

Uma estratégia de *retrofit* para monitoramento energético em sistemas prediais legados

Rubens A. Fernandes* Raimundo C. S. Gomes** Ozenir Dias***
Celso Carvalho* Israel G. Torné** Keven Soares**
Heitor L. N. Silva** Gabriel S. da Rocha**

* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Amazonas, AM, (e-mail: rubens.eng.elet@gmail.com, ccarvalho_@ufam.edu.br)

** Laboratório de Sistemas Embarcados, Universidade do Estado do Amazonas, AM, (e-mail: rsgomes@uea.edu.br, itorne@uea.edu.br, ksdc.seng@uea.edu.br, hlms.eng@uea.edu.br, gsr.ele17@uea.edu.br)

*** Departamento de Eletricidade, Universidade Federal do Amazonas, AM, (e-mail: ofdias@ufam.edu.br)

Abstract: Electric energy management enables the planning and efficient use of this input to improve competitiveness, sustainability and reduce costs for the final consumer. Along with this, the Internet of Things (IoT) paradigm promotes the emergence of solutions for remote energy monitoring, in order to enable strategies for this type of management. However, most of these solutions favor the disposal or replacement of outdated but still necessary elements. Thus, a strategy that allows the retrofit of legacy building systems to implement monitoring resources that help in energy management is necessary. In this sense, this work presents a strategy to enable energy monitoring in legacy building infrastructures using retrofit techniques. To validate the proposal, we developed embedded platforms for monitoring building electrical circuits in a power distribution board and developed a software application to integrate these devices and visualize the acquired data. The results present an alternative to improve energy management through remote monitoring and the maximum use of pre-existing resources.

Resumo: A gestão de energia elétrica possibilita o planejamento e o uso eficiente deste insumo para melhorar a competitividade, sustentabilidade e para reduzir custos para o consumidor final. Junto a isso, o paradigma de Internet das Coisas (IoT) promove o surgimento de soluções para monitoramento energético remoto, a fim de viabilizar estratégias para este tipo de gestão. Contudo, grande parte destas soluções favorecem o descarte ou substituição de elementos desatualizados, porém ainda necessários. Assim, uma estratégia que possibilite o *retrofit* dos sistemas prediais legados para implementar recursos de monitoramento que auxiliem na gestão energética se faz necessária. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma estratégia para viabilizar o monitoramento energético em infraestruturas prediais legadas a partir de técnicas de *retrofit*. Para validar a proposta, desenvolvemos plataformas embarcadas para monitoramento de circuitos elétricos prediais em quadros de distribuição de energia e desenvolvemos uma aplicação em *software* para integração desses dispositivos e visualização dos dados adquiridos. Os resultados apresentam uma alternativa para melhoria da gestão energética através do monitoramento remoto e do aproveitamento máximo dos recursos pré-existentes.

Keywords: energy monitoring; smart buildings; retrofit; Internet of Things; energy management; embedded platforms.

Palavras-chaves: monitoramento de energia; edifícios inteligentes; *retrofit*; Internet das Coisas; gestão energética; plataformas embarcadas.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias para automatização de processos e sistemas. Assim, as soluções emergentes passam a afetar âmbitos socioeconômicos que não a indústria, como residências, instalações prediais e os sistemas elétricos, por exemplo. Parte da evolução tecnológica decorrente do uso dessas soluções se deve aos paradigmas associados às transformações digitais

deste século, como IoT, indústria 4.0, *Smart Grids*, *Smart Cities* e *Smart Buildings* (GOMES et al., 2019). Estes são apenas alguns dos paradigmas que promovem processos de convergência tecnológica para a evolução de estruturas e elementos pré-existentes, mas ainda necessários, denominados de sistemas legados (GIVEHCHI et al., 2017).

Nesse contexto, o setor elétrico mantém grande parte da sua estrutura legada desde a sua concepção e, por isso, pode ser melhorado através da aplicação destes paradig-

mas. Além disso, a energia elétrica é um insumo essencial para realização de muitas atividades cotidianas (CHAU-REY et al., 2004). Dessa forma, a gestão energética torna-se indispensável para um consumo eficiente de energia, assim como a necessidade de empregar tecnologias digitais para monitoramento deste recurso em qualquer diagnóstico e em qualquer lugar. Em sistemas elétricos legados, os métodos para manutenção e gestão do setor elétrico ainda são, em grande maioria, de caráter manual (GOMES et al., 2017). Assim, profissionais especializados ainda são necessários em campo para efetuar a coleta de parâmetros elétricos, dificultando o registro e acesso a esses dados em tempo real ou ocasionando acidentes de campo.

Em modelos de *Smart Grids* e *Smart Buildings*, por outro lado, os processos para atualização dos sistemas legados apresentam-se com inúmeras soluções de IoT para realizar operações de controle e monitoramento remoto, o que possibilita dispensar a atuação do elemento humano (HOY, 2016; KARIMI et al., 2021; CAMPAGNA et al., 2020). Contudo, grande parte dessas soluções possuem alto caráter tecnológico e podem implicar em altos investimentos para prover a interoperabilidade entre os ativos presentes a fim de melhorar a eficácia e eficiência nos processos e serviços. Com isso, a substituição total da estrutura legada passa a ser uma alternativa inviável ou processualmente devagar, caso seja implantada (FERNANDES et al., 2022).

Ainda assim, é possível usufruir da modernização tecnológica a partir de estratégias que possibilitem adaptações tecnológicas graduais e não abruptas aos sistemas pré-existentes, de forma a inserir recursos de automação, comunicação e controle sem o descarte total da estrutura legada. A estratégia de *retrofit*, por exemplo, apresenta-se como uma solução para esta problemática, atuando na transformação tecnológica dos sistemas pré-existentes (CHEN et al., 2020; LAL et al., 2018; CHO et al., 2020; KERR et al., 2020). Dessa forma, essa mesma estratégia poderia ser empregada para atualizar circuitos elétricos prediais legados, disponibilizando recursos de monitoramento remoto em processos de gestão energética e, assim, evitando a ação humana na coleta desses dados e automatizando processos.

Portanto, no presente trabalho, utilizamos uma estratégia de *retrofit* para desenvolver e implementar uma solução de IoT para monitoramento remoto dos circuitos de um quadro predial legado de distribuição de energia. Diferente de outros trabalhos encontrados na literatura, o método proposto possibilita uma interface física e lógica com os circuitos legados sem remover ou substituir qualquer elemento pré-existente. Ao longo deste trabalho, serão descritas as especificações do *hardware* desenvolvido e do *software* para visualização dos dados e integração das plataformas de *hardware*, a nível físico e arquitetural, em conformidade com as interfaces necessárias para interação com os circuitos legados. A validação da estratégia proposta foi realizada através da verificação dos parâmetros de cada circuito do quadro elétrico por meio do *software* desenvolvido. Os parâmetros elétricos obtidos através do sistema são as tensões, correntes, potências e energias ativas, reativas e aparentes e o fator de potência de cada fase, em cada circuito do quadro elétrico. Além disso, mostra-se que é possível adicionar novos recursos no sistema pré-existente, por meio de módulos de *retrofit*

específicos, aproveitando ao máximo a infraestrutura e elementos presentes na instalação.

Para apresentar a proposta deste trabalho, elaboramos as seguintes seções. A seção 2 aborda sobre o conceito de *retrofit* e sobre alguns dos trabalhos relacionados encontrados literatura. A seção 3 apresenta a arquitetura do sistema proposto para implementar o *retrofit* nos circuitos do quadro. As seções 4 e 5 apresentam as especificações de *hardware* e calibração e de comunicações, *firmware* e *software* utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, respectivamente. Em seguida, a seção 6 ilustra os procedimentos utilizados para implantar a estratégia proposta a partir da solução desenvolvida. Por fim, as seções 7 e 8 apresentam os resultados e conclusões obtidos, respectivamente.

2. RETROFIT

A estratégia de *retrofit* consiste na atualização de sistemas antigos ou tecnologicamente ultrapassados, porém ainda necessários (SERI et al., 2021). Normalmente, técnicas de *retrofit* são aplicadas em estruturas prediais e em maquinários legados para preservá-los e atualizá-los, inserindo novos recursos. No entanto, a utilização destas técnicas requer conhecimentos prévios específicos dos elementos e infraestruturas pré-existentes, afim de que possam ser realizadas as devidas interfaces para possibilitar a implantação das funcionalidades desejadas sem causar danos ou acidentes. A literatura expõe trabalhos que apresentam casos de sucesso empregando esta estratégia para viabilizar transformações tecnológicas. ANAND et al. (2015), MARTÍN-GARÍN et al. (2018), MEDINA et al. (2017), por exemplo, apresentam soluções para automação predial por meio de técnicas de *retrofit*. FERNANDES et al. (2022) apresentou um modelo de convergência para atualização de sistemas prediais legados. Por outro lado, GOMES et al. (2019) empregou o *retrofit* para possibilitar transições graduais de plantas de distribuição de energia passivas ao paradigma de *Smart Grids*. Portanto, nota-se o potencial das técnicas de *retrofit* para agregar novas funcionalidades em sistemas desatualizados.

3. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

Neste trabalho, os objetos alvos a receberem novas funcionalidades após o *retrofit* são os circuitos de um quadro elétrico predial legado, conforme apresentado na arquitetura do sistema proposto ilustrada na Figura 1. O termo legado, neste caso, refere-se ao fato de que, anteriormente, os circuitos não possuíam qualquer elemento que proporcionasse a execução de funcionalidades de controle ou de monitoramento remoto. Assim, a estratégia de *retrofit* utilizada para monitoramento dos parâmetros elétricos estabeleceu-se através de uma interface física dotada de conexões para medição da tensão e corrente elétrica de cada circuito.

CHORUANG et al. (2018), HIWALE et al. (2018) e HARTMAN et al. (2018), por exemplo, propuseram métodos similares para implantar dispositivos monofásicos de monitoramento remoto em equipamentos elétricos. Diferente dos trabalhos citados, desenvolvemos um painel contendo dispositivos de tamanho reduzido capazes de monitorar os circuitos de um quadro elétrico. Esta abordagem foi adotada para padronizar e viabilizar a implementação

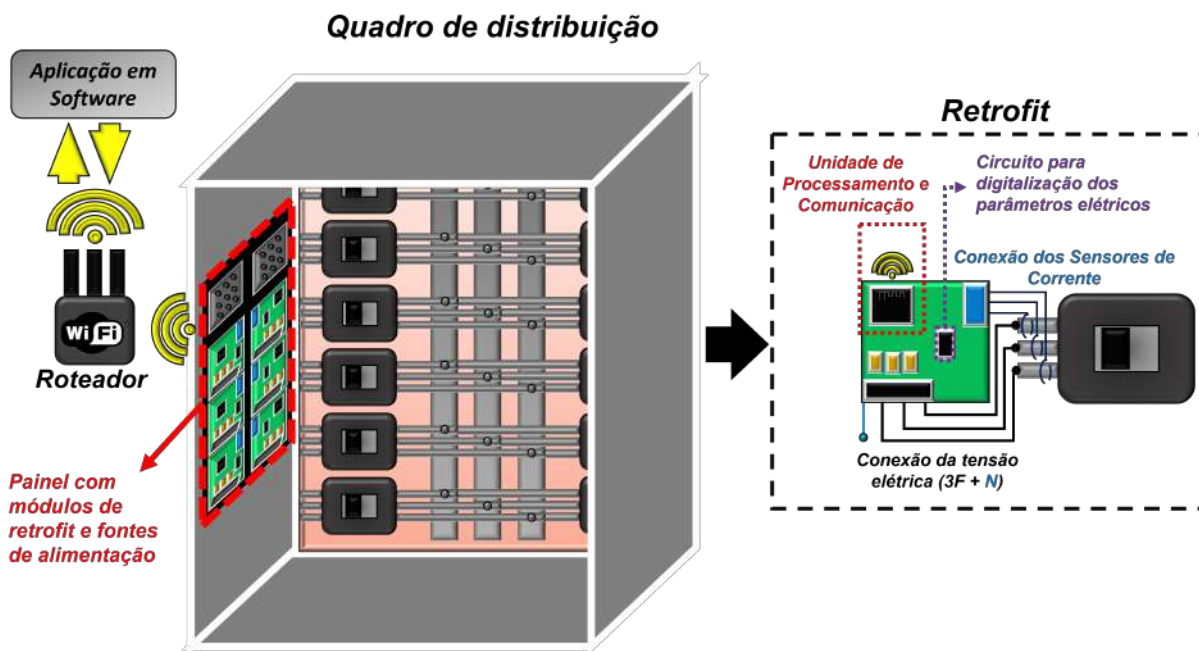


Figura 1. Arquitetura do sistema proposto.

de uma solução de IoT por meio do *retrofit*. Assim, é possível reduzir os impactos visuais em ambientes externos e preservar a instalação elétrica existente, evitando o descarte ou remoção de qualquer insumo presente no circuito (cabos, paredes, pontos de tomada, disjuntores). Denominamos estes dispositivos de módulos de *retrofit*.

Na arquitetura proposta, os módulos de *retrofit* estão agrupados em painéis dentro do quadro e se comunicam via Wi-Fi com um roteador para realizar a troca de dados com uma aplicação em *software*. Ressalta-se que as diretrizes da norma ABNT NBR IEC 61557-12, que especifica a utilização de dispositivos de medição e monitoramento de sistemas elétricos, foram consideradas (ABNT, 2021). Além disso, a proposta prevê métodos para calibração dos parâmetros elétricos obtidos dos módulos desenvolvidos. Fisicamente, os módulos são conectados nas três fases de cada circuito, onde o neutro é referência. A corrente, por sua vez, passa a ser adquirida através de sensores de corrente não invasivos. Utilizamos dispositivos de proteção contra surtos antes de condicionar os sinais de corrente e de tensão obtidos para o circuito de digitalização dos parâmetros elétricos. Um isolador óptico foi empregado para separar o neutro, referência do circuito elétrico e do circuito de digitalização dos parâmetros elétricos, da referência do circuito de processamento e comunicação (GND), a fim de garantir maior confiabilidade ao equipamento. Assim, o sistema conta com duas fontes de alimentação para cada módulo de *retrofit* e uma bateria para o circuito de processamento e comunicação em casos de *outage*. Além disso, o módulo tem uma unidade de processamento dotada de recursos de computação, armazenamento, comunicação serial e comunicação sem fio.

4. ESPECIFICAÇÕES DE *HARDWARE* E DE CALIBRAÇÃO

Na concepção do dispositivo desenvolvido, o módulo ESP-WROOM-32E foi utilizado como unidade de processamento e comunicação (BABIUCH et al., 2019). Para obtenção dos parâmetros elétricos digitalizados, este módulo se comunica de forma serial com o circuito integrado (CI) ADE7758, através do isolador óptico digital. O ADE7758 é um Front-End analógico que obtém os sinais de tensão e corrente elétrica pré-condicionados para, então, processá-los digitalmente (GUIMARÃES et al., 2015). Dessa forma, através de uma interface serial, é possível requisitar os parâmetros de tensões, correntes, frequências, potências e energias ativas, reativas e aparentes por meio de uma unidade de processamento.

A fim de garantir a integridade dos dispositivos contra possíveis adversidades, incluímos dispositivos de proteção contra surtos no circuito de condicionamento de entrada, como tubos de descarga de gás (GDTs), diodos do tipo zener e fusíveis resetáveis com coeficiente de temperatura positivo (PTC). Ainda, incluímos no *firmware* do dispositivo os procedimentos necessários para calibração do CI ADE7758, ajustando seus registros internos conforme especificado no manual de referência técnica até obter erros mínimos nas medições (DEVICES, 2011). De acordo com este manual, a calibração é realizada a partir dos ajustes de ganho e *offset* dos valores calculados e medidos, com base nos valores nominais de potência, tensão e corrente. Utilizando a fonte de precisão PTS 400.3 e uma interface serial com o módulo ESP-WROOM-32E, efetuamos a calibração através de um *script* em linguagem Python prevendo um erro máximo de 1% nos parâmetros esperados. Enfatiza-se que este erro é previsto com base nos valores de referência de tensão e corrente obtidos da fonte de precisão. Os valores dos registros de ganho e *offset* alcançados com a calibração foram armazenados internamente no módulo ESP-WROOM-32E para que estes pudessem ser reutilizados em casos de desligamento ou reinicialização do dispositivo. Enfatizamos que foi previsto um sistema de *backup* de energia, usando uma bateria de 3,7 V Li-Po (polímero de lítio) para manter os circuitos de

processamento de cada painel funcionais a todo momento. Nesses casos, configuramos o módulo ESP-WROOM-32E para atuar em modo de baixo consumo até que a energia proveniente do sistema seja restaurada e volte a alimentar os módulos de *retrofit*.

5. ESPECIFICAÇÕES DE COMUNICAÇÃO, FIRMWARE E SOFTWARE

Para integrar os dispositivos desenvolvidos em uma rede de dados sem fio, foi necessário estabelecer requisitos e especificações para padronizar a comunicação, o *firmware*, o armazenamento e a visualização dos dados. Dessa forma, para reaproveitar ao máximo os recursos da infraestrutura local, conforme preconizado pela estratégia de *retrofit* proposta, utilizamos a rede Wi-Fi local para tráfego de dados. Nela, empregamos a porta TCP 1883 para uso do protocolo MQTT, caracterizado por sua leveza no processo de comunicação e otimizado para uso sob a pilha TCP/IP. O MQTT, por sua vez, requer um servidor (*broker*) para que os clientes possam receber ou publicar dados em tópicos específicos (SANJUAN et al., 2020). Neste trabalho, adotamos o Mosquitto como *broker* local.

A partir disso, estabelecemos um padrão de mensagens no formato JSON, *JavaScript Object Notation*, para enviar ou requisitar informações dos dispositivos. Assim, utilizamos a biblioteca cJSON e a API do protocolo MQTT do *framework* ESP-IDF para implementar o *firmware* das plataformas desenvolvidas. Com as APIs deste mesmo *framework*, elaboramos todas as funções necessárias para operação dos módulos de *retrofit* através do ESP-WROOM-32E, incluindo a programação das interfaces seriais para calibração e comunicação com o CI ADE7758.

Em seguida, foi necessário implementar o *software* para gerenciamento, integração e visualização dos dados obtidos. A linguagem Python foi utilizada para implementar os serviços referentes a estas especificações. Primeiramente, elaborou-se um serviço de comunicação para envio de dados (sincronização de tempo ou ajustes de *firmware*) e para requisição dos parâmetros elétricos a partir de um *timestamp* de 1 segundo via MQTT, com QoS 0. Outro serviço foi implementado para armazenar os parâmetros elétricos obtidos em um banco de dados. O banco utilizado foi o MongoDB, versão 4.3. A visualização dos dados foi realizada através de uma interface gráfica Web, desenvolvida no *framework* Angular, versão 8. Para atualização dos dados de visualização em tempo real, outro serviço foi elaborado como interface para os outros serviços, onde o protocolo websocket foi utilizado na transferência dos dados. Essa descrição das especificações estabelecidas para o *software* do sistema é ilustrada na Figura 2.

6. IMPLEMENTAÇÃO

Os módulos de *retrofit* foram desenvolvidos no *software* Altium 21. A Figura 3 expõe o layout 3D do protótipo destas plataformas. Após a montagem das placas e o *upload* do *firmware*, realizamos os procedimentos de calibração e de testes das funcionalidades do sistema para validar o funcionamento dos protótipos. Em seguida, agrupamos e conectamos nos painéis as fontes de alimentação e 6 módulos de *retrofit* que, posteriormente, foram devidamente

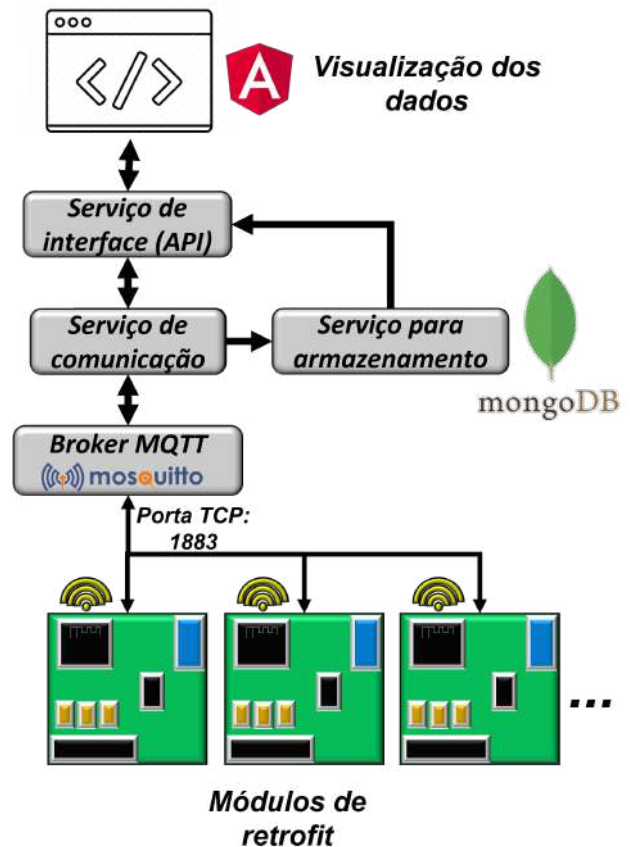


Figura 2. Arquitetura de *software* utilizada.

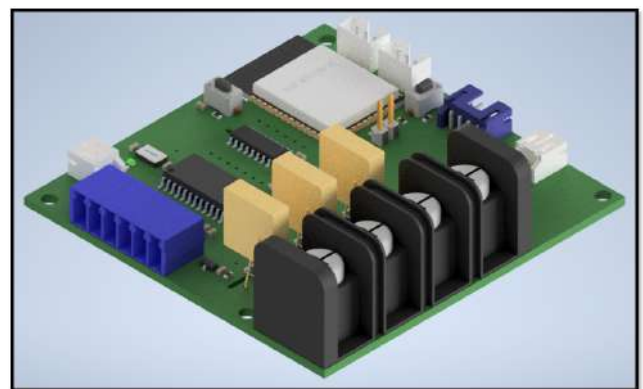


Figura 3. Protótipo dos módulos de *retrofit* para medição.

conectados e associados a cada circuito do quadro. A Figura 5 apresenta o modelo do painel instalado, enfatizando as conexões dos sensores de corrente e as conexões para medição de tensão. De forma análoga, a Figura 4 expõe as conexões realizadas nos disjuntores para que fosse possível realizar a proposta de *retrofit* sobre os circuitos legados do quadro de distribuição de energia.

Utilizamos um computador local para executar os serviços de *software* implementados junto ao *broker* MQTT. Com isso, através da rede Wi-Fi local, foi possível estabelecer comunicação com os dispositivos para alimentar o banco de dados e a interface de visualização dos dados.



Figura 4. retrofit dos circuitos do quadro de distribuição.

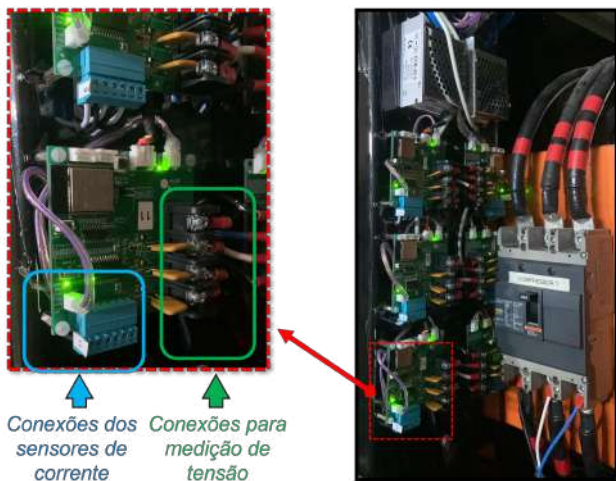


Figura 5. Módulos instalados para medição dos circuitos.

7. RESULTADOS

A atualização do sistema legado por meio da estratégia de *retrofit* proposta possibilitou o armazenamento e a visualização dos parâmetros elétricos de todos os circuitos em tempo real, com impactos mínimos na infraestrutura pré-existente. Assim, não foi necessário descartar ou mesmo substituir qualquer elemento legado. As Figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram, respectivamente, a variação da potência ativa, do fator de potência, da tensão e da corrente elétrica, obtidos do disjuntor de um dos circuitos do quadro de distribuição.

Anteriormente, no quadro onde aplicamos a estratégia proposta, a equipe de manutenção do prédio utilizava um analisador de energia para obter as medições individuais de cada circuito por vez. Dessa forma, os profissionais

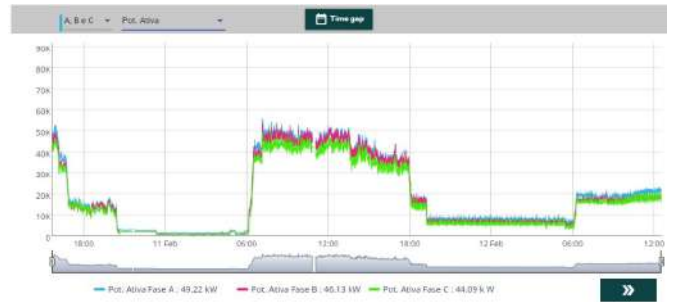


Figura 6. Variação da potência ativa em um dos circuitos.

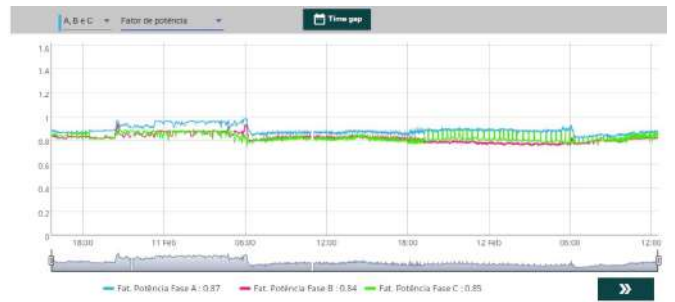


Figura 7. Variação do fator de potência em um dos circuitos.



Figura 8. Variação da tensão elétrica em um dos circuitos.

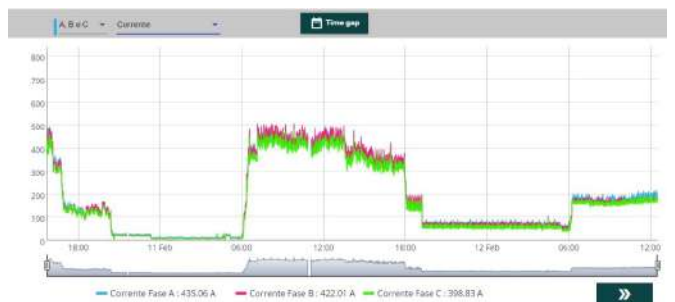


Figura 9. Variação da corrente elétrica em um dos circuitos.

da equipe estavam sujeitos a sofrer acidentes ou mesmo a causar avarias no sistema ao efetuar este processo. A extração, tratamento e carga desses dados em repositórios e bancos de dados também estavam a cargo de profissionais especializados. Além do tempo demandado para estas operações, esses procedimentos impossibilitavam o registro de eventos e medições em tempo real de um conjunto de circuitos. Portanto, os circuitos legados do quadro de distribuição e os processos utilizados para obtenção dos parâmetros elétricos não contribuíam de forma efetiva para gestão energética predial.

Com a verificação dos parâmetros elétricos adquiridos na aplicação em *software* desenvolvida, observou-se a conformidade dos resultados de acordo com a arquitetura do sistema. Isso evidencia o sucesso da implantação da estratégia de *retrofit* sugerida para monitoramento dos circuitos de um quadro elétrico. A partir disso, é possível utilizar essa nova funcionalidade como recurso de gestão para melhorar a eficiência energética e a qualidade de energia no âmbito predial. Uma vez que este método possa se estender para outros quadros de distribuição, infere-se que os seguintes estudos possam ser realizados na instalação:

- (1) Gerenciamento da demanda energética e do fator de potência por circuito;
- (2) Verificação do balanceamento de cargas na instalação;
- (3) Análise da qualidade de energia, através da verificação de *outages*, *sags*, *swells*, transientes e surtos.

Enfatizamos que outros levantamentos também podem ser realizados a partir desses dados. Assim, além da atualização do sistema pré-existente com recursos de monitoramento remoto, a solução proposta pode contribuir para gestão energética predial.

8. CONCLUSÕES

O presente trabalho propõe uma estratégia de *retrofit* para monitoramento energético de circuitos prediais legados. Para isso, desenvolvemos uma solução de IoT composta por uma aplicação em *software* e pelo *hardware* e *firmware* de uma plataforma embarcada capaz de se conectar aos disjuntores de um quadro de distribuição de energia, independente de marca, modelo ou fabricante. O método aborda sobre as interfaces físicas e lógicas necessárias para automatizar o processo de aquisição dos parâmetros elétricos a fim de viabilizar a gestão energética. Com o sistema proposto, foi possível disponibilizar, em tempo real, os parâmetros de energia e potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, tensão e corrente elétrica de cada circuito. No processo de transição do sistema legado ao sistema atual, foi possível manter a infraestrutura pré-existente intacta. No caso, até a própria infraestrutura de rede sem fio legada foi utilizada na implantação do sistema. Mais do que isso, foi possível customizar as funcionalidades implantadas, bastando utilizar a estratégia desenvolvida para realizar as interfaces adequadas. Portanto, a estratégia proposta aponta para um processo de transformação tecnológica não abrupta, o que viabiliza sua implantação em qualquer cenário socioeconômico e auxilia os gestores com recursos de visualização, armazenamento e registro de eventos e parâmetros elétricos em tempo real. Isto diferencia a proposta de monitoramento deste trabalho de outras soluções de mercado, principalmente pela customização da solução às necessidades do usuário. A partir disso, torna-se possível viabilizar a gestão energética, usufruindo desses recursos em estudos para automatizar a análise de parâmetros de qualidade de energia e de eficiência energética no âmbito predial. Em trabalhos futuros, sugerimos a realização de testes com outros quadros de distribuição, a fim de implementar uma rede de *clusters* para monitoramento predial remoto e para realizar estudos de caso para melhoria da eficiência energética e da qualidade de energia na instalação.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2021). NBR IEC 61557-12.
- Anand, A., Vasudevan, R., Bhattacharya, S., Arun, R., and Sivanantham, A. (2015). Retrofit control solutions for old buildings using wsn. In *2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I₄CT)*, 59–63. IEEE.
- Babiuch, M., Foltýnek, P., and Smutný, P. (2019). Using the esp32 microcontroller for data processing. In *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 1–6. IEEE.
- Campagna, N., Caruso, M., Castiglia, V., Miceli, R., and Viola, F. (2020). Energy management concepts for the evolution of smart grids. In *2020 8th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)*, 208–213. IEEE.
- Chaurey, A., Ranganathan, M., and Mohanty, P. (2004). Electricity access for geographically disadvantaged rural communities—technology and policy insights. *Energy policy*, 32(15), 1693–1705.
- Chen, X., Qu, K., Calautit, J., Ekambaram, A., Lu, W., Fox, C., Gan, G., and Riffat, S. (2020). Multi-criteria assessment approach for a residential building retrofit in norway. *Energy and Buildings*, 215, 109668. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109668>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819322959>.
- Cho, H.M., Yun, B.Y., Yang, S., Wi, S., Chang, S.J., and Kim, S. (2020). Optimal energy retrofit plan for conservation and sustainable use of historic campus building: Case of cultural property building. *Applied Energy*, 275, 115313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115313>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920308254>.
- Chooruang, K. and Meekul, K. (2018). Design of an iot energy monitoring system. In *2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*, 1–4. IEEE.
- Devices, A. (2011). Poly phase multifunction energy metering ic with per phase information - ade7758. URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ade7758.pdf>.
- Fernandes, R.A., Gomes, R.C.S., Dias, O., and Carvalho, C. (2022). A novel strategy for smart building convergence based on the smartlvgrid metamodel. *Energies*, 15(3). doi:10.3390/en15031016. URL <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/1016>.
- Givehchi, O., Landsdorf, K., Simoens, P., and Colombo, A.W. (2017). Interoperability for industrial cyber-physical systems: An approach for legacy systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(6), 3370–3378.
- Gomes, R.C.S., Costa, C., Silva, J., and Sicchar, J. (2019). Smartlvgrid platform—convergence of legacy low-voltage circuits toward the smart grid paradigm. *Energies*, 12(13), 2590.
- Gomes, R.C.S., da Costa, C.T., Silva, J.R., and da Silva, P.R.N. (2017). Automation meta-system applied to smart grid convergence of low voltage distribution legacy grids. In *2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, 400–413. IEEE.
- Guimarães, A., Freitas, T., Griner, H., and De Almeida, T. (2015). Smart energy monitoring system with ade7758

- ic. In *2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 1–5. IEEE.
- Hartman, W.T., Hansen, A., Vasquez, E., El-Tawab, S., and Altaï, K. (2018). Energy monitoring and control using internet of things (iot) system. In *2018 Systems and Information Engineering Design Symposium (SI-EDS)*, 13–18. doi:10.1109/SIEDS.2018.8374723.
- Hiwale, A.P., Gaikwad, D.S., Dongare, A.A., and Mhatre, P.C. (2018). Iot based smart energy monitoring. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(03).
- Hoy, M.B. (2016). Smart buildings: an introduction to the library of the future. *Medical reference services quarterly*, 35(3), 326–331.
- Karimi, R., Farahzadi, L., Sepasgozar, S.M., Sargolzaei, S., Sepasgozar, S.M.E., Zareian, M., and Nasrolahi, A. (2021). Smart built environment including smart home, smart building and smart city: Definitions and applied technologies. In *Advances and Technologies in Building Construction and Structural Analysis*. IntechOpen.
- Kerr, N. and Winskel, M. (2020). Household investment in home energy retrofit: A review of the evidence on effective public policy design for privately owned homes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109778. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109778. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120300745>.
- Lal, N.S., Walmsley, T.G., Walmsley, M.R., Atkins, M.J., and Neale, J.R. (2018). A novel heat exchanger network bridge retrofit method using the modified energy transfer diagram. *Energy*, 155, 190–204. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.019. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218308399>.
- Martín-Garín, A., Millán-García, J., Bañri, A., Millán-Medel, J., and Sala-Lizarraga, J. (2018). Environmental monitoring system based on an open source platform and the internet of things for a building energy retrofit. *Automation in Construction*, 87, 201–214.
- Medina, B.E. and Manera, L.T. (2017). Retrofit of air conditioning systems through an wireless sensor and actuator network: An iot-based application for smart buildings. In *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 49–53. doi:10.1109/ICNSC.2017.8000066.
- Sanjuan, E.B., Cardiel, I.A., Cerrada, J.A., and Cerrada, C. (2020). Message queuing telemetry transport (mqtt) security: A cryptographic smart card approach. *IEEE Access*, 8, 115051–115062. doi:10.1109/ACCESS.2020.3003998.
- Seri, F., Arnesano, M., Keane, M.M., and Revel, G.M. (2021). Temperature sensing optimization for home thermostat retrofit. *Sensors*, 21(11), 3685.