Infraestrutura de Medição Avançada (AMI).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Infraestrutura de Medição Avançada

A AMI é o conceito que transforma um sistema elétrico convencional em uma *Smart Grid*. A Figura 1 apresenta a estrutura básica de uma AMI aplicada ao sistema de distribuição.

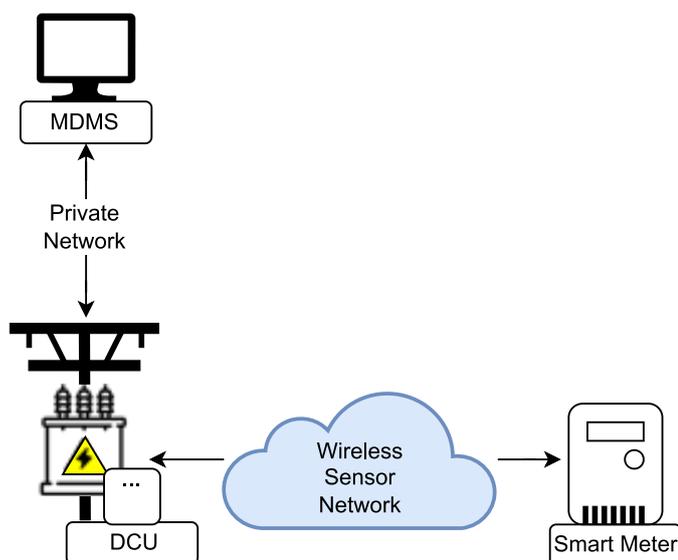


Figura 1. Estrutura de uma AMI (Kim and Jin, 2015).

Como principais componentes de uma AMI é possível destacar, de acordo com Jha et al. (2014):

- *Smart Meter*: os medidores inteligentes atuam como uma fonte de informação para a concessionária, dei-

xando de simplesmente medir um consumo de energia, mas também gerando dados sobre níveis de tensão, corrente, fator de potência, frequência, entre outros parâmetros da rede. Outra funcionalidade é a possibilidade de corte e religamento da energia, e também o armazenamento de dados na memória interna do dispositivo;

- *Data Concentrator Unit (DCU)*: a unidade concentradora de dados é o componente responsável pelo recebimento de dados dos medidores inteligentes e repassar ao centro de comando da *Smart Grid* e vice-versa. Nesse processo deve sempre garantir a confiabilidade e integridade desses dados. Geralmente o concentrador de dados trabalha com dois tipos diferentes de comunicação, uma de longo alcance e baixa taxa de dados, para a comunicação com os medidores inteligentes ou outro dispositivo de campo, e uma de alta velocidade para a comunicação com a central de controle;
- *Metering Data Management Server (MDMS)*: A central de controle da *Smart Grid* tem a função de fazer a conexão final entre o usuário e os dispositivos de campo. Ele é responsável por receber os dados do concentrador, armazená-los e exibir ao usuário, assim como receber comandos enviados pelo usuário e encaminhá-los ao concentrador.

2.2 Medidores Eletrônicos

De acordo com o item 9.1.1.1 do módulo 8 do PRODIST, adicionado com a RN n°871 (2020), os medidores eletrônicos de energia devem possuir nativamente a capacidade de fornecer os cálculos de DRP e DRC a partir de 2021. Dois exemplos que podem ser citados 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.

Ambos os modelos possuem porta óptica para comunicação, no modelo especificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 14522 (2008), norma referente ao intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica.

Essa norma estabelece um protocolo de comunicação para medidores de energia elétrica, nela estão listados uma série de comandos que podem ser enviados aos medidores e o formato de resposta esperado. Porém os comandos para obter os valores dos indicadores de qualidade da energia como o índice de duração relativa da transgressão para

tensão precária (DRP) e o índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica (DRC), não são citados nessa norma, deixando em aberto a possibilidade de o fabricante definir esse comando.

O medidor E450 usa o protocolo de comunicação definido na NBR 14522 (2008), o medidor NSXi, apesar de usar a porta óptica no mesmo modelo, utiliza o protocolo de comunicação DLMS/COSEM, este definido pela norma internacional IEC 62056. Além da porta óptica, o medidor NSXi ainda possui comunicação através de fios, via serial RS232 ou RS485.

Outro modelo de medidor que atende aos requisitos do módulo 8 do PRODIST é o IM3000 da Siemens, apresentado na Figura 3.



Figura 3. Medidor Siemens IM3000.

Esse medidor utiliza o protocolo DLMS/COSEM, porém ele apresenta outro modelo de porta óptica, diferente do estabelecido na NBR 14522 (2008). Além da porta óptica ele apresenta duas portas seriais, uma RS232 e outra RS485, conectados através de uma entrada RJ45, que além de fornecer o sinal da comunicação, oferece também duas fontes de alimentação, uma em 5V e outra em 12V (Siemens, 2019). As portas de comunicação apresentadas pelos medidores citados podem ser utilizadas para a comunicação à curtas distâncias, porém os dados podem ser extraídos e retransmitidos através de outros tipos de rede de comunicação.

2.3 LoRa e LoRaWAN

A rede LoRa é um tipo de rede definido como *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), apresenta uma capacidade de comunicação em grandes distâncias, porém com baixa taxa de dados. A Figura 4 apresenta um comparativo do alcance e taxa de dados dos principais tipos de rede usada em IoT.

A rede LoRa opera em frequências sub-GHz não licenciadas, com frequências entre 433 Mhz a 923 MHz. Dispositivos com baixo consumo de energia conseguem realizar transmissões com alcance superior a 10 km em áreas de campo aberto (Sanchez-Iborra et al., 2018).

LoRaWAN define o protocolo e a arquitetura de rede aplicada em uma camada superior à rede LoRa, que trata-se da camada física. A Figura 5 apresenta a topologia da arquitetura da rede.

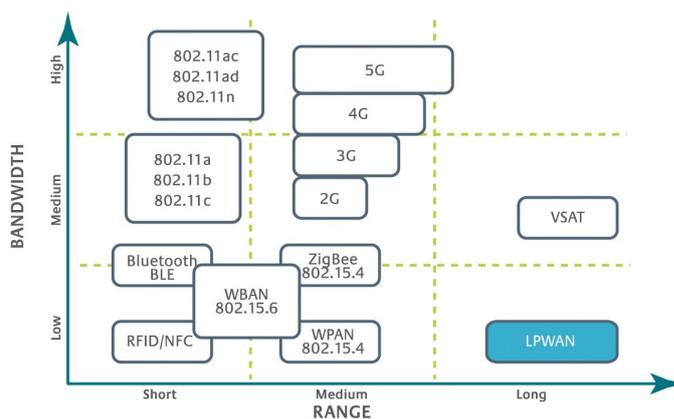


Figura 4. Comparativo de redes de comunicação para IoT (Addvalue, 2020).

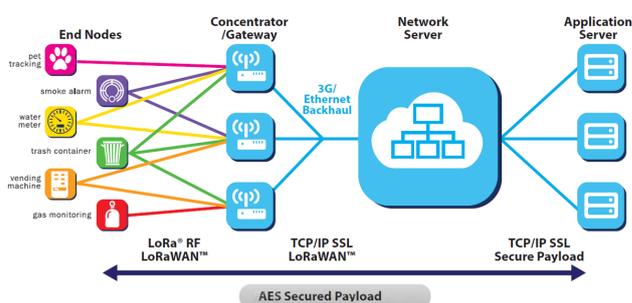


Figura 5. Arquitetura de um sistema LoRaWAN (LoRa Alliance, 2015).

Os componentes presentes no sistema, de acordo com Noura et al. (2020), são:

- *End Nodes*: São os dispositivos de campo, encontram-se dispersos em grandes quantidades por áreas amplas. Comunicam-se com os *Gateways* ou Concentradores através da rede LoRa;
- *Gateways*: Dispositivos responsáveis por receber pacotes LoRa e enviá-los via internet e vice-versa. São instalados em pontos estratégicos para garantir a cobertura de sinal para os *End Nodes*;
- *Network Server*: É o servidor responsável por receber os dados dos *Gateways*, detectar duplicidades e garantir envio de mensagens aos *End Nodes*;
- *Application Server*: *Software* de interface final, responsável por mostrar os dados na aplicação desejada e receber os comandos que devem ser enviados aos *End Nodes*.

2.4 Resolução Normativa nº 871

As principais alterações realizadas nos módulos 6 e 8 do PRODIST são relacionadas ao índices de qualidade: DRP e DRC.

As alterações realizadas com a RN nº 871 (2020) começaram a valer a partir de 1º de janeiro de 2021, onde a concessionária deve começar a realizar o acompanhamento permanente e envio dos indicadores de qualidade com periodicidade mensal.

As unidades consumidoras a serem monitoradas são definidas pela ANEEL, com base em um sorteio, realizado atra-

vés de um modelo estatístico aleatório a partir dos dados presentes na Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD). A Tabela 1 apresenta o número de consumidores que devem ser monitorados conforme o número total de consumidores atendido pela concessionária.

Tabela 1. Dimensão da amostra trimestral exigida a partir de 2021 (ANEEL, 2021b)

Número total de unidades consumidoras da distribuidora	Dimensão da amostra (unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (unidades consumidoras)
N<10.000	26	30
10.000<N<30.000	36	42
30.000<N<100.000	60	66
100.000<N<300.000	84	93
300.000<N<600.000	120	132
600.000<N<1.200.000	156	172
1.200.000<N<2.000.000	210	231
2.000.000<N<3.000.000	270	297
N>3.000.000	300	330

Durante o ano de 2021 o número de unidades consumidoras a serem monitoradas se manterá, mas a partir de 2022 esse número será aumentado trimestralmente. A Tabela 2 apresenta a quantidade que deve aumentar trimestralmente na quantidade de unidades consumidoras monitoradas.

Tabela 2. Número de unidades consumidoras a ser adicionada trimestralmente à base de medições (ANEEL, 2021b)

Número total de unidades consumidoras da distribuidora	Dimensão da amostra (unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (unidades consumidoras)
N<10.000	3	4
10.000<N<30.000	4	5
30.000<N<100.000	7	8
100.000<N<300.000	10	11
300.000<N<600.000	14	15
600.000<N<1.200.000	18	20
1.200.000<N<2.000.000	24	26
2.000.000<N<3.000.000	30	33
N>3.000.000	34	37

Os índices de DRP e DRC são calculados a partir da obtenção de leituras de nível de tensão realizadas a cada 10 minutos durante o período de uma semana, resultando em um total de 1008 medidas. As Equações (1) e (2) apresentam os cálculos para os índices de DRP e DRC, respectivamente (ANEEL, 2021b).

$$DRP = \frac{nlp}{1008} * 100\% \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} * 100\% \quad (2)$$

Sendo *nlp* o número de leituras precárias no intervalo, e *nlc* o número de leituras críticas no intervalo. As Tabelas 3 e 4 apresentam os níveis de tensão estabelecidos no módulo 8 do PRODIST para os níveis de tensão 220/127V e 380/220V, respectivamente.

Os limites aceitáveis para os índices de DRP e DRC são, respectivamente, 3% e 0,5%. Com a atualização do módulo 6, a aquisição de dados referentes ao DRP e DRC, que antes era feita trimestralmente, agora deve ser realizada mensalmente (ANEEL, 2021a).

Tabela 3. Níveis de tensão em ponto de ligação em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (220/127) (ANEEL, 2021b)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequado	(202<TL<231)/(117<TL<133)
Precária	(191<TL<202 ou 231<TL<233)/(110<TL<117 ou 133<TL<135)
Crítica	(TL<191 ou TL>233)/(TL<110 ou TL>135)

Tabela 4. Níveis de tensão em ponto de ligação em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (380/220) (ANEEL, 2021b)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (V)
Adequado	(350<TL<399)/(202<TL<231)
Precária	(331<TL<350 ou 399<TL<403)/(191<TL<202 ou 231<TL<233)
Crítica	(TL<331 ou TL>403)/(TL<191 ou TL>233)

2.5 Dispositivo

Para a criação do dispositivo foram estabelecidos os seguintes requisitos:

- Formato compacto;
- Comunicação de longo alcance;
- Compatibilidade com múltiplos protocolos para medidores;
- Compatibilidade com diferentes interfaces de comunicação.

Como a instalação do dispositivo ocorrerá principalmente em clientes residenciais, não há muito espaço disponível dentro das caixas dos medidores da entrada. A Figura 6 apresenta um modelo de caixa de entrada normalmente encontrado nas instalações.



Figura 6. Caixa com medidor eletrônico em entrada de energia residencial.

Para a criação de um protótipo foi utilizado como base um case plástico com dimensões de 75x60x35mm (Largura x Altura x Profundidade).

O dispositivo possui antena destacável, podendo ser substituída ou instalada em área externa ao local de instalação caso o dispositivo não apresente boa recepção de sinal. Possui conexão para o cabo óptico, para entrada serial e para conector RJ45.

Embora os valores de DRP e DRC sejam calculados semanalmente, nesse período o dispositivo realiza múltiplos envios, para garantir que a informação seja coletada caso haja perda de pacotes. A Figura 7 apresenta um fluxograma da lógica de funcionamento do dispositivo.

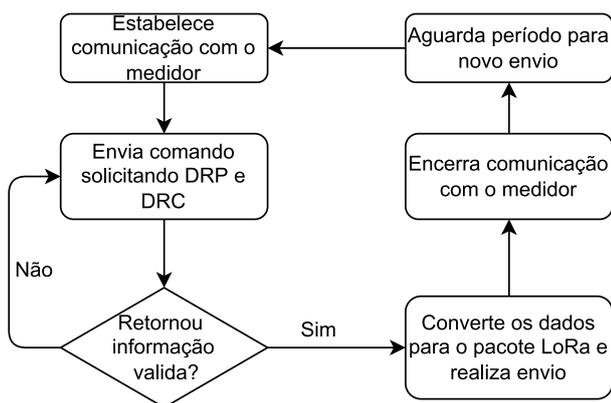


Figura 7. Fluxograma de funcionamento do protótipo.

Após o dispositivo enviar o comando solicitando os dados de DRP e DRC, o mesmo faz a checagem do cálculo do *Cyclic Redundancy Check* (CRC), para garantir que o pacote é válido. A partir do pacote válido é realizada uma conversão na estrutura da mensagem, uma vez que o medidor envia a informação em um pacote de tamanho que excede o limite do pacote no protocolo LoRaWAN. O pacote no protocolo LoRaWAN comporta um payload máximo de 64 bytes, enquanto a resposta completa do medidor possui um payload de 256 bytes. Desse pacote são retirados somente as informações referentes ao DRP e DRC de cada fase na última semana calculada.

2.6 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 8.

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 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

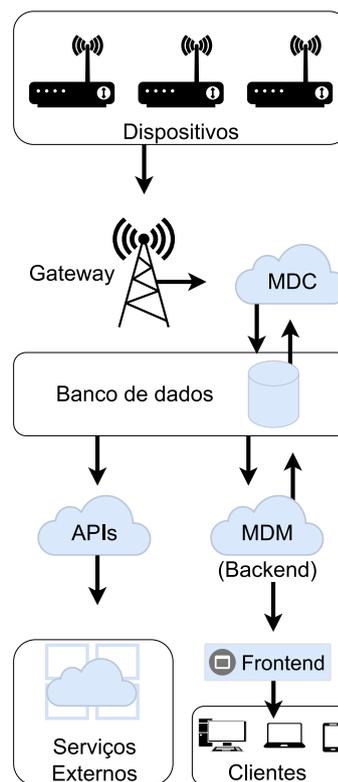


Figura 8. Arquitetura da rede.

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 indicadores de qualidade 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. RESULTADOS

A Figura 9 apresenta o protótipo do dispositivo criado. Os testes foram realizados utilizando o medidor E450 da Landys+Gyr, comunicando via cabo óptico e com o protocolo NBR 14522 (2008). O primeiro teste a ser realizado foi o teste da comunicação entre o dispositivo e o medidor. Para isso foram ligados dois canais de um osciloscópio aos pinos referentes ao TX e RX da comunicação serial do microcontrolador utilizado no dispositivo.

A Figura 10 apresenta o início do comando enviado, confirmando o envio do byte “14”. A linha de cor azul representa a saída TX do dispositivo e a linha verde representa a entrada RX. Para fins de teste foi utilizado o comando 14 da NBR 14522 (2008), que refere-se a leitura de grandezas instantâneas.

Após o final do recebimento do comando pelo medidor, o mesmo processa o comando e retorna uma resposta que inicia com o número do comando recebido seguido do número de série do medidor. A Figura 11 apresenta o final



Figura 9. Protótipo desenvolvido.

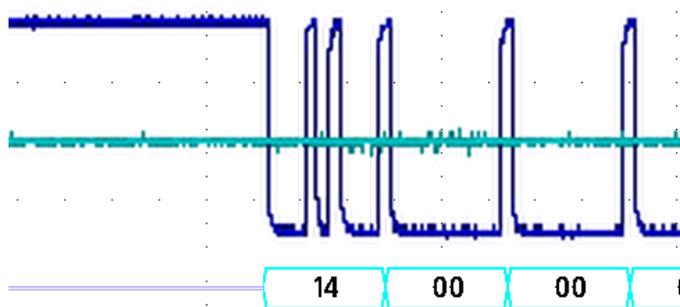


Figura 10. Leitura do início do comando 14.

do envio do comando e o início da resposta. A Figura 12 apresenta uma imagem do medidor com destaque no número de série, validando a resposta obtida.

Os dois últimos bytes da resposta enviada pelo medidor contém o CRC da mensagem completa. Após o processamento da resposta pelo dispositivo o mesmo retorna o byte "06" como confirmação do recebimento de um pa-

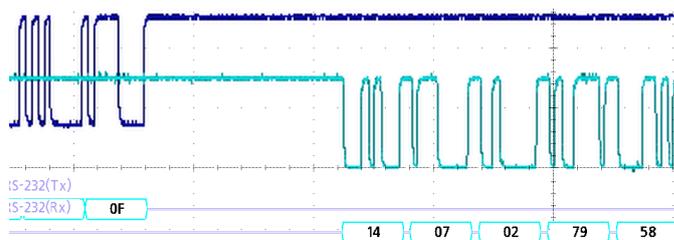


Figura 11. Leitura do fim do comando e início da resposta.



Figura 12. Medidor utilizado no teste de comunicação.

cote válido. Então, o medidor retorna o byte "05" para confirmar o recebimento da confirmação do dispositivo. A Figura 13 apresenta o final da troca de informações entre o dispositivo e o medidor.

Por fim, a Figura 14 apresenta a leitura do osciloscópio de um comando completo com a resposta.

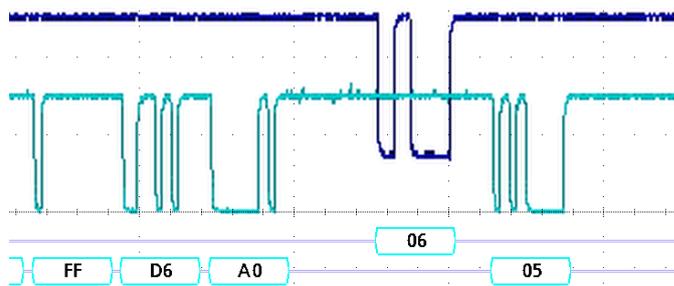


Figura 13. Leitura do fim da resposta do comando 14.

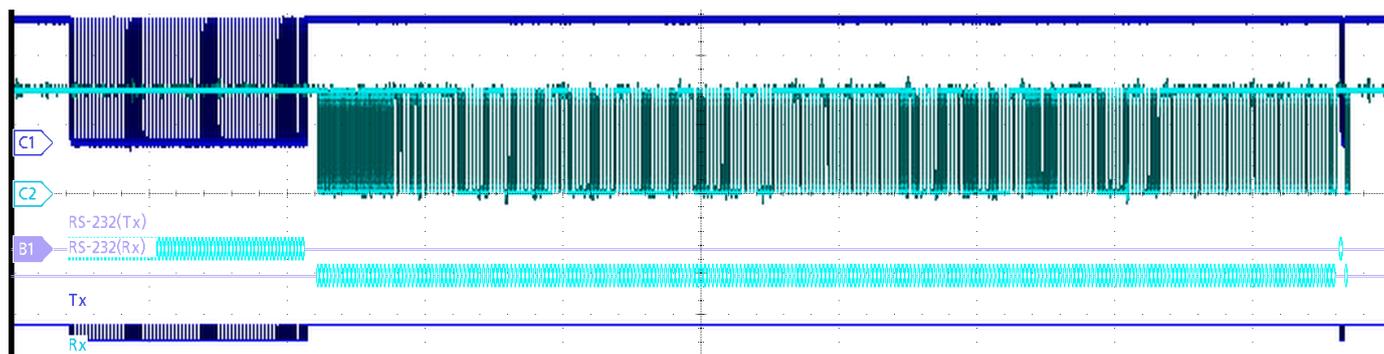


Figura 14. Leitura de comando e resposta no osciloscópio.

3.1 Análise da rede LoRaWAN

Ao todo, foram instaladas 168 unidades do dispositivo nas cidades de Tapejara e Ibiacá, ambas no Rio Grande do Sul. Para garantir um funcionamento pleno, conforme arquitetura estabelecida pelo protocolo LoRaWAN, é necessário o posicionamento de *Gateways* provendo regiões de cobertura, para que os dispositivos consigam enviar os dados de qualidade de energia com a menor perda de pacotes possível. Para a cobertura das cidades, escolheu-se pela instalação de 3 *Gateways* em Tapejara e 1 *Gateway* em Ibiacá. A localização dos dispositivos (representados por triângulos), assim como os *Gateways* (círculos) está apresentada na Figura 15.

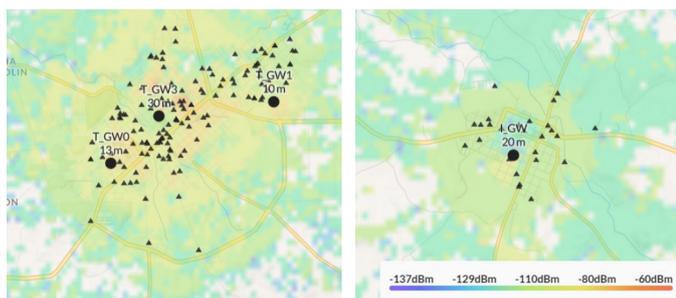


Figura 15. Gateways e dispositivos em Tapejara (Esquerda) e Ibiacá (Direita).

Esses pontos estão apresentados através de uma simulação de cobertura da plataforma “Coverage.sh”, mantido pela *Everynet*, que oferece infraestrutura de rede LoRaWAN para companhias ou até mesmo cidades. A simulação traz como resultado uma escala de sinal no mapa, onde tons mais quentes representam uma potência maior do sinal recebido pelo Gateway, conforme apresentado pela legenda. Os parâmetros da simulação estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros da simulação.

Modelo de propagação de rádio	ITWOM v3.0
Frequência	868..915MHz
Largura de banda	125kHz
Ganho da antena (Gateway)	8dBi
Altura da antena do dispositivo	1m
Ganho da antena (Dispositivo)	0dBi
Potência de saída (Dispositivo)	25mW
Raio da simulação	10km

Após implementação prática, foi analisada a taxa de entrega dos dados dos dispositivos, onde foi verificada a precisão das simulações. A verificação da taxa de entrega se deu em dois intervalos de tempo: Taxa de entrega nos últimos 2 dias e nos últimos 7 dias. Os resultados foram positivos, com 91,67% dos dispositivos apresentando uma taxa de entrega superior a 90%. A Tabela 6 apresenta os dados das taxas de entrega.

A simulação se mostrou robusta e coerente com os dados verificados na prática. Em 5 casos, pelas simulações, foi verificado que o dispositivo enfrentaria dificuldades para enviar os dados, o que foi comprovado na implementação prática, em uma baixa taxa de entrega. Como solução, foi feita a troca da antena, por uma alternativa com maior ganho, o que representou uma melhora significativa para

Tabela 6. 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%

os dispositivos, conforme verificado na melhoria da taxa de entrega, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados antes e após a troca de antenas

Antes da troca				
Dispositivo	RSSI(dBm)	SNR(dB)	Taxa 2D(%)	Taxa 7D(%)
1	-117,5	-10,2	46,2	46,2
2	-121	-12,8	13	13
3	-113,5	-10,6	35,4	35,4
4	-117,5	-5,4	60,2	60,2
5	-116,5	-3,7	72,7	72,7
Depois da troca				
1	-107	6,5	99,3	93,1
2	-117	-3	87,7	76,9
3	-117	-1,4	92,2	68,6
4	-115,5	-2,6	87	80,2
5	-109	5,3	98,8	82,4

Por fim, esses dados de sinal, assim como de qualidade de energia lidos nos medidores estão disponíveis para consulta pela plataforma desenvolvida. Na Figura 16, é apresentada a tela para a geração do XML para o envio dos dados para a ANEEL.

4. CONCLUSÃO

A partir dos testes realizados foi validado que a comunicação entre o medidor e o dispositivo encontra-se funcional, ocorrendo de maneira idêntica a comunicação entre o medidor e o software próprio do fabricante para comunicação com o computador. O envio dos dados através de uma rede LoRa se mostra robusto, com taxas de entrega elevadas, comprovando assim a eficiência do sistema, provendo cobertura para toda a cidade utilizando um número pequeno de concentradores de dados. Por fim, a integração através da plataforma desenvolvida se mostra eficiente, permitindo assim que a concessionária exporte os dados exigidos pela RN871 (2020) de uma maneira simples e eficaz.

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

- 14522, A.N. (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.
 ANEEL (2020). URL <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020871.pdf>.
 Data de acesso: 20/01/2022.

codigo_UC	sigla_indice	valor_indicador	periodo_competencia	ano_competencia
xxxxxx	DRP	0.00	8	2022
xxxxxx	DRC	0.00	8	2022
yyyyyy	DRP	2.60	8	2022
yyyyyy	DRC	0.40	8	2022
zzzzzz	DRP	0.00	8	2022
zzzzzz	DRC	0.03	8	2022
aaaaaa	DRP	0.00	8	2022
aaaaaa	DRC	0.00	8	2022
bbbbbb	DRP	0.00	8	2022
bbbbbb	DRC	0.00	8	2022

Figura 16. Geração de XML para ANEEL através da plataforma.

ANEEL (2021a). Prodíst módulo 6- informações requeridas e obrigações. URL https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_6-Revis%C3%A3o_14/a922e161-f525-b995-6891-dcc51701e9ad. Data de acesso: 20/01/2021.

ANEEL (2021b). Prodíst módulo 8- qualidade do fornecimento de energia elétrica. URL https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Data de acesso: 20/01/2021.

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/](https://www.salfatis.com.br/wp-content/uploads/2019/01/NSXi-PT.pdf)

[uploads/2019/01/NSXi-PT.pdf](https://www.salfatis.com.br/wp-content/uploads/2019/01/NSXi-PT.pdf). Data de acesso: 20/01/2021.

Noura, H., Hatoum, T., Salman, O., Yaacoub, J.P., and Chehab, A. (2020). Lorawan security survey: Issues, threats and possible mitigation techniques. *Internet of Things*, 12, 100303. Data de acesso: 24/01/2021.

Sanchez-Iborra, R., Sanchez-Gomez, J., Ballesta-Viñas, J., Cano, M.D., and Skarmeta, A.F. (2018). Performance evaluation of lora considering scenario conditions. *Sensors*, 18(3), 772.

Siemens (2019). Manual do usuário im3000 medidor de energia inteligente. Data de acesso: 20/01/2021.