



SISTEMA DE MEDIÇÃO ELÉTRICA RESIDENCIAL COM IOT E AUTOMAÇÃO

Bruno Pinto da Cunha Lima^{1*}, Fernando Ribeiro Queiroz Vilas Boas dos Santos², Gabriel Aspera Sampaio³, Kauan Damásio Balbino dos Santos⁴, Murilo Sérgio Mattos da França⁵, João Alberto Castelo Branco Oliveira⁶

¹ Senai Cimatec, Universidade Senai Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

² Senai Cimatec, Universidade Senai Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

³ Senai Cimatec, Universidade Senai Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

⁴ Senai Cimatec, Universidade Senai Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

⁵ Senai Cimatec, Universidade Senai Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

⁶ Senai Cimatec, Sistemas Embarcados, Salvador, Bahia, Brasil

*Bruno Pinto da Cunha Lima: Universidade Senai Cimatec; Salvador, Bahia; cunhalimabruno@gmail.com

Abstract: The increase in residential electricity consumption, together with the growing popularity of connected devices, has driven the demand for smarter and more accessible monitoring solutions. In this context, this work presents the development of an electrical measurement system for residential environments, focusing on energy efficiency, automation, and innovation. The methodology involved the integration of the PZEM-004T sensor with the ESP32 microcontroller, using MODBUS RTU communication, programming through the Arduino Cloud IoT platform, and experimental validation in a laboratory setup. Integration with the Arduino Cloud platform and the Alexa virtual assistant enables real-time monitoring and the automation of corrective actions. The system was validated based on technical standards such as ABNT NBR ISO 10012 and IEC 61010, showing results with an acceptable margin of error for residential applications and demonstrating practical feasibility and operational safety.

Keywords: Energy Efficiency. Electrical Measurement. Internet of Things (IoT). Home Automation.

Resumo: O aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial, aliado à popularização de dispositivos conectados, tem impulsionado a demanda por soluções de monitoramento mais inteligentes e acessíveis. Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de medição elétrica voltado para ambientes residenciais, com foco em eficiência energética, automação e inovação. A metodologia envolveu a integração do sensor PZEM-004T ao microcontrolador ESP32, com comunicação via protocolo MODBUS RTU, programação na plataforma Arduino Cloud IoT e validação experimental em bancada. A integração com a plataforma Arduino Cloud e com a assistente virtual Alexa permite o monitoramento em tempo real e a automação de ações corretivas. O sistema foi validado com base em normas técnicas como a ABNT NBR ISO 10012 e a IEC 61010, apresentando resultados com margem de erro aceitável para aplicações residenciais e demonstrando viabilidade prática e segurança na operação.

Palavras chaves: Eficiência Energética; Medição Elétrica; Internet das Coisas (IoT); Automação Residencial

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do consumo de energia elétrica residencial, impulsionado pela popularização de aparelhos eletroeletrônicos e o aumento populacional, tem gerado preocupações quanto à sustentabilidade do sistema elétrico brasileiro e a necessidade de soluções eficientes. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) [1], o setor residencial representa uma parcela

significativa do consumo global de eletricidade, pressionando os sistemas de geração e distribuição, especialmente em países emergentes como o Brasil. Associado a isso, os elevados custos envolvidos na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica reforçam a necessidade de soluções que



promovam o uso racional e eficiente da eletricidade [2].

O avanço da Internet das Coisas (IoT) tem possibilitado ambientes inteligentes, onde sensores, microcontroladores e atuadores se comunicam em tempo real. No ambiente residencial, essas tecnologias promovem automações que otimizam o consumo e aumentam a segurança das instalações elétricas [3]. Sistemas de medição elétrica embarcados permitem a coleta contínua de grandezas elétricas, viabilizando respostas automatizadas a padrões de consumo específicos [4], sendo essenciais para o controle do consumo e a confiabilidade das instalações [5].

Estudos recentes têm explorado a integração de sistemas de medição elétrica com IoT e automação residencial, utilizando tecnologias como ESP8266, PZEM-004T e ESP32 para monitoramento em tempo real e controle de carga [3, 9, 11]. No entanto, muitos desses trabalhos apresentam limitações quanto à escalabilidade, integração com assistentes virtuais ou conformidade com normas técnicas internacionais.

Com base neste cenário, este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de medição elétrica residencial baseado na integração do sensor PZEM-004T com o microcontrolador ESP32. O sistema contempla medições precisas de parâmetros elétricos, comunicação via protocolo MODBUS RTU e conexão com a plataforma Arduino Cloud, possibilitando o envio de dados para a nuvem e sua visualização por meio de dashboards personalizados. A interação com assistentes virtuais, como a Alexa, permite comandos de voz e automação de dispositivos conectados à rede elétrica residencial [6]. O sistema foi validado com testes comparativos com instrumentos certificados, demonstrando margem de erro aceitável para aplicações residenciais,

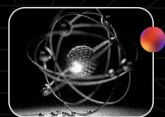
assegurando confiabilidade e segurança operacional.

Além do monitoramento em tempo real, o sistema incorpora funcionalidades de automação de respostas a padrões de consumo elétrico indesejados, como o desligamento automático de circuitos específicos para prevenção de sobrecargas e otimização do consumo energético. Assim, o projeto propõe uma solução prática, escalável e de baixo custo para residências que buscam maior controle sobre o uso da energia elétrica e integração com tecnologias modernas de automação residencial.

Assim, a estrutura deste trabalho se apresenta com a Seção 2 dedicada à fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados à Internet das Coisas, componentes utilizados no sistema, além das normas técnicas que orientaram o desenvolvimento do estudo. Na Seção 3, apresenta-se a metodologia utilizada, descrevendo as etapas experimentais e os critérios adotados para validação. A Seção 4 detalha o desenvolvimento do sistema, enquanto a Seção 5 reúne os resultados obtidos, com análises comparativas e discussão sobre o desempenho. Por fim, a Seção 6 traz as considerações finais, destacando a aplicabilidade da solução proposta, suas limitações e possíveis caminhos para futuras melhorias e expansões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, o objetivo é demonstrar os conceitos, dispositivos e normas técnicas que fundamentam o desenvolvimento do sistema proposto, incluindo os fundamentos da Internet das Coisas (IoT) aplicados à medição elétrica, o funcionamento do sensor PZEM-004T e do microcontrolador ESP32, as plataformas de desenvolvimento como a Arduino Cloud, e as



normas técnicas que garantem a confiabilidade e segurança do sistema.

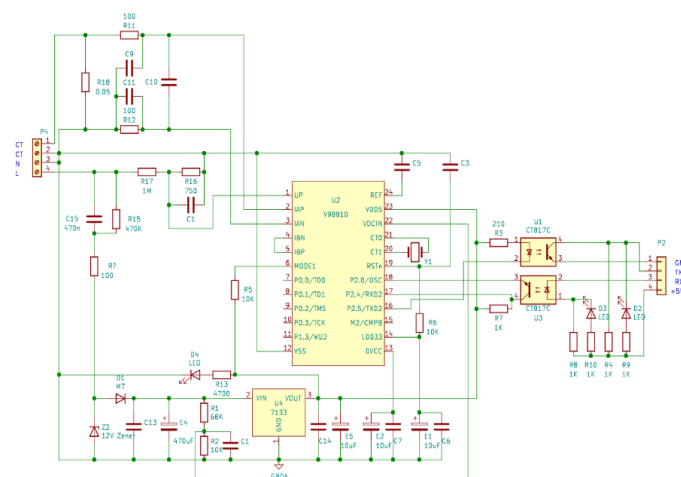
2.1 Equipamentos

Para desenvolver o sistema de medição elétrica, é fundamental conhecer os principais componentes e os conceitos de IoT aplicados ao gerenciamento de energia. O módulo PZEM-004T é amplamente usado em automação e monitoramento, medindo tensão, corrente, potência ativa, energia, frequência e fator de potência, com comunicação serial via Modbus RTU, robusta mesmo em ambientes com ruído eletromagnético [8][9].

Para a medição de tensão, o PZEM-004T utiliza um divisor resistivo conectado à linha de alta tensão (80–260 VAC), que reduz o sinal para níveis seguros e compatíveis com o conversor analógico-digital (ADC) interno. Esse sinal atenuado é convertido para o domínio digital e processado pelo microcontrolador interno do módulo, resultando na medição de valores eficazes (RMS) de tensão [10]. Já a medição de corrente em modelos de 100A, como ilustrado na Figura 1, é realizada por meio de um transformador de corrente (TC) externo que envolve o condutor da carga. Esse transformador gera uma corrente proporcional à carga, que é convertida em tensão é então processada pelo ADC [11].

Os sinais de tensão e corrente são processados por um SoC (System-on-Chip) dedicado, fabricado pela Vango/SDIC, o qual contém um DSP (Processador Digital de Sinais) responsável pelo cálculo de grandezas como potência ativa, energia e fator de potência [9][12]. A comunicação com microcontroladores como Arduino ou ESP32 se dá por meio da interface TTL com protocolo Modbus RTU, facilitando a integração em sistemas embarcados [10].

Figura 1. Esquemático PZEM-004T-100A

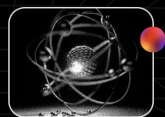


THWC, The Hardware Cave. PZEM, Peacefair energy meter. GitHub, code repository. Fonte, Adaptado de THEHWCAGE. Peacefair PZEM-004T reverse engineering. GitHub, 2021. Disponível em: <https://github.com/TheHWCave/Peacefair-PZEM-004T>.

O microcontrolador ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems, integra conectividade Wi-Fi e Bluetooth (inclusive BLE), apresenta alta capacidade de processamento (até 240 MHz, dual-core), aproximadamente 520 KB de RAM e suporte a diversos protocolos IoT, sendo amplamente utilizado em soluções de automação residenciais [13]. Seu uso viabiliza a comunicação em tempo real com a plataforma Arduino Cloud, facilitando a visualização dos dados e a integração com assistentes virtuais como a Alexa, permitindo comandos por voz e controle automatizado de cargas [14].

2.2 Normas Técnicas

ABNT NBR ISO 10012: estabelece os requisitos para sistemas de gestão de medição, assegurando que os instrumentos utilizados estejam calibrados adequadamente e sejam confiáveis [7]. IEC 60051: define os critérios para instrumentos de medição eletromecânicos, incluindo precisão, estabilidade e resposta [15]. IEC 61010: trata dos requisitos de segurança



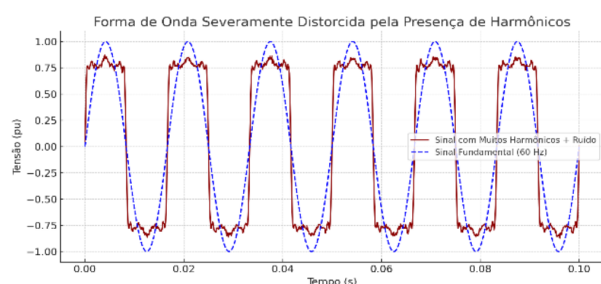
aplicáveis a equipamentos de medição, controle e uso em laboratório, com foco na proteção contra riscos elétricos, mecânicos e térmicos [16]. IEC 61557: aborda a segurança de sistemas de baixa tensão, incluindo medidores de resistência de isolamento, continuidade e dispositivos de proteção [17].

O cumprimento das normas técnicas assegura conformidade com padrões internacionais de qualidade e segurança, além de aumentar a confiabilidade do sistema. Entre os aspectos essenciais está o controle de distúrbios elétricos, como os harmônicos, que afetam o desempenho de sistemas residenciais e industriais.

2.3 Harmônicos

Harmônicos são distúrbios elétricos resultantes da superposição da onda senoidal fundamental com outras de frequências múltiplas inteiras dessa base. Em um sistema de 50 Hz, por exemplo, os harmônicos de 3ª e 5ª ordem correspondem a 150 Hz e 250 Hz. Eles distorcem a forma de onda, aumentando perdas, aquecimento, mau funcionamento de equipamentos e degradando a qualidade da energia [2], como mostra a Figura 2. Também reduzem o fator de potência, diminuindo a eficiência e podendo interferir em sistemas vizinhos. Os de 3ª e 5ª ordem são mais críticos, enquanto os pares e acima da 7ª ordem têm menor impacto [5].

Figura 2. Formas de onda distorcidas pelas harmônicas.



Fonte: Autoria Própria.

Na próxima seção será apresentado como os componentes descritos nessa seção de Referencial Teórico foram utilizados para desenvolver o sistema de medição elétrica residencial

3 Metodologia

A metodologia adotada neste estudo consistiu em etapas sequenciais: definição de requisitos funcionais (medições de tensão, corrente, potência ativa, fator de potência, integração com IoT e assistentes virtuais); implementação de protótipos em bancada com o sensor PZEM-004T e microcontrolador ESP32, utilizando comunicação MODBUS RTU e gerenciamento via plataforma Arduino Cloud IoT para visualização de dados e interação com a assistente virtual Alexa; e validação por meio de testes comparativos com instrumentos certificados em ambiente controlado de laboratório, avaliando a precisão, estabilidade e aderência às normas técnicas.

4 Desenvolvimento do Sistema de Medição Residencial

O sistema de medição elétrica residencial foi projetado, montado e testado com o objetivo de oferecer uma solução acessível e funcional para monitoramento de consumo e automação de cargas. O desenvolvimento ocorreu em etapas práticas, contemplando desde a montagem dos circuitos até a integração com plataformas IoT e assistentes virtuais.

4.1 Montagem do Sistema

Inicialmente, foi feita a montagem do circuito principal utilizando o sensor PZEM-004T (modelo 100A) e o microcontrolador ESP32 DevKit. O sensor foi conectado à rede elétrica de teste por meio de um transformador de corrente tipo *clamp* e entrada de tensão



diretamente da rede (entre fase e neutro), respeitando as recomendações de segurança elétrica. A comunicação entre o sensor e o ESP32 foi realizada através da interface serial TTL utilizando o protocolo MODBUS RTU. Foram utilizados resistores de *pull-up* e optoacopladores para garantir isolamento elétrico e proteção do microcontrolador contra ruídos.

4.2 Integração com a Nuvem

Para o monitoramento remoto, utilizou-se a plataforma Arduino Cloud IoT, com o ESP32 conectado via Wi-Fi e enviando periodicamente dados de tensão, corrente, potência ativa e fator de potência para um dashboard acessível por computador ou smartphone. Foram configurados Web Hooks para interação com dispositivos externos e integrada a assistente Alexa, possibilitando comandos de voz para consulta e acionamento de cargas.

4.3 Programação

Para o desenvolvimento da programação do projeto foi utilizada a plataforma Arduino Cloud IoT, que serviu como alicerce para a programação e depuração do sistema, proporcionando um ambiente unificado que simplifica a administração de aparelhos conectados e a execução de funcionalidades de Internet das Coisas (IoT). Para a coleta das medidas elétricas, foi empregada a biblioteca oficial do sensor PZEM-004T, que oferece funções específicas para a medição de corrente, tensão, potência e fator de potência em valores efetivos (RMS), assegurando maior exatidão nas medições. Os recursos de IoT foram ativados diretamente através dos serviços oferecidos pela plataforma Arduino Cloud, possibilitando a conexão do sistema com assistentes virtuais, particularmente a Alexa e esta integração permitiu o desenvolvimento de comandos de voz e a obtenção de notificações, aumentando a

interatividade e a facilidade de uso do sistema pelos utilizadores.

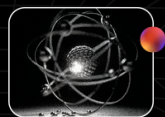
4.4 Automação e Atuação

Implementou-se um sistema de controle com relé de estado sólido, acionado pelo ESP32, capaz de desligar cargas automaticamente diante de consumo anômalo (ex.: sobrecarga ou baixo fator de potência). A lógica, programada na IDE Arduino com base nos parâmetros monitorados, foi testada em bancada com lâmpadas e carregadores, simulando cargas residenciais.

4.5 Validação e Testes

O objetivo da validação foi verificar a precisão das medições e a confiabilidade do sistema desenvolvido em comparação com instrumentos de referência. A validação foi realizada em ambiente de laboratório no Senai Cimatec, conduzida pelos autores sob supervisão do orientador, utilizando uma bancada equipada com cargas residenciais simuladas (como lâmpadas e carregadores) e multímetros digitais certificados. Durante os experimentos, foram coletados dados de tensão, corrente, potência ativa e fator de potência, a fim de comparar os valores obtidos pelo sistema com medições de referência.

Foram realizadas medições comparativas entre o sensor PZEM-004T e os instrumentos certificados. A variação encontrada permaneceu dentro da margem de $\pm 3\%$, considerada aceitável para aplicações residenciais de monitoramento. Embora a norma IEC 62053-21 estabeleça erro máximo de 2% para medidores de energia de classe 2, esse limite se aplica a dispositivos de faturamento. Para sistemas não fiscais, como o aqui proposto, a literatura técnica e a prática indicam que variações de até $\pm 3\%$ são toleráveis, desde que não comprometam a análise de consumo ou a atuação dos dispositivos automatizados.



Três conjuntos de medições foram feitos com diferentes tamanhos de amostra (32, 89 e 144 dados), permitindo análise estatística da precisão. A respeito das incertezas, entende-se que a incerteza do tipo A está relacionada a variações aleatórias nas medições, sendo obtida por meio de análises estatísticas, enquanto a incerteza do tipo B está associada a fontes sistemáticas, geralmente estimadas com base em especificações de instrumentos ou dados técnicos. Neste estudo, a incerteza do tipo A foi calculada a partir do desvio padrão da média das medições realizadas. Já a incerteza do tipo B foi estimada com base nas informações fornecidas no datasheet do módulo sensor PZEM-004T. A combinação dessas incertezas resultou na incerteza padrão combinada, a qual indicou que a principal fonte de erro era sistemática, originada pelo próprio sensor, conforme será melhor detalhado na próxima seção.

5 Resultados e Discussões

Após a implementação, os testes avaliaram o desempenho do sistema, a comunicação entre PZEM-004T e ESP32 e a resposta automatizada a condições anômalas. A leitura da tensão RMS manteve-se estável mesmo com variações súbitas de carga, garantindo confiabilidade no monitoramento. O envio dos dados para a Arduino Cloud foi estável, permitindo acompanhamento remoto e atuação via Alexa. As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, a potência ativa e a corrente elétrica, cujas variações estão associadas ao acionamento periódico de cargas de baixa potência. A Figura 5 apresenta a tensão RMS, com pequenas quedas (de 219,2 V para 218,6 V), e a Figura 6, a energia acumulada (0,453 kWh) e o estado do interruptor virtual.

Figura 3. Potência ativa ao longo do tempo



Fonte: Autoria Própria.

Figura 4. Corrente elétrica ao longo do tempo



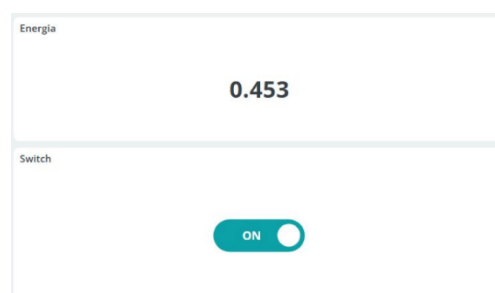
Fonte: Autoria Própria.

Figura 5. Tensão ao longo do tempo

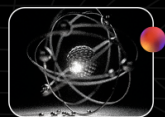


Fonte: Autoria Própria.

Figura 6. Energia consumida e estado do interruptor



Fonte: Autoria Própria.



A visualização em tempo real e o armazenamento das informações em ambiente *on-line* permitiram maior controle dos padrões de consumo e facilitaram a análise posterior. Para validar a qualidade dos dados, realizaram-se análises estatísticas das incertezas associadas às medições. Foram usados três conjuntos de medições (32, 89 e 144 registros), sendo os dois primeiros definidos arbitrariamente e o último limitado pela captura via webhook.

A incerteza do tipo A, associada a variações aleatórias, foi obtida pelo desvio padrão da média: 0,00005107845651 (32 amostras), 0,00003048343728 (89) e 0,00002396501434 (144). A incerteza do tipo B, baseada no datasheet do PZEM-004T e relacionada a limitações de projeto, foi de 0,001 em todos os casos. A incerteza padrão combinada foi calculada pela raiz quadrada da soma dos quadrados das componentes A e B. No caso da potência ativa, como o sensor já realiza internamente o cálculo por produto ponto a ponto das leituras de corrente e tensão, não houve necessidade de modelos de propagação de incertezas, pois os valores são fornecidos já processados.

Os resultados, apresentados na Figura 7, mostram que a incerteza do tipo A foi significativamente inferior à do tipo B em todas as amostras, confirmando sua tendência de redução com o aumento do número de registros. Com isso, a componente A pode ser considerada desprezível estatisticamente, evidenciando que o sistema é altamente estável e reproduzível, com baixa variabilidade entre medições. O erro sistemático constante é atribuído às características internas do sensor, afetando todas as medições de forma semelhante. A predominância da incerteza tipo B (Figura 7) indica que o erro vem de limitações do sensor, não de ruídos externos, assegurando consistência

e confiabilidade para aplicações residenciais, onde a repetibilidade é mais relevante que a exatidão absoluta.

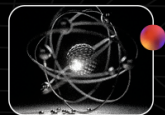
Figura 7. Validação dos Dados

	Inc Corrente	Inc Tensão	Inc Potencia
Media	0,06590909037	216,1585855	6,446875051
Desvio padrão da medida	0,0002889433838	0,2005146713	0,04700903555
N. de Amostras	32	32	32
Desvio padrão da média/ incerteza tipo A	0,00005107845651	0,03544632094	0,00831010195
Incerteza tipo B	0,001	0,1	0,100
Incerteza combinada	0,001001303655	0,1060963791	0,1003446949
	Inc Corrente	Inc Tensão	Inc Potencia
Media	0,06591011182	216,1359546	6,434831523
Desvio padrão da medida	0,0002875801721	0,2032665418	0,0481998744
N. de Amostras	89	89	89
Desvio padrão da média/ incerteza tipo A	0,00003048343728	0,02154621034	0,00510917646
Incerteza tipo B	0,001	0,1	0,100
Incerteza combinada	0,001000464512	0,1022948639	0,1001304334
	Inc Corrente	Inc Tensão	Inc Potencia
Media	0,06590972168	216,186111	6,436111172
Desvio padrão da medida	0,0002875801721	0,1845842147	0,0481998744
N. de Amostras	144	144	144
Desvio padrão da média/ incerteza tipo A	0,00002396501434	0,0153820179	0,0040166562
Incerteza tipo B	0,001	0,1	0,100
Incerteza combinada	0,00100028712	0,1011761161	0,1000806351

Fonte: Autoria Própria.

Adicionalmente, a execução dos testes não revelou nenhuma falha associada à segurança elétrica, e o sistema demonstrou aderência às normas técnicas IEC 61010, voltada à segurança de equipamentos de medição, e IEC 61557, que trata da confiabilidade de sistemas de baixa tensão. Dessa forma, os resultados obtidos atestam a viabilidade do sistema desenvolvido para aplicação prática em ambientes residenciais, com precisão compatível, funcionamento estável e operação segura.

Entre as principais ameaças à validade dos resultados obtidos destacam-se: (i) a limitação do sensor PZEM-004T, que apresenta um erro sistemático associado ao seu projeto interno; (ii) a restrição dos experimentos a um ambiente controlado de laboratório, sem testes em redes residenciais reais que incluam maior diversidade de cargas; e (iii) a ausência de medições em dispositivos de caráter não linear ou de maior complexidade, como motores elétricos e equipamentos com fontes chaveadas. Esses fatores podem limitar a generalização dos resultados, ainda que não comprometam a



análise da viabilidade prática do sistema desenvolvido.

6 Conclusão

O sistema de medição elétrica residencial demonstrou viabilidade técnica e operacional, integrando conectividade IoT e automação para eficiência energética. Apesar do erro sistemático do sensor PZEM-004T, a estabilidade e repetibilidade das medições o tornam adequado para monitoramento e controle residencial.

A integração com Arduino Cloud e Alexa ampliou a interação, permitindo acompanhamento remoto e ações corretivas automatizadas, como desligamento de cargas em sobrecarga. O sistema atende aos requisitos de segurança, normas técnicas e possui potencial de escalabilidade, contribuindo para a modernização da gestão energética residencial e a adoção de práticas sustentáveis.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de técnicas avançadas de processamento de dados e aprendizado de máquina para previsão de consumo e detecção automática de padrões anômalos, permitindo intervenções preventivas mais precisas. A incorporação de sensores de maior precisão e com capacidade de autocalibração poderia minimizar o erro sistemático identificado, elevando a confiabilidade das medições. Além disso, pode ser feita a integração com sistemas de geração distribuída e armazenamento de energia, possibilitando estratégias de otimização baseadas em variáveis como tarifas dinâmicas e disponibilidade de recursos renováveis.

REFERÊNCIAS

- [1] IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Paris: IEA, 2023.
- [2] CAPELLI, Alexandre. Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais. São Paulo: Érica, 2013.

- [3] ALEIXO, Tiago. *Real-Time Energy Monitoring with ESP8266, PZEM-004T & Grafana*. Network & Systems Engineer. Disponível em: tiagoaleixo.dev/projects/power-monitor?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 9 set. 2025.
- [4] CROISSANT, Edwin. Making the PZEM-004T a little bit safer to use. Arduino Forum, 2016.
- [5] ALDABÓ, Ricardo. Qualidade na energia elétrica. São Paulo: Artliber, 2013.
- [6] *Build an IoT AC Energy Meter with PZEM-004T & ESP32 | Real-Time Web Dashboard* [video]. YouTube. Publicado há cerca de 6 meses. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=0igolz-xFS4. Acesso em: 9 set. 2025.
- [7] ABNT. NBR ISO 10012: Sistemas de gestão de medição – Requisitos para os processos de medição e equipamentos de medição. Rio de Janeiro, 2004.
- [8] NECO.ro. PZEM-004T-100A Datasheet.
- [9] *Advanced Prepaid Energy Meter using ESP32 & PZEM-004T* [página em site]. DIYProjectsLabs. Disponível em: diyprojectslabs.com/esp32-prepaid-energy-meter-pz004t/#utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 9 set. 2025. (Título adaptado ao conteúdo do site)..
- [10] CROISSANT, Edwin. Making the PZEM-004T a little bit safer to use. Arduino Forum, 2016.
- [11] INNOVATORSGURU. PZEM-004T V3.0 Datasheet. 2019.
- [12] FÓRUM ARDUINO. New PZEM004T V3.00 and Power Flow Direction. Arduino Forum, 2019. Disponível em: <https://forum.arduino.cc/t/new-pzem004t-v3-00-and-power-flow-direction/597264>
- [13] Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. 2020.
- [14] Arduino Cloud IoT. Documentation and API Reference.
- [15] IEC. IEC 60051: Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments. Geneva, 2016.
- [16] IEC. IEC 61010-1: Safety requirements for electrical equipment. Geneva, 2010.
- [17] IEC. IEC 61557: Electrical safety in low voltage systems. Geneva, 2007.