



Comunicação sem fio de longa distância de medidores de energia elétrica

Long-distance wireless communication of electric power meters

Gabriel T. Arruda¹, Michele O. Campos², Thiago K. Mori³, Wesley A. Souza⁴

RESUMO

A qualidade de energia elétrica (QEE) é essencial para o funcionamento seguro e adequado dos equipamentos elétricos. Para padronizar a distribuição e garantir padrões de qualidade, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST) e, para atender tais padrões, tem-se a necessidade de se utilizar medidores de energia elétrica para observar indicadores das grandezas elétricas de tensão, corrente e frequência. Porém, a comunicação destes medidores dependem de tecnologias de curto alcance ou disponibilidade de sinal. Com base nisto, este trabalho propõe o desenvolvimento de medidores inteligentes de energia elétrica que, através de uma rede de comunicação sem fio de longa distância (LoRa), enviam dados a uma central, que os concentram e os enviam para o armazenamento em nuvem para a visualização de dados de forma remota. Desta forma, tem-se a possibilidade do monitoramento da qualidade da energia de diversos pontos da rede, independentemente da disponibilidade de sinal móvel ou de curto alcance.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de energia, Medidores elétricos, Comunicação de longa-distância

ABSTRACT

Power quality (PQ) is essential for the reliability and correct operation of electrical equipment. Brazil Electricity and Regulatory Authority (ANEEL) has implemented the Electricity Distribution Procedures (PRODIST) to regulate the distribution and ensure quality standards. In order to meet these requirements, it is necessary to operate electricity meters with voltage, current, and frequency indicators. However, these meters' communication depends on short-range technologies or signal availability. This work proposes the development of electrical smart meters with a long-range wireless communication network (LoRa) that transmit data to a data center, which then combines and transmits them to cloud storage for remote data visualization. It enables the monitoring of power quality from multiple points in the power grid, regardless of the presence of a mobile or short-range signal.

KEYWORDS: Power quality, Electrical smart meters, Long-range communication

INTRODUÇÃO

A qualidade de energia elétrica (QEE) é definida pela conformidade aos padrões e valores de tensão, corrente e frequência fornecidas pela concessionária (ANEEL, 2021a). Estas grandezas podem sofrer fenômenos que deterioram a QEE, e que a rede fornecedora está sujeita. Para normatizar a distribuição e garantir padrões de QEE, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2022). O PRODIST não só padroniza a distribuição mas define também os critérios de qualidade do produto, serviço e da qualidade comercial, além do acompanhamento da segurança do trabalho e das instalações (ANEEL, 2021b).

¹ Bolsista PIVIC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Brasil. E-mail: gabriel.2019@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6133828718115699.

² Bolsista PIVIC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: michelecampos@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0582061260816236.

³ Bolsista PIBIT, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: thiagomori@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4819625262739741.

⁴ Docente no Departamento Acadêmico de Elétrica (DAELE). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: wesleyangelino@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8594457321079718.



XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



SEI-SICITE
2023

Segundo os padrões estabelecidos pelo PRODIST no módulo 8, a rede elétrica está sujeita aos seguintes fenômenos de regime permanente: variações de tensão e corrente, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência, além de fenômenos de regime transitório como variações de tensão de curta duração (VTCD) (ANEEL, 2021a). Apesar das ações automáticas aplicadas pelos dispositivos, alguns dos distúrbios podem não ser identificados por eles e, mesmo imperceptíveis, estes problemas podem provocar severos danos aos equipamentos elétricos ligados à rede elétrica, fazendo assim necessário o monitoramento da energia elétrica fornecida.

Neste contexto, os medidores inteligentes de energia são essenciais para a coleta e processamento das grandezas elétricas. Os medidores inteligentes que são dispositivos capazes de monitorar as grandezas elétricas e o consumo em tempo real e de forma bidirecional, e através de uma comunicação em rede, envia os dados gerados para um sistema supervisor local ou em nuvem, permitindo a análise dos dados pelo cliente ou pela concessionária (GARCIA et al., 2017).

Considerando a necessidade da integração dos medidores e da compreensão da infraestrutura de medição, surge também uma preocupação relacionada à comunicação em áreas sem cobertura de sinal móvel, uma vez que é necessária a comunicação destes medidores com centrais de armazenamento e de processamento de dados para alertas em casos de anomalias na rede (ABRAHAMSEN; AI; CHEFFENA, 2021). Considerando este problema, é possível a adoção de tecnologias de comunicação de longa distância, para integrar os dispositivos mesmo em áreas remotas que não possuem serviços ou áreas que não possuem cobertura de rede móvel, gerenciadas por concessionárias de telefonia. Além destas tecnologias permitirem um grande alcance de comunicação, é viabilizado a transferência de grande volume de dados sem custos ou taxas pela comunicação.

Desta forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de medidores inteligentes para o monitoramento de grandezas extraídas dos sinais de tensão e corrente da rede elétrica, junto a um sistema de comunicação de longo alcance para a integração destes medidores, permitindo o envio dos dados gerados para um sistema supervisor em nuvem, permitindo a análise dos dados pelo cliente ou pela concessionária.

METODOLOGIA

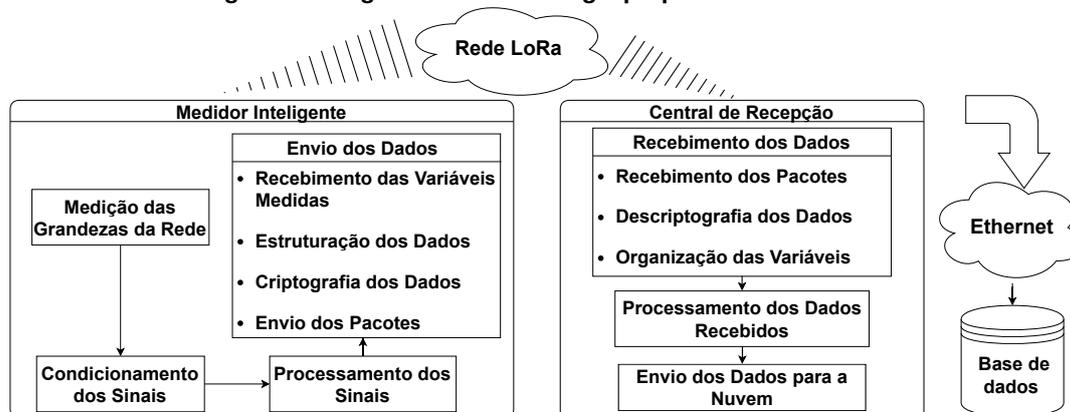
O sistema desenvolvido neste trabalho tem por objetivo coletar as grandezas elétricas da rede e, por meio da comunicação sem fio de longa distância (*LoRa*, do inglês *Long Range*), enviá-los para um dispositivo central, que por sua vez recebe os dados, os trata, e os envia para um banco de dados em nuvem, para que a qualidade de energia elétrica possa ser analisada remotamente. A Figura 1 apresenta o diagrama do método proposto neste trabalho.

MEDIDOR INTELIGENTE

O processo inicia-se no dispositivo de medição das grandezas da rede elétrica, tensão e corrente, utilizando os sensores ZMPT101B e SCT013-20A, respectivamente. Posteriormente, os sinais provenientes dos sensores são condicionados para o conversor analógico para digital (ADC) do microcontrolador. Os circuitos condicionadores são apresentados nas Figuras 2, 3a e 3b.

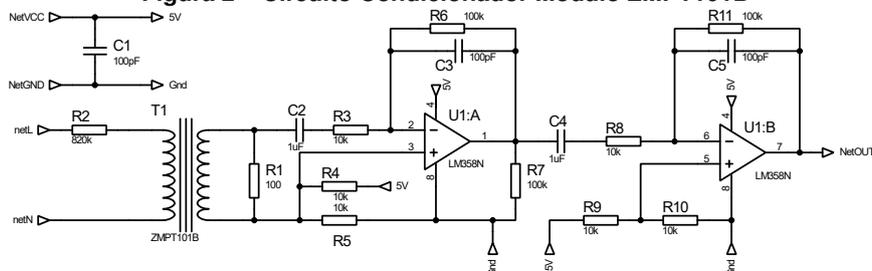
Para a coleta dos dados foi utilizado o microcontrolador ESP32, o qual realiza a leitura das grandezas, que consiste na coleta de sinais na frequência de 7,68kHz. Após coletados e armazenados os valores do ADC, a fim de atenuar os ruídos provindos da leitura, é aplicado um filtro de média

Figura 1 – Diagrama da metodologia proposta neste trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 2 – Circuito Condicionador Módulo ZMPT101B

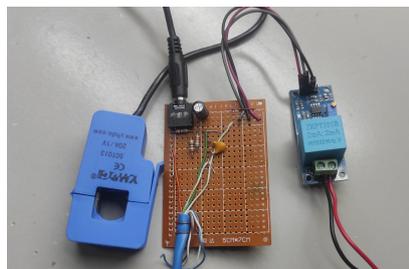
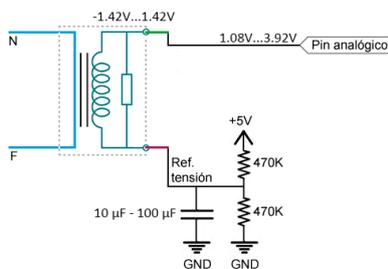


Fonte: Elaborado pelos autores com base em EasyEDA (2023).

Figura 3 – Circuito Condicionador

(a) Condicionador para o SCT013

(b) Placa Condicionadora



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

móvel com janela de 4 amostras em ambas as leituras. Posteriormente, é realizada a calibração do dispositivo para o cálculo das grandezas. Em seguida são calculados os valores eficazes da tensão e corrente, as parcelas de potência (ativa, reativa e aparente) e o fator de potência (FP).

Posteriormente, o dispositivo medidor envia os dados, sendo eles convertidos em uma estrutura JSON (*JavaScript Object Notation*), e em seguida é criptografada para não ser interceptada e lida por outros dispositivos *LoRa* presentes no raio de alcance do dispositivo. Após os dados serem preparados e criptografados, a mensagem é enviada através da rede *LoRa*.

A mensagem é recebida pelo dispositivo central, que realiza a descriptografia dos dados, conversão da mensagem no formato JSON para as variáveis internas do microcontrolador, em seguida os dados são processados e enviados para um banco de dados em nuvem, que armazenará os dados coletados dos medidores para serem visualizados posteriormente de forma remota.



CENTRAL DE RECEPÇÃO, ENVIO DOS DADOS, ARMAZENAMENTO E VISUALIZAÇÃO

Um dispositivo ESP32, com comunicação *LoRa*, é responsável por coletar os dados dos medidores inteligentes e por meio de uma conexão wifi, envia os dados para o servidor. O envio é realizado através de protocolo HTTP, e por uma requisição do tipo *GET* o ESP32 da central de recepção envia os dados para um script *php* que os processa e os armazenam no banco de dados *MySQL*. Os dados podem ser visualizados remotamente, desde que haja uma conexão com a internet. Em uma página, hospedada no mesmo servidor, é possível visualizar os gráficos das grandezas coletadas nos últimos períodos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de obter o maior alcance possível entre os medidores e a central de recepção, foram realizados mapeamentos nas cidades de Cornélio Procópio, estado do Paraná e na cidade de Salto, São Paulo. Este mapeamento consiste em coletar a qualidade do sinal em diversos pontos da cidade, ao redor de onde está instalada a central de recepção (no modo transmissor), para obter a maior distância possível, bem como os pontos cegos e os melhores pontos de recepção de sinal. Para estes mapeamentos, são utilizadas diversas combinações de antenas e os dois pares de módulos, 433MHz e 915MHz, para verificar a melhor faixa de frequência de transmissão. Na Tabela 1 são mostradas as variáveis que foram testadas nos mapeamentos.

Tabela 1 – Variáveis de Estudo | Mapeamento Rede LoRa

Cidade	Frequência Central	Antenas	Canal
Cornélio Procópio - Paraná	433 MHz	2 dBi - 2 dBi	23
		2 dBi - 5 dBi	
	915 MHz	5 dBi - 2 dBi	65
		5 dBi - 5 dBi	
Salto - São Paulo	433 MHz	12dBi (Antena de TV) - 5 dBi	23
		915Mhz	12dBi (Antena de TV) - 5 dBi

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A unidade transmissora (Figura 4a) é responsável por transmitir pacotes de dados, cujo conteúdo é uma contagem de envios, para verificar se houve perda de pacotes entre os recebimentos. A unidade receptora, mostrada na Figura 4b, é uma unidade móvel, que recebe os pacotes transmitidos e calcula a intensidade do sinal. Dessa forma, foi possível analisar a distância máxima de recepção, os pontos de melhor sinal, ou os pontos cegos, onde não foi possível receber algum pacote.

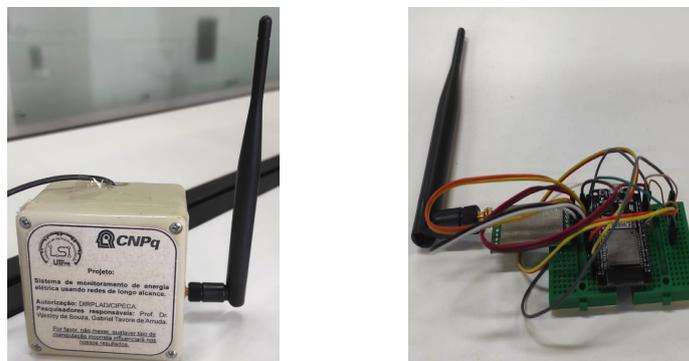
Os resultados obtidos em ambas cidades foram promissores, mostrando a viabilidade da instalação dos medidores em diversos pontos da cidade e com amplo raio de alcance. Na Tabela 2 são mostrados os resultados de alcance máximo de comunicação nas cidades de estudo.

Tabela 2 – Resultados do Mapeamento da Rede LoRa

Cidade	Frequência	Antenas	Alcance
Salto - SP	433Mhz	Tv/5dBi	3,9Km
Salto - SP	915Mhz	Tv/5dBi	3,6Km
Cornélio Procópio - PR	498Mhz	Tv/5dBi	950m

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 4 – Dispositivos de Mapeamento da Rede *LoRa* .
(a) Central de Transmissão *LoRa* (b) Unidade Receptora *LoRa*



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na cidade de Salto, foi possível realizar uma comunicação com um raio de alcance de 3,9Km, enquanto na cidade de Cornélio Procópio foi atingido um raio de 950 metros, ambos em zona urbana. Esta diferença de alcance pode ser explicado devido uma maior presença de morros e obstáculos urbanos, que impede consideravelmente a comunicação.

Apesar da diferença do alcance obtido nas duas cidades de estudo, a cidade de Cornélio Procópio possui centro urbano mais denso em relação à cidade de Salto, o que contribui para a instalação dos medidores em diversos pontos distribuídos em torno da central de comunicação.

MONITORAMENTO, ARMAZENAMENTO E VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

Um medidor inteligente com as configurações apresentadas na Figura 1 foi instalado em um ponto de medição e as grandezas foram enviadas via *LoRa* à central de recepção. A central de recepção, ao coletar o sinal do medidor, envia os dados para um serviço de armazenamento de dados remoto, que para este trabalho, foi utilizado o servidor da *HostGator*. No banco de dados hospedado foi criada uma tabela nomeada “Coletas”, que a cada ciclo de coleta dos dados, estes são enviados para serem armazenados. As grandezas armazenadas no banco de dados são: tensão e corrente eficaz, potência ativa, reativa e aparente e o fator de potência.

Após o envio dos dados para o servidor em nuvem, estes dados são concentrados e um *script* gera os gráficos dos dados. São gerados os gráficos da tensão e corrente eficaz, potências ativa, reativa e aparente e o fator de potência, mostrados na Figura 5. Com base nos gráficos, é possível visualizar o comportamento das grandezas ao longo do tempo, verificando as oscilações e as anomalias da energia elétrica consumida pelos dispositivos ligados à rede.

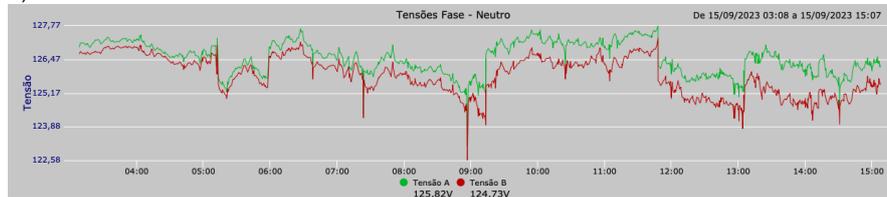
CONCLUSÃO

Com o trabalho foi possível consolidar o monitoramento da qualidade de energia elétrica, possibilitando o monitoramento das grandezas a fim de visualizar possíveis problemas aos quais a QEE está sujeita. O uso dos sensores ZMPT101B e o SCT013 apresentou resultado satisfatório para as coletas das grandezas medidas, possibilitando a visualização da qualidade da energia, objetivo deste trabalho. O uso da tecnologia *LoRa* permitiu a comunicação de longa distância entre os dispositivos medidores, apresentando independência de infraestruturas de comunicação, como redes móveis, permitindo a comunicação em áreas sem cobertura de sinal, onde este serviço não está disponível além de reduzir os custos relacionados à contratação destes serviços. Dessa forma, o

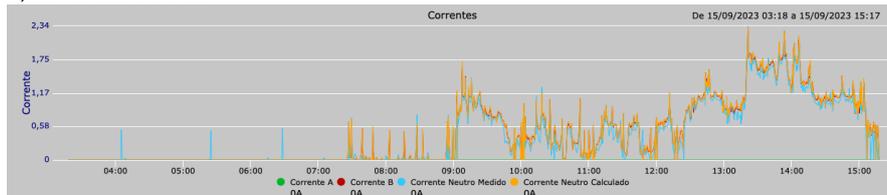


Figura 5 – Armazenamento e Visualização dos Dados

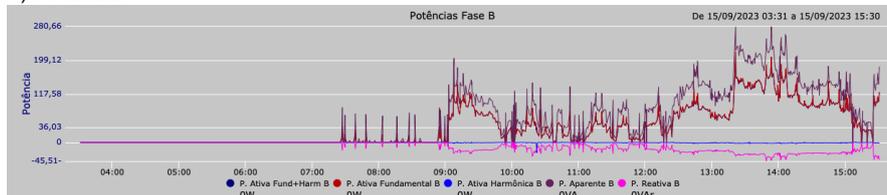
a) Tensões eficazes



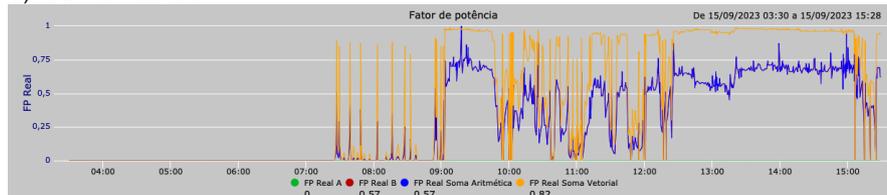
b) Correntes eficazes



c) Potências



d) Fator de Potência



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

trabalho apresenta não apenas uma contribuição ao monitoramento da eficiência das concessionárias de energia e dos dispositivos, mas também à comunicação em rede de dispositivos inteligentes, permitindo a troca de dados em longas distâncias isenta de infraestrutura de serviços terceirizados.

Agradecimentos

Agradecemos à UTFPR pela estrutura e equipamentos disponibilizados, ao CIPECA e ao grupo de pesquisa LSI (Laboratório de Sistemas Inteligentes).

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSEN, F. E.; AI, Y.; CHEFFENA, M. Communication Technologies for Smart Grid: A Comprehensive Survey. **Sensors**, MDPI AG, v. 21, n. 23, p. 8087, dez. 2021. ISSN 1424-8220.
- ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist: Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica. In: p. 69. Disponível em: [🔗](#).
- ANEEL. Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist). In. Disponível em: [🔗](#).
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 956. In. Disponível em: [🔗](#). Acesso em: 21 jul. 2023.
- GARCIA, F. D. et al. Power Metering: History and Future Trends. In: 9. GREEN Technologies Conference. Denver, CO, USA: IEEE, 2017. v. 9, p. 26–33.