

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA COMUNICAÇÃO À LONGA DISTÂNCIA COM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONSUMIDORES DO GRUPO B

Leonardo Adam*, Carlos Henrique Barriquello[†], Daniel Pinheiro Bernardon[‡], Filipe Gabriel Carloto[§], Lucas Maziero[¶] and Tiago Bandeira Marchesan^{||}

*GEDRE - Inteligência em Iluminação

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: leonardo.adam96@icloud.com

[†]GEDRE - Inteligência em Iluminação

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: barriquello@gedre.ufsm.br

[‡]Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: dpbernardon@ufsm.br

[§]Fox IoT, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: filipe@foxiot.com.br

[¶]Fox IoT, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: lucas@foxiot.com.br

^{||}Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul

Email: tiago@ufsm.br

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. O dispositivo realizará 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, e a rede de comunicação a ser utilizada. Ao final é apresentado a lógica de projeto do dispositivo, os resultados obtidos a partir de um protótipo e os próximos passos para o teste em campo.

Palavras-Chave – ANEEL. Qualidade da Energia. Infraestrutura de Medição Avançada, Distribuição de Energia Elétrica. LoRaWAN. Internet of Things.

I. 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) [1].

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 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 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.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Infraestrutura de Medição Avançada

A Infraestrutura de Medição Avançada (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.

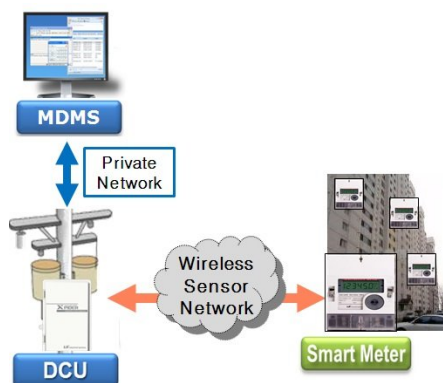


Figura 1: Estrutura de uma AMI [4].

Como principais componentes de uma AMI é possível destacar [5]:

- Smart Meter: os medidores inteligentes atuam como uma fonte de informação para a concessionária, deixando 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: a unidade concentradora de dados é o componente responsável pelo recebimento de dados dos medidores inteligentes e repassa-los 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.
- Smart Grid Control Center: 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 encaminha-los ao concentrador.

B. Medidores Eletrônicos

De acordo com o item 9.1.1.1 do módulo 8 do PRODIST, adicionado com a RN N°871, 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 [6] e o modelo NSXi da Nansen [7]. A Figura 2 apresenta o medidor da Landis+Gyr ao lado esquerdo e o medidor da Nansen à direita.



Figura 2: Medidor Landis+Gyr E450 e Nansen NSXi.

Ambos os modelos possuem porta óptica para comunicação, no modelo especificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 14522, 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, DRP e 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, 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.

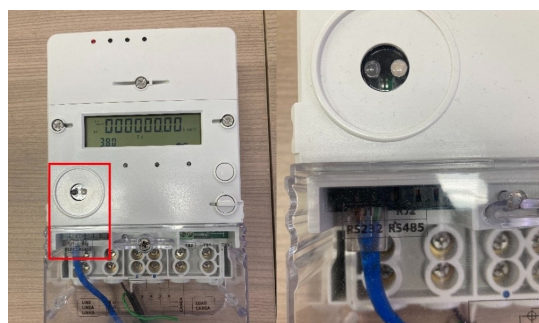


Figura 3: Medidor Siemens IM3000.

Esse medidor utiliza o protocolo DLMS/COSEM, porém ele apresenta outro modelo de porta óptica, diferente do estabelecido na NBR 14522. 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 [8]. 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.

C. LoRa e LoRaWAN

A rede LoRa é um tipo de rede definido como LPWAN (Low Power Wide Area Network), apresenta uma capacidade de comunicação a grandes distancias, 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.

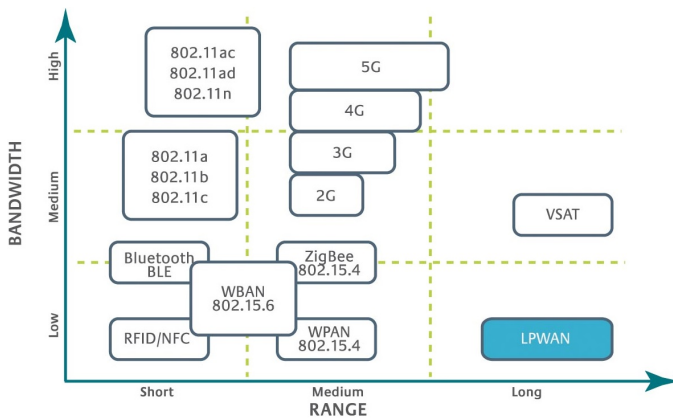


Figura 4: Comparativo de redes de comunicação para IoT. [9]

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 [10].

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.

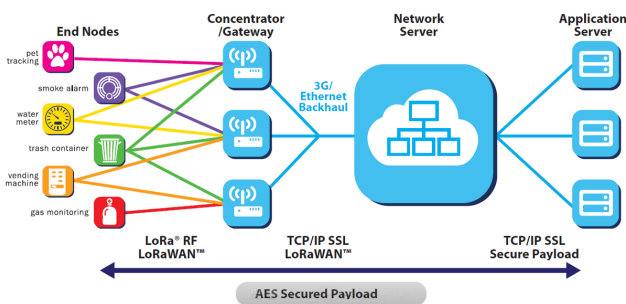


Figura 5: Arquitetura de um sistema LoRaWAN. [11]

Os componentes presentes no sistema são [12]:

- 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 Devices.
- Application Server: Software de interface final, responsável por mostrar os dados na aplicação desejada e receber os comandos que devem ser enviados aos End Devices.

D. Resolução Normativa N° 871

As principais alterações realizadas nos módulos 6 e 8 do PRODIST são relacionadas ao índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e ao índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica (DRC).

As alterações realizadas com a RN N° 871 começam a valer a partir de 1° de janeiro de 2021, onde a concessionária deve começar a realizar o acompanhamento dos indicadores de qualidade.

As unidades consumidoras a serem monitoradas são definidas pela ANEEL, com base em um sorteio, realizado através de um modelo estatístico aleatório a partir dos dados presentes na Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD). A Tabela I apresenta o número de consumidores que devem ser monitorados conforme o número total de consumidores atendido pela concessionária.

Tabela I: Dimensão da amostra trimestral exigida pela ANEEL a partir de 2021 [2].

Número total de unidades consumidoras da distribuidora	Dimensão da amostra (unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (unidades consumidoras)
$N \leq 10000$	26	30
$10.000 < N \leq 30.000$	36	42
$30.000 < N \leq 100.000$	60	66
$100.000 < N \leq 300.000$	84	93
$300.000 < N \leq 600.000$	120	132
$600.000 < N \leq 1.200.000$	156	172
$1.200.000 < N \leq 2.000.000$	210	231
$2.000.000 < N \leq 3.000.000$	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 II apresenta a quantidade que deve aumentar trimestralmente na quantidade de unidades consumidoras monitoradas.

Tabela II: Número de unidades consumidoras a ser adicionada trimestralmente à base de medições [2].

Número total de unidades consumidoras da distribuidora	Dimensão da amostra (unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (unidades consumidoras)
$N \leq 10000$	3	4
$10.000 < N \leq 30.000$	4	5
$30.000 < N \leq 100.000$	7	8
$100.000 < N \leq 300.000$	10	11
$300.000 < N \leq 600.000$	14	15
$600.000 < N \leq 1.200.000$	18	20
$1.200.000 < N \leq 2.000.000$	24	26
$2.000.000 < N \leq 3.000.000$	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 [2].

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \cdot 100[\%] \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \cdot 100[\%] \quad (2)$$

Sendo nlp o número de leituras precárias no intervalo, e nlc o número de leituras críticas no intervalo. A Tabela III e a Tabela IV apresentam os níveis de tensão estabelecidos no módulo 8 do PRODIST para os níveis de tensão 220/127V e 380/220V, respectivamente.

Tabela III: Níveis de tensão em ponto de ligação em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127) [2].

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 < TL < 231) / (117 < TL < 133)$
Precária	$(191 < TL < 202 \text{ ou } 231 < TL < 233) / (110 < TL < 117 \text{ ou } 133 < TL < 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Tabela IV: Níveis de tensão em ponto de ligação em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220) [2].

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 < TL < 399) / (202 < TL < 231)$
Precária	$(331 < TL < 350 \text{ ou } 399 < TL < 403) / (191 < TL < 202 \text{ ou } 231 < TL < 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

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 [3].

III. 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 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.

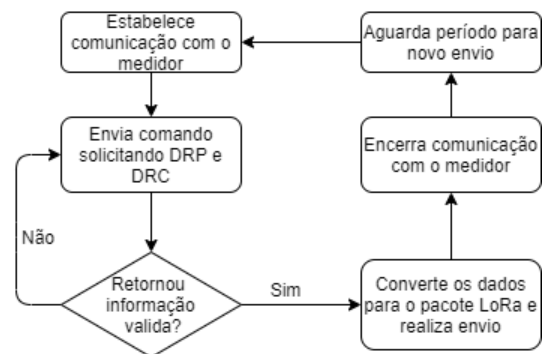


Figura 7: Fluxograma de funcionamento do protótipo.

Após o dispositivo enviar o comando solicitando os dados de DRP e DRC, o mesmo faz a checagem de 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.

IV. RESULTADOS

A Figura 8 apresenta o protótipo do dispositivo criado.



Figura 8: Protótipo desenvolvido.

Os testes foram realizados utilizando o medidor E450 da Landys+Gyr, comunicando via cabo óptico e com o protocolo NBR 14522. 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 9 apresenta a leitura do osciloscópio de um comando completo com a resposta.

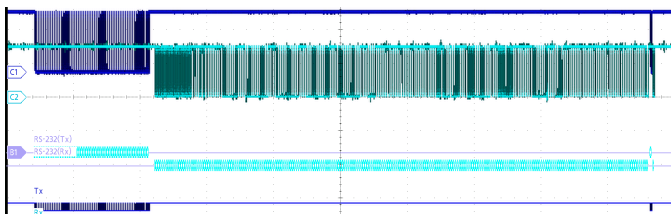


Figura 9: Leitura de comando e resposta no osciloscópio.

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 NBR14522, que refere-se a leitura de grandezas instantâneas. A Figura 10 apresenta o início do comando enviado, confirmando o envio do byte "14".

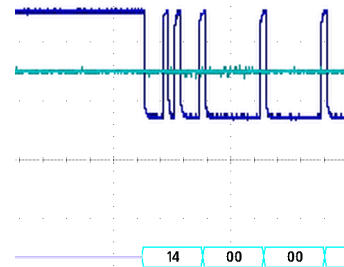


Figura 10: Leitura do início do comando 14.

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 do envio do comando e o início da resposta.

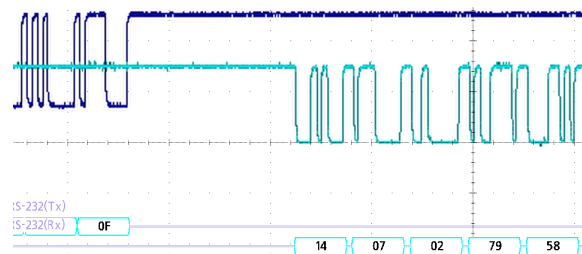


Figura 11: Leitura do fim do comando e início da resposta.

A Figura 12 apresenta uma imagem do medidor com destaque no número de série.



Figura 12: Medidor utilizado no teste de comunicação.

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 pacote 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.

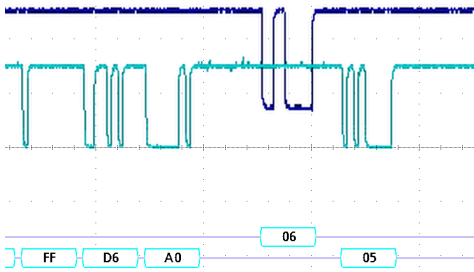


Figura 13: Leitura do fim da resposta do comando 14.

Para o teste de comunicação foi realizada uma simulação de Free Space Path Loss, com um gateway localizado a cerca de 1,1km, e comparada ao resultado obtido com o teste prático em mesma distância. A Figura 14 apresenta o mapa com as posições do dispositivo e do gateway usado para o teste.



Figura 14: Local de teste de envio do dispositivo.

A Tabela V apresenta o resultado obtido com a simulação utilizando os dados geográficos e características do gateway e da antena do dispositivo utilizado.

Tabela V: Resultado de simulação em Free Space Path Loss.

Free Space Loss	-92,30dB
Obstruction Loss	-5,22dB
Forest Loss	0,00dB
Urban Loss	0,00dB
Statistical Loss	-10,40dB
Total Path Loss	-97,48dB

A Tabela VI apresenta os dados obtidos a partir do envio de 5 pacotes.

Tabela VI: Nível de RSSI obtido em 5 envios.

Envio	1°	2°	3°	4°	5°	Média
RSSI (dB)	-103	-99	-109	-95	-109	-103

Utilizando o mesmo gateway da simulação, com o dispositivo instalado dentro de um prédio e com outras edificações no caminho, foram coletados dados de 10 envios. A Tabela VII apresenta os dados obtidos nos 10 envios.

Tabela VII: Resultados obtidos a partir de uma sequência de 10 envios.

Envio	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
RSSI (dB)	-109	-115	-114	-113	-114	-114	-112	-	-113	-109
SNR	1.5	3.8	4.5	-1	3.5	4.8	4.5	-	4.2	5.2

No 8° envio a mensagem não chegou ao gateway monitorado. Ao redor do local de testes há uma grande concentração de gateways LoRa, durante um período de 7 dias, com o dispositivo enviando uma mensagem a cada minuto a taxa de entrega alcançada foi de 100%. O número total de envios foi de 10080 mensagens.

V. CONCLUSÃO

A partir dos testes realizados foi validado que a comunicação entre o medidor e o dispositivo encontra-se funcional. A comunicação entre o dispositivo e o medidor ocorre de maneira igual a comunicação entre o medidor e o software próprio para comunicação com o computador. Os testes relacionados ao envio dos dados não podem informar o alcance máximo de transmissão, uma vez que o dispositivo encontra-se em um local com múltiplos gateways na proximidade. No entanto é possível confirmar a estabilidade do dispositivo, considerando que a taxa de entrega é calculada a partir de uma estimativa do número total de envios que o dispositivo realizaria no período do teste, foram entregues os 10080 pacotes, como o esperado.

A. Trabalhos Futuros

Na próxima fase serão instaladas unidades do protótipo em unidades consumidoras em na cidade de Tapejara - RS. A Figura 15 apresenta a atual cobertura da rede LoRa instalada na cidade.

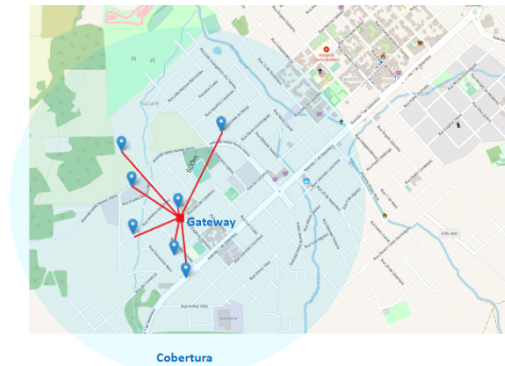


Figura 15: Mapa da rede LoRa na cidade.

Os pontos marcados no mapa representam transformadores onde já está instalado medidores de grandezas elétricas conectados a rede LoRa.

Na primeira fase de instalação serão instalados apenas em medidores do modelo E450 da Landys+Gyr, com comunicação via cabo óptico e protocolo NBR 14522. Esse foi o único modelo que a concessionária encontrou a pronta entrega no momento. Como esse modelo não disponibiliza uma saída de energia em corrente contínua, será realizada uma derivação da entrada do medidor para a alimentação do dispositivo. A Figura 16 apresenta o esquema de instalação do dispositivo.

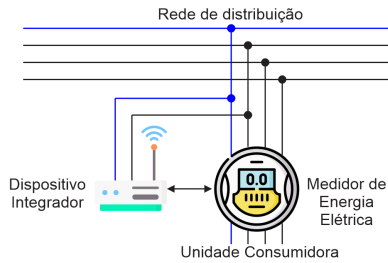


Figura 16: Esquema de instalação do dispositivo.

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

- [1] ANEEL. *Resolução Normativa N° 871, de 11 de fevereiro de 2020*. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020871.pdf>. Data de acesso: 20 jan. 2021
- [2] ANEEL. *PRODIST Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_12/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47. Data de acesso: 20 jan. 2021
- [3] ANEEL. *PRODIST Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações*. Disponível em: 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 jan. 2021
- [4] Kim, Kwangsoo Jin, Seong-II. (2015). *Branch-Based Centralized Data Collection for Smart Grids Using Wireless Sensor Networks*. Sensors (Basel, Switzerland). 15. 11854-72. 10.3390/s150511854.
- [5] I. S. Jha, S. Sen and V. Agarwal, *Advanced metering infrastructure analytics — A Case Study*, 2014 Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC), Guwahati, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/NPSC.2014.7103882.
- [6] Landis+Gyr. *E450 - Folha de Especificações*. Disponível em: https://www.landisgyr.com.br/webfoo/wp-content/uploads/2017/11/LandisGyr_E450.pdf. Data de acesso: 20 jan. 2021
- [7] Nansen. *NSXi - Medidores Especiais*. Disponível em: <https://www.salfatis.com.br/wp-content/uploads/2019/01/NSXi-PT.pdf>. Data de acesso: 20 jan. 2021
- [8] Siemens *Manual do Usuário IM3000 MEDIDOR DE ENERGIA INTELIGENTE*. Equipe do Medidor Inteligente, 2019.
- [9] Addvalue, *Satcom-IoT via LoRa-WAN*, Disponível em: <https://www.addvaluetechnology.com/satcom-iot-via-lora-wan/>. Data de acesso: 20 jan. 2020
- [10] Sanchez-Iborra R, Sanchez-Gomez J, Ballesta-Viñas J, Cano MD, Skarmeta AF. *Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions*. Sensors (Basel). 2018;18(3):772. Published 2018 Mar 3. doi:10.3390/s18030772
- [11] LoRa Alliance. *What is LoRa and LoRaWAN, and how to use it?*. Disponível em: <http://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>. Data de acesso: 20 jan. 2021
- [12] H. Noura, T. Hatoum, O. Salman, J. P. Yaacoub, A. Chehab *LoRaWAN security survey: Issues, threats and possible mitigation techniques*. Internet of Things, Volume 12, 2020, 100303, ISSN 2542-6605, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100303>. Data de acesso: 24 jan. 2021