

ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CAMPI INTELIGENTES

LARISSA VANIEL BONOW¹; ANTONIO CESAR SILVEIRA BAPTISTA DA SILVA²

¹Univeridade Federal de Pelotas – larissabonow@gmail.com

²Univeridade Federal de Pelotas – antoniocesar.sbs@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas energéticos, em âmbitos mundial e nacional, atravessam profundas transformações que demandam uma visão de longo prazo. Temas emergentes como as mudanças climáticas, a transição energética e a evolução das inovações tecnológicas aumentam a complexidade do cenário, no qual se definem o valor das políticas públicas e das organizações. A Agência Internacional de Energia (IEA) aponta para a necessidade de triplicar os investimentos em energias limpas até 2030, sendo que grande parte desse investimento deve ocorrer em países emergentes como o Brasil. Neste contexto, a inovação voltada à eficiência energética é um pilar fundamental, especialmente em instituições públicas, onde o impacto socioeconômico é potencializado.

O consumo de energia em edificações públicas, especialmente em universidades, constitui uma parcela expressiva dos custos operacionais. Segundo a ANEEL (2016), os gastos com energia elétrica representam a terceira maior despesa anual das Universidades Federais, com a climatização de ambientes sendo a principal responsável por essa demanda. A Internet das Coisas (IoT) surge como uma aliada estratégica nesse processo, permitindo o monitoramento, controle e otimização de recursos em tempo real por meio de uma rede de objetos físicos equipados com sensores e conectados à internet. Contudo, a inovação deve ser compreendida para além da dimensão puramente técnica, incorporando os desafios locais e as especificidades operacionais das edificações.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre sistemas de monitoramento de energia elétrica, com foco em soluções tecnológicas de baixo custo e alta replicabilidade aplicáveis em universidades públicas, visando a criação de um ambiente modelo para o gerenciamento e estímulo ao uso consciente da energia.

2. METODOLOGIA

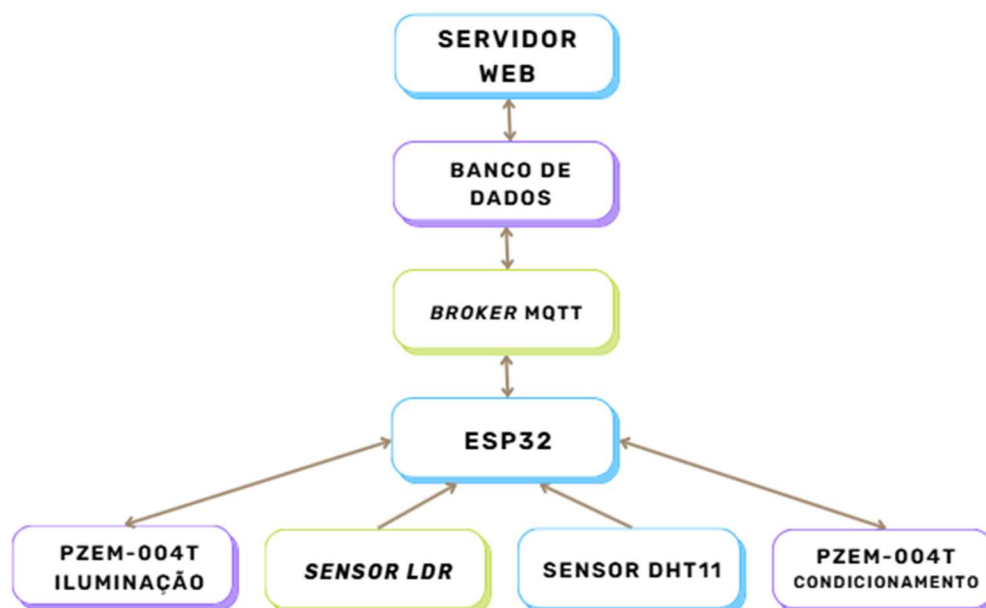
Para fundamentar a seleção de tecnologias, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com base nas diretrizes propostas por Kitchenham (2004). A RSL buscou identificar arquiteturas, *hardwares* e *softwares* aplicados ao monitoramento da eficiência energética, com ênfase nos sistemas de iluminação e climatização, principais responsáveis pelo consumo em edificações públicas. A partir da análise, foi consolidada uma arquitetura geral para o sistema, detalhada a seguir.

2.1 Arquitetura Geral do Sistema

A arquitetura proposta, recorrente na literatura, baseia-se no uso de um microcontrolador ESP32 como unidade de controle local, que centraliza a coleta de dados dos sensores em uma sala ou bloco. A comunicação dos dados coletados

até o servidor é realizada via protocolo MQTT, utilizando a tecnologia de rede LoRaWAN, escolhida por sua eficiência energética e longo alcance, ideal para ambientes de campus universitário. Os dados são então processados, armazenados em um banco de dados e organizados em painéis de visualização (*dashboards*) que permitem o acompanhamento em tempo real e a análise histórica de padrões de consumo, viabilizando ações corretivas e políticas de uso consciente. A estrutura esquemática da solução é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Arquitetura do Sistema



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A seguir, serão detalhados os principais componentes que integram a arquitetura apresentada.

2.2 Componentes do Sistema

- **ESP32:** É um microcontrolador de baixo custo e alta performance, amplamente utilizado em projetos de IoT por suas capacidades integradas de Wi-Fi e Bluetooth. Na arquitetura proposta, ele atua como o nó local de aquisição de dados, sendo responsável pela leitura dos sensores de consumo, luminosidade, temperatura e umidade, e pela transmissão dessas informações ao servidor central.
- **PZEM-004T:** Trata-se de um módulo eletrônico para a medição de múltiplos parâmetros elétricos em circuitos de corrente alternada (AC), como tensão, corrente, potência ativa e energia consumida. Ele se integra ao ESP32 por meio de uma interface serial TTL e é utilizado para monitorar de forma independente os circuitos de iluminação e de climatização.
- **Sensores Ambientais (LDR e DHT11):** O LDR (Resistor Dependente de Luz) é um sensor que varia sua resistência conforme a intensidade luminosa incidente, permitindo medir os níveis de iluminação do ambiente. O DHT11 é um sensor digital que mede a temperatura e a umidade relativa do ar. Ambos são conectados diretamente ao ESP32 e seus dados são utilizados

para correlacionar as condições ambientais com o consumo energético dos sistemas.

- **Protocolos de Comunicação (LoRaWAN e MQTT):** A comunicação é um elemento-chave em IoT. O protocolo LoRaWAN é uma tecnologia de rede de longo alcance e baixo consumo de energia (LPWAN), vantajosa em *campus* universitários, onde as edificações são distribuídas e a cobertura Wi-Fi pode ser instável. O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação do tipo publicador/subscritor, planejado para conexões com baixa largura de banda. Sua arquitetura escalável permite a fácil integração de novos dispositivos ao sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A RSL evidenciou que as instituições públicas de ensino superior operam majoritariamente sob uma lógica de consumo energético passivo, sem sistemas de monitoramento em tempo real ou mecanismos automatizados. Esta ausência revela não apenas uma lacuna tecnológica, mas também uma oportunidade estratégica para convergir eficiência energética, educação ambiental e políticas institucionais sustentáveis.

O sistema proposto, consolidado a partir da literatura, apresenta-se como uma solução de fácil implementação e replicabilidade, sustentado por uma arquitetura modular de baixo custo. Um diferencial importante da arquitetura é o uso da tecnologia LoRaWAN, que se mostra mais adequada que redes Wi-Fi para o contexto arquitetônico das universidades brasileiras, caracterizadas por edificações amplas e segmentadas, onde a cobertura Wi-Fi tende a ser instável ou insuficiente. O protocolo LoRaWAN garante a comunicação de longo alcance com baixo consumo de energia, integrando pontos de medição mesmo em áreas remotas do campus.

Contudo, a análise da literatura apontou uma fragilidade recorrente nos protótipos exploratórios: a utilização de sensores de baixo custo sem a devida análise metrológica. Sensores como o DHT11 e o LDR, embora acessíveis, apresentam limitações em termos de precisão, estabilidade a longo prazo e ausência de processos formais de calibração ou certificação. Poucos estudos detalham metodologias de validação ou comparações com equipamentos certificados, o que compromete a confiabilidade dos dados gerados. Esse panorama reforça a necessidade de uma etapa técnica aprofundada antes da implementação funcional, garantindo que as decisões baseadas nos dados sejam efetivas. A potencial integração do sistema com plataformas educativas e estratégias de gamificação é promissora para o engajamento dos usuários, mas depende diretamente da qualidade e confiabilidade das medições realizadas.

4. CONCLUSÕES

Este estudo consiste na sistematização do conhecimento sobre tecnologias de monitoramento energético para universidades e, fundamentalmente, na identificação de uma lacuna crítica na literatura: a dissociação entre a acessibilidade dos protótipos de baixo custo e a necessária robustez metrológica. Conclui-se que, para as iniciativas de eficiência energética no setor público transcenderem a fase de experimentação e se tornarem políticas de gestão eficazes, é imperativo que futuras pesquisas priorizem a validação e a calibração dos sensores empregados. A contribuição deste estudo é, portanto, apontar um

caminho para o amadurecimento técnico dessas soluções, condicionando o sucesso de sua aplicação à garantia da confiabilidade dos dados. Como trabalhos futuros, propõe-se a prototipagem do sistema em ambiente real na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), contemplando testes de desempenho e ajustes de calibração dos equipamentos, para então avançar para análises de impacto econômico e pedagógico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Chamada pública n.º 001/2016: projeto prioritário de eficiência energética e estratégico de P&D: Eficiência energética e minigeração em instituições públicas de educação superior*. Brasília, DF: ANEEL, 2016.

AL-SARAWI, S.; ANBAR, M.; ALLIEYAN, K.; ALZUBAIDI, M. *Internet of Things (IoT) communication protocols: review*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY – ICIT, 8., Amman, 2017. Proceedings... [S.l.]: IEEE, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2025: ano base 2024*. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

ESPRESSIF. ESP32 Wi-Fi & Bluetooth SoC. Acessado em 20 jul. 2025. Online. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.

LORA ALLIANCE. *LoRa Alliance – Official Website*. Acessado em 31 jul. 2025. Online. Disponível em: <https://lora-alliance.org/>.

PEACEFAIR. *PZEM-004T V3.0 User Manual*. Acessado em 20 jul. 2025. Online. Disponível em: <https://bit.ly/3qc20G9>.

SONI, D.; MAKWANA, A. *A survey on MQTT: a protocol of Internet of Things (IoT)*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATION, POWER ANALYSIS AND COMPUTING TECHNIQUES (ICTPACT-2017), 2017. Anais... p. 173–177.