

MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL VIA MICROCONTROLADORES E INTERFACE WEB EM REACT

Mateus Castelan Pereira¹, Diorgines Mattos Machado²

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um sistema integrado de monitoramento de energia elétrica residencial de baixo custo, combinando o sensor de corrente não invasivo SCT-013, o microcontrolador Arduino Uno R3 e uma interface web desenvolvida em React. O sistema foi projetado para coletar e processar continuamente dados de corrente elétrica, estimando potência, energia consumida e custo por sessão, com armazenamento em banco de dados MongoDB e comunicação via backend em Node.js. A pesquisa, de natureza aplicada e caráter experimental, envolveu a construção do protótipo físico-digital, calibração com alicate amperímetro de referência e testes em ambiente controlado com cargas residenciais. Os resultados demonstraram precisão satisfatória, especialmente em correntes acima de 1 ampère, estabilidade na comunicação entre os módulos e usabilidade adequada da interface web. A solução proposta evidencia a viabilidade técnica e econômica do uso de tecnologias acessíveis para o monitoramento energético doméstico, contribuindo para a conscientização sobre o consumo e para a promoção da eficiência energética no contexto da Internet das Coisas (IoT).

Palavras-chave: eficiência energética; arduino; react; sct-013; internet das coisas.

¹Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), mateuscastelanpereira@gmail.com

²Orientador. Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), diorginesmattos@unesc.net

ABSTRACT: This study presents the development and evaluation of a low-cost integrated system for residential electrical energy monitoring, combining the non-invasive current sensor SCT-013, the Arduino Uno R3 microcontroller, and a web interface developed in React. The system was designed to continuously collect and process electrical current data, estimating power, consumed energy, and session cost, with storage in a MongoDB database and communication via a Node.js backend. The research, of an applied and experimental nature, involved the construction of a physical-digital prototype, calibration with a reference clamp ammeter, and tests conducted in a controlled environment using household electrical loads. The results demonstrated satisfactory accuracy, particularly for currents above 1 ampere, as well as stable communication between modules and appropriate usability of the web interface. The proposed solution highlights the technical and economic feasibility of using accessible technologies for domestic energy monitoring, contributing to consumer awareness and promoting energy efficiency within the context of the Internet of Things (IoT).

Keywords: energy efficiency; arduino; react; sct-013; internet of things.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo tem crescido de forma significativa nas últimas décadas, impulsionado pela expansão do número de unidades consumidoras e pelo aumento do consumo médio por residência, este fenômeno está diretamente relacionado à maior aquisição de eletrodomésticos, ao uso intensivo de sistemas de climatização e à crescente busca por conforto e qualidade de vida. Os estudos apontam que a eficiência energética surge como uma estratégia fundamental, com o objetivo de realizar as mesmas atividades com menor consumo de recursos, por meio do uso de equipamentos sustentáveis e de práticas cotidianas conscientes (Geraldi et al., 2022).

Em 2022 o desperdício de energia elétrica no Brasil foi equivalente ao consumo de cerca de 20 milhões de residências, evidenciando a urgência da adoção de mecanismos, como ferramentas tecnológicas que melhorem o aproveitamento da energia elétrica (Liberalino et al., 2024).

Os sistemas deste tipo permitem não apenas identificar padrões de consumo e detectar desperdícios, mas também promover economia financeira e reduzir impactos ambientais. A utilização conjunta de sensores como o SCT-013 e da plataforma Arduino representa uma alternativa viável

e de baixo custo para esse tipo de aplicação, possibilitando o acompanhamento contínuo da corrente elétrica consumida, facilitando a identificação de ineficiências e incentivando práticas corretivas. Estes sistemas ao integrarem com componentes físicos nas plataformas digitais, ampliam a capacidade de análise e controle do uso de energia, contribuindo de forma significativa para a conscientização do consumidor(Serafim; Varella, 2023).

O sensor SCT-013 possui uma natureza não invasiva, permitindo a medição da corrente elétrica sem a necessidade de conexão direta aos condutores, característica que torna sua instalação simples e segura, o que é ideal para aplicações residenciais. O sensor ao ser integrado com o Arduino, permite tanto a medição contínua da corrente elétrica quanto o cálculo da potência consumida, por meio da multiplicação da corrente pela tensão. Esta estrutura combina baixo custo, facilidade de uso e precisão satisfatória, sendo amplamente empregada em projetos acadêmicos e profissionais voltados à gestão de energia elétrica (Basto et al., 2022).

O Arduino, amplamente reconhecido por sua versatilidade e pelo potencial para prototipagem rápida de sistemas automatizados, adota uma arquitetura aberta e conta com ampla comunidade de suporte, além de ser compatível com diversos sensores. Essa combinação faz do Arduino uma ferramenta acessível e eficaz para projetos de automação, monitoramento e controle, consolidando-o como peça central em iniciativas de inovação tecnológica orientadas a baixo custo e alto impacto(Felisardo; Santos; Galvão, 2023). A integração do Arduino ao sensor SCT-013 oferece base robusta para o monitoramento residencial, enviando os dados para uma interface web que permite acompanhar o consumo de forma contínua, e, no histórico, estimar custos e receber avisos, ajudando o usuário a entender onde está gastando mais e a identificar oportunidades de economia(Kondaveeti et al., 2021).

Diversos estudos recentes têm explorado soluções voltadas ao monitoramento e à medição de energia elétrica utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT), o que reforça a relevância e atualidade do presente trabalho. O pesquisador Junior (2021) desenvolveu um sistema baseado em ESP32 e sensor SCT-013 para monitoramento em tempo real, destacando a necessidade de aprimorar a calibração e a estabilidade das leituras. O estudo de Romancini et al. (2022), apresenta uma arquitetura com ESP32, PHP e MySQL, capaz de exibir gráficos em tempo real e registrar históricos de consumo, contribuindo para a conscientização dos usuários. A pesquisa de Guilmo (2021), propôs um modelo semi-intrusivo com múlti-

plos sensores SCT-013, voltado à análise detalhada por ponto de consumo, demonstrando a viabilidade de sistemas modulares. Na pesquisa de Tsai, Truong e Hsieh (2023), foi desenvolvida uma solução sem fio com Arduino e ESP32, priorizando privacidade e comunicação local, embora com limitações de calibração. A proposta apresentada por El-Khozondar et al. (2024) apresenta um sistema inteligente de monitoramento em tempo real utilizando ESP32 e a plataforma Blynk, com boa estabilidade e potencial de expansão para múltiplos pontos de medição. Estes estudos evidenciam o avanço das tecnologias acessíveis para eficiência energética residencial e sustentam a proposta deste trabalho, que integra sensores SCT-013, plataforma Arduino e interface web em React para oferecer uma solução moderna, de baixo custo e alto impacto social.

Diante do cenário de crescente demanda por eficiência energética e monitoramento do consumo elétrico em ambientes residenciais, este trabalho tem como propósito o desenvolvimento de um sistema integrado, capaz de coletar, registrar e analisar continuamente dados de corrente elétrica. O projeto busca unir sensores e microcontroladores a uma interface web desenvolvida em React, oferecendo uma solução acessível e interativa para acompanhamento do uso de energia. Para atingir esse propósito, o estudo abrange o funcionamento do sensor SCT-013 e sua aplicação prática na medição de corrente elétrica, explora o potencial da plataforma Arduino na integração com sensores e no desenvolvimento de sistemas de monitoramento, propõe a implementação de um protótipo funcional que una hardware e software em um fluxo contínuo de coleta e visualização de dados e, por fim, analisa os resultados obtidos para identificar padrões de consumo e propor melhorias na eficiência energética das residências.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza experimental e tecnológica, dedicada ao desenvolvimento de um sistema de monitoramento de corrente elétrica e estimativa de energia/custo para uso residencial. A construção do protótipo foi estruturada em duas etapas principais:

- I. Levantamento teórico-técnico sobre sensores de corrente do tipo transformador de corrente (CT), dispositivos não invasivos utilizados para medir a corrente elétrica em um condutor, microcontroladores e métodos de estimativa de grandezas elétricas, além de soluções web para coleta, armazenamento e visualização;

II. Desenvolvimento e integração do sistema físico-digital, abrangendo o módulo coletor, o serviço de backend e a aplicação web.

2.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO-TÉCNICO

Nesta etapa foi realizado um levantamento sobre consumo energético residencial, sensores de corrente e plataformas de desenvolvimento baseadas em microcontroladores, além de arquiteturas web para coleta, armazenamento e visualização de dados. Foram consultados estudos sobre consumo de energia elétrica no setor residencial e eficiência energética (Geraldi et al., 2022; Romancini et al., 2022; Liberalino et al., 2024), trabalhos que empregam o sensor SCT-013 e microcontroladores em sistemas de monitoramento (Junior, 2021; Guilmo, 2021; Basto et al., 2022), e pesquisas que discutem o uso de plataformas acessíveis e Internet das Coisas, como Arduino, ESP32 e soluções web (Kondaveeti et al., 2021; Felisardo; Santos; Galvão, 2023; Tsai; Truong; Hsieh, 2023; El-Khozondar et al., 2024). As referências selecionadas concentram-se no período de 2020 a 2025 e deram suporte tanto aos fundamentos de amostragem e estimação de corrente eficaz quanto à definição de indicadores de consumo compreensíveis ao usuário, como potência, energia acumulada e custo. Consideraram-se também formas de integração entre os componentes físicos e o sistema digital, com ênfase em trocas de dados estruturadas e serviços web, de modo a viabilizar a coleta, o armazenamento e a visualização das medições.

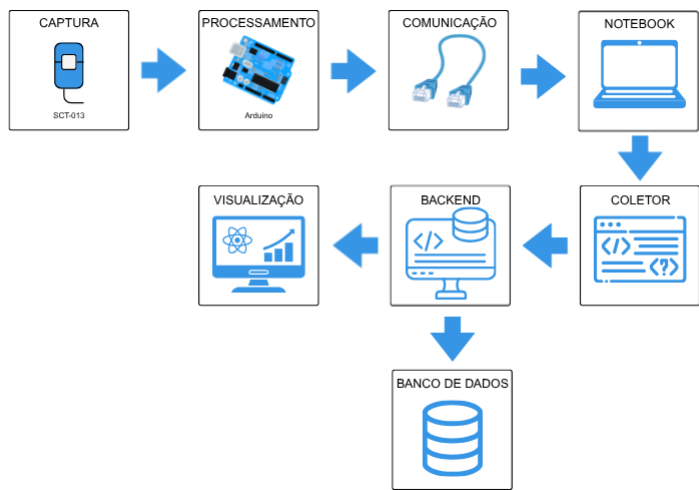
2.1.1 Análise de Requisitos do Sistema

Na Figura 1 apresenta-se o fluxo completo do sistema, desde a captura do sinal elétrico pelo sensor até o registro no banco de dados e a exibição na interface web. O diagrama destaca as etapas de aquisição, processamento, transmissão e persistência, além da consulta pela aplicação, evidenciando a integração entre os módulos físico e digital.

Foram definidos requisitos funcionais que cobrem o ciclo completo de uso, desde a aquisição contínua dos valores de corrente pelo módulo coletor até a apresentação de informações consolidadas ao usuário. Entre as capacidades essenciais estão a coleta contínua, o armazenamento estruturado das amostras, o cálculo automático de potência, energia acumulada e custo, a visualização por meio de gráficos e indicadores na aplicação web, a gestão do ciclo de sessões com início e encerramento, a inclusão de observações por sessão e a exportação de resumos em for-

mato tabular para apoio a análises externas.

Figura 1 - Fluxo de dados do sistema



Fonte: Do autor, (2025).

Em paralelo, estabeleceram-se requisitos não funcionais voltados à qualidade do sistema, como interface simples e responsiva, estabilidade na comunicação entre os módulos, persistência confiável com integridade dos dados, precisão compatível com o uso residencial e rastreabilidade por meio de registros de sessão. Considerou-se ainda a robustez frente a desconexões temporárias do coletor, a clareza na apresentação das métricas e a possibilidade de evolução do software sem impacto no hardware já implantado.

2.1.2 Estrutura de Codificação e Cálculos Energéticos

O fluxo de dados do sistema representado na Figura 1 inicia na captação do sinal de corrente alternada pelo sensor SCT-013-000 acoplado ao condutor. Em seguida, o Arduino Uno R3 amostra o sinal, remove o nível de contínua e estima a corrente eficaz com base em janelas de amostragem, definidas como conjuntos de amostras sucessivas do sinal em um curto intervalo de tempo, emitindo leituras em formato JSON pela porta serial. Um programa coletor desenvolvido em Node.js e executado no computador conectado ao Arduino lê a porta serial, registra o instante de cada leitura e envia esses dados por HTTP para o serviço de backend. Antes do início das medições, a aplicação web solicita ao servidor a criação de uma sessão de medição, que registra o aparelho selecionado, a tarifa adotada e o horário de início. Ao receber cada requisição com uma leitura de corrente, o backend desenvolvido em Node.js com o framework Express inicia

o processamento verificando se o identificador de sessão informado está ativo e associado ao aparelho correto, rejeitando leituras com sessão inexistente ou encerrada. Em seguida, o servidor valida a estrutura dos dados e grava a amostra no banco de dados MongoDB junto com o instante de coleta, o valor de corrente eficaz, o identificador da sessão e o identificador do aparelho. A aplicação web em React consulta a API para apresentar métricas, gráficos e resumos com atualização periódica em intervalos de aproximadamente 1 segundo

No servidor, cada amostra foi persistida com o instante de coleta, o valor de corrente eficaz e os identificadores da sessão e do dispositivo. A potência aparente foi estimada a partir da tensão nominal de 220 volts segundo

$$P = I_{\text{rms}} V \quad (1)$$

A energia acumulada em uma sessão resultou da soma das contribuições elementares ao longo do período de amostragem de um segundo, conforme

$$E = \sum_{k=1}^N I_{\text{rms}}(k) V \Delta t \quad (2)$$

O custo estimado em reais foi obtido a partir da energia total e da tarifa informada no início da sessão, de acordo com

$$\text{Custo}_R = (E/1000) \times \text{Tarifa} \quad (3)$$

As equações 1, 2 e 3 seguem as definições de potência aparente, energia elétrica e consumo acumulado em sistemas de corrente alternada apresentadas em Tsai, Truong e Hsieh (2023) adaptadas para o contexto de amostragem do protótipo.

A aplicação web consultou a API do servidor para apresentar ao usuário os indicadores consolidados de potência média, energia e custo por sessão, além de gráficos temporais de corrente e potência e mensagens de alerta sobre picos de demanda, favorecendo a interpretação rápida do consumo. A tarifa por quilowatt-hora utilizada no sistema foi obtida a partir de uma fatura residencial da Celesc referente a outubro de 2025. Nessa fatura, o valor por kWh resultou da soma da Tarifa de Energia (TE), igual a 0,385725 reais por kWh, e da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), igual a 0,447710 reais por kWh, acrescidas da cobrança adicional da bandeira tarifária vermelha, de 0,091679 reais por kWh. As bandeiras

tarifárias, que podem assumir, por exemplo, as cores verde, amarela ou vermelha, funcionam como um mecanismo de sinalização que aumenta ou não o valor final da fatura conforme as condições de geração de energia no sistema elétrico. No período considerado, a incidência da bandeira vermelha resultou em um valor total de 0,925114 reais por kWh, adotado no protótipo como 0,91 reais por kWh por arredondamento conservador, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Fatura Celesc

Itens de Fatura	Unid.	Qtd.	Preço unit. c/ trib. (R\$)	Valor (R\$)	COFINS/ PIS (R\$)	Base Cál. ICMS (R\$)	Alíquota ICMS (%)	ICMS (R\$)	Tarifa unit. (R\$)
(0D) Consumo TE	KWH	131,000	0,385725	50,53	2,29	50,53	12,00	6,06	0,321930
(0E) Consumo TUSD	KWH	131,000	0,447710	58,65	2,65	58,65	12,00	7,04	0,373750
(2U) Band. Vermelha	KWH	131,000	0,091679	12,01	0,55	12,01	12,00	1,44	0,076494
SUBTOTAL				121,19					
(C0) COSIP Municipal		0,000	0,000000	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000000
SUBTOTAL				9,70					

Fonte: Do autor, (2025).

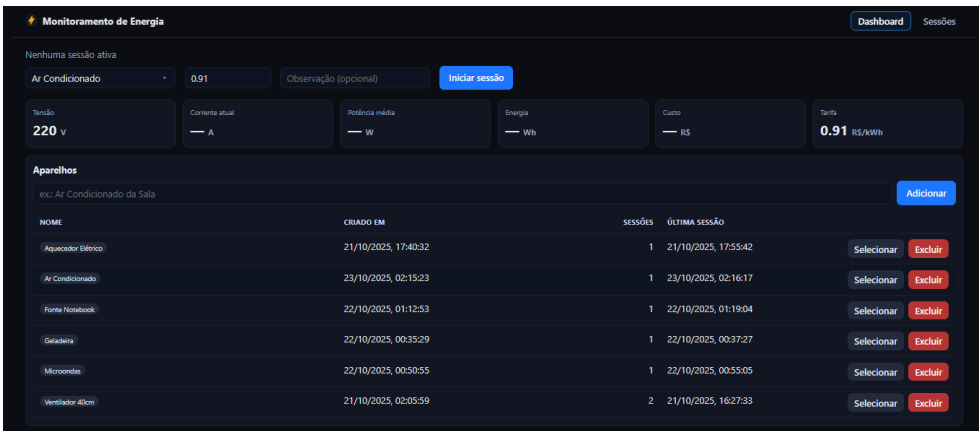
Os testes foram conduzidos em ambiente controlado com cargas residenciais de diferentes faixas de potência, incluindo ventilador de mesa, aquecedor elétrico, geladeira, micro-ondas, fonte de notebook e aparelho de ar-condicionado de 7.500 BTU, de modo a representar situações comuns de uso em residências. Nessas condições, as correntes medidas pelo protótipo variaram aproximadamente de 0,1 A, em cenários de baixa demanda, até cerca de 5,7 A, em cargas de maior potência, cobrindo uma faixa típica de algumas dezenas de watts até pouco mais de 1 kW em 220 V. A precisão das leituras de corrente e potência foi verificada por comparação direta com um multímetro digital com função de alicate amperímetro utilizado como instrumento de referência em laboratório, realizando medições sucessivas para cada condição de carga e calculando o erro relativo entre o valor indicado pelo protótipo e o valor medido pelo instrumento de referência. Em seguida, avaliou-se a integridade da comunicação entre coletor e servidor mantendo sessões contínuas de leitura e verificando se o número de amostras recebidas pelo backend em intervalos de um segundo coincidia com o esperado, sem perdas registradas nos logs de execução. A estabilidade do armazenamento em banco de dados foi verificada por meio da inspeção dos registros gravados no MongoDB após essas sessões, conferindo a presença, a consistência e a associação correta das amostras a cada sessão de medição. A responsividade da interface web foi observada durante o acompanhamento contínuo das leituras e na navegação pelas telas de histórico e detalhes, avaliando se indicadores e gráficos

eram atualizados de forma fluida, sem travamentos ou atrasos perceptíveis ao usuário.

O diferencial do sistema esteve na combinação de acessibilidade econômica e praticidade de uso. O emprego de hardware de baixo custo integrado a uma interface intuitiva desenvolvida em React tornou a solução adequada para ambientes residenciais e educacionais. A arquitetura modular e o código aberto favoreceram evoluções futuras, como acionamento automático de cargas, geração de relatórios personalizados e incorporação de algoritmos de recomendação voltados à redução do consumo.

A interface foi concebida com foco em usabilidade e acessibilidade. O desenho privilegia hierarquia visual clara, linguagem direta e ações evidentes, com botões visualmente destacados, área de clique suficiente para facilitar a seleção e rótulos explícitos. A implementação foi realizada em React 19.1.1 e Vite 7.1.6, com estilos em CSS próprio. O dashboard inicial concentra o acompanhamento contínuo da sessão ativa, onde o usuário escolhe o aparelho, informa a tarifa e inicia a sessão, e os indicadores mostram tensão, corrente, potência média, energia e custo, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Dashboard



Fonte: Do autor, (2025).

Quando a sessão está ativa, o cabeçalho local exibe aparelho selecionado, horário de início, tarifa aplicada e o que foi incluído no campo observação, o botão Encerrar sessão permanece visível, os cartões atualizam os valores consolidados e o gráfico é alimentado a cada segundo, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Sessão ativa de leitura



Fonte: Do autor, (2025).

A listagem de sessões salvas organiza o histórico por aparelho e permite filtrar, excluir e exportar. Cada linha apresenta início, fim, duração em minutos, energia em watt-hora, custo em reais e o campo observação, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Sessões salvas

The screenshot shows the 'Sessões' table with columns: APARELHO, INÍCIO, FIM, DURAÇÃO (MIN), ENERGIA (WH), CUSTO (R\$), and OBS. There are buttons for 'Excluir Seleccionadas', 'Excluir Todas Listadas', 'Exportar Seleccionadas (CSV)', 'Exportar Listadas (CSV)', and 'Exportar Todas (CSV)'. The table lists several sessions for different appliances.

APARELHO	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (MIN)	ENERGIA (WH)	CUSTO (R\$)	OBS.	Ações
☐ Ar Condicionado	23/10/2025, 02:16:17	23/10/2025, 03:16:17	59.98	680.226	0.6190	7500bits	Abrir
☐ Fonte Notebook	22/10/2025, 01:19:04	22/10/2025, 02:19:04	59.98	69.768	0.0635	—	Abrir
☐ Microondas	22/10/2025, 00:55:05	22/10/2025, 00:56:13	1.12	19.508	0.0178	1 minuto	Abrir
☐ Geladeira	22/10/2025, 00:37:27	22/10/2025, 00:50:45	13.28	35.691	0.0325	Fora de Repouso	Abrir
☐ Aquecedor Elétrico	21/10/2025, 17:55:42	21/10/2025, 18:55:42	59.98	1208.068	1.0993	Nível 3 (Alto)	Abrir
☐ Ventilador 40cm	21/10/2025, 16:27:33	21/10/2025, 17:27:33	59.98	59.238	0.0539	Velocidade 1 (Alta)	Abrir
☐ Ventilador 40cm	21/10/2025, 02:06:19	21/10/2025, 03:06:20	59.98	37.487	0.0341	Velocidade 3 (Baixa)	Abrir

Fonte: Do autor, (2025).

Na tela de sessões salvas, ao clicar no botão Abrir ao lado de umas das sessões, será aberta a tela de detalhes da sessão salva. A tela apresenta identificação da sessão, aparelho, horários, duração acumulada e total de amostras. Os cartões resumem tensão, potência média, energia, custo e tarifa, e também, estão disponíveis ações para baixar o resumo em CSV, retornar e alternar entre gráfico de corrente e gráfico de potência, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Detalhes de sessão salva



Fonte: Do autor, (2025).

2.1.3 Organização dos Dados Cadastrados

O armazenamento foi estruturado em MongoDB com três coleções principais. A coleção de dispositivos registra o identificador e o rótulo de cada aparelho. A coleção de sessões guarda o vínculo com o aparelho, os instantes de início e fim, a observação inserida pelo usuário e a tarifa informada no começo da medição. A coleção de amostras persiste o instante de coleta e a corrente eficaz, sempre associadas à sessão e ao aparelho correspondentes. Indicadores de consumo como potência média, energia acumulada, custo estimado e duração em minutos são obtidos a partir das amostras e expostos pela API para uso direto na interface.

Para análise e registro externo, o sistema oferece exportação em CSV com cabeçalhos descritivos, datas e valores prontos para planilhas, conforme a Figura 7. Há três modos de exportação. O primeiro gera o resumo de uma sessão específica. O segundo exporta exatamente as sessões listadas após a aplicação de filtros. O terceiro reúne apenas as sessões marcadas pelo usuário. Essa organização facilita consulta, auditoria e compartilhamento dos resultados.

Figura 7 - Tabela exportada do sistema

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Sessão	Aparelho	Obs	Início	Fim	Duração	Amostras	Corrente méd	Corrente p	Potência mé	Energia (V	Custo (R\$)	Tensão	Tarifa (R	Intervalo de an
2	68f9e	Ar Condiciona	7500l	23/10/2025	23/10/2025	59,98	3564	3,1232	3,207	687,1	680,226	0,619	220	0,91	1
3	68f85	Fonte Notebook		22/10/2025	22/10/2025	59,98	3563	0,3204	0,592	70,49	69,7676	0,0635	220	0,91	1
4	68f85	Microondas	1 min	22/10/2025	22/10/2025	1,12	67	4,7646	5,903	1048,2	19,5082	0,0178	220	0,91	1
5	68f85	Geladeira	Fora c	22/10/2025	22/10/2025	13,28	790	0,7393	0,782	162,64	35,691	0,0325	220	0,91	1
6	68f7f	Aquecedor Elé	Nível	21/10/2025	21/10/2025	59,98	3568	5,5405	5,593	1218,9	1208,07	1,0993	220	0,91	1
7	68f7c	Ventilador 40c	Veloc	21/10/2025	21/10/2025	59,98	3567	0,2718	0,276	59,79	59,2381	0,0539	220	0,91	1
8	68f71	Ventilador 40c	Veloc	21/10/2025	21/10/2025	59,98	3574	0,1716	0,18	37,76	37,4874	0,0341	220	0,91	1

Fonte: Do autor, (2025).

2.2 DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DO SISTEMA FÍSICO E DIGITAL

A etapa de desenvolvimento e integração resultou no protótipo funcional do sistema de monitoramento de corrente elétrica, com comunicação contínua entre os módulos de hardware e o ambiente de software. Foram implementadas rotinas de coleta, tratamento e exibição dos dados para garantir operação integrada e atualização contínua.

O sistema foi projetado para ler os valores de corrente no coletor, processar as informações e enviar os resultados ao serviço web por meio de APIs com dados em JSON. A aplicação apresenta os indicadores na interface e mantém o histórico em banco de dados, preservando consistência entre captura, processamento e visualização.

O desenvolvimento seguiu abordagem iterativa e incremental, com ciclos curtos de implementação, calibração e validação. Na calibração, o fator de conversão do sensor de corrente SCT-013-000 e as rotinas de cálculo de corrente eficaz no Arduino foram ajustados por comparação direta das leituras do protótipo com as leituras de um multímetro digital com alicate amperímetro utilizado como referência, sob diferentes cargas residenciais, até alinhar os valores ao longo da faixa de interesse. Na validação, as correntes indicadas pelo sistema foram confrontadas com as medições do instrumento de referência por aparelho, calculando-se o erro absoluto e relativo, além de se verificar, ao longo de sessões contínuas, a integridade da comunicação entre coletor e servidor, a consistência dos registros gravados no MongoDB e a atualização fluida dos indicadores na interface web. Essa dinâmica permitiu ajustes progressivos de desempenho e aprimorou a precisão das estimativas apresentadas ao usuário.

Os processos foram conduzidos em um notebook Dell G15 com processador Intel Core i7, 32 GB de memória RAM e armazenamento SSD de 1 TB, operando sob o sistema operacional Windows 11. As principais ferramentas utilizadas para programação, simulação e integração incluíram a IDE Arduino 2.3.6 para o desenvolvimento do firmware no microcontrolador, o ambiente Node.js 22.12.0 com a biblioteca SerialPort 13.0.0 para o coletor, o framework Express 5.1.0 com o driver oficial MongoDB 6.20.0 no backend e o framework React 19.1.1 em conjunto com o empacotador Vite 7.1.6 na aplicação web, todas obtidas em plataformas gratuitas disponíveis na internet e nos laboratórios do curso de Ciência da Computação da UNESC, complementadas por recursos próprios do acadêmico.

Na etapa de validação de precisão, utilizou-se o mesmo multíme-

tro digital com função de alicate amperímetro da marca Foxlux empregado na calibração do protótipo, no arranjo ilustrado na Figura 8. Para cada carga residencial registraram-se pares de correntes, uma medida pelo sistema e outra pelo instrumento de referência, e, com base nessas comparações foram ajustados os fatores de conversão do sensor e verificada a estabilidade da comunicação, do armazenamento e da interface.

Figura 8 - Leitura de corrente de um ventilador



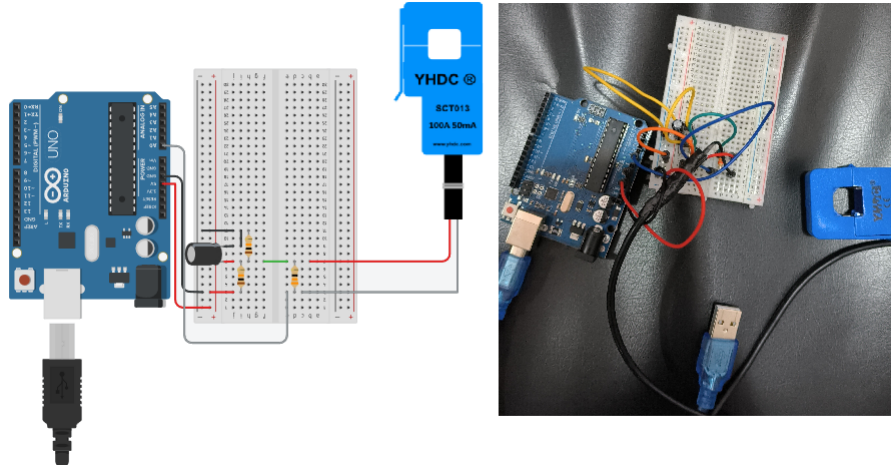
Fonte: Do autor, (2025).

2.2.1 Desenvolvimento do Hardware

O protótipo físico foi construído com um sensor de corrente não invasivo do tipo transformador de corrente modelo SCT-013-000, um microcontrolador Arduino Uno R3, uma placa de ensaio e um pequeno estágio analógico para condicionamento do sinal. A Figura 9 mostra o esquema padronizado das ligações e o protótipo montado.

O sensor envolve um único condutor da carga e fornece no secundário uma corrente proporcional à corrente do circuito monitorado, garantindo isolamento entre rede elétrica e eletrônica. Essa corrente é convertida em tensão por um resistor de carga de 33Ω ligado à entrada analógica. O sinal alternado é deslocado para metade da alimentação por um divisor resistivo de $10\text{ k}\Omega$ mais $10\text{ k}\Omega$ entre 5 V e terra, e esse ponto médio é filtrado por um capacitor eletrolítico de $10\text{ }\mu\text{F}$ para reduzir ruído e estabilizar a referência. Um resistor em série de $1\text{ k}\Omega$ limita a corrente na entrada. O sinal condicionado segue para o pino A0 do Arduino, que realiza a amostragem, enquanto a alimentação e a comunicação com o computador ocorrem pelo cabo USB tipo A para tipo B.

Figura 9 - Esquema do circuito



Fonte: Do autor, (2025).

Após a montagem foi ajustado o fator de conversão que relaciona a tensão no burden à corrente eficaz apresentada ao usuário. Esse fator depende do ganho do transformador de corrente, do valor real do burden e da resolução do conversor do Arduino. A calibração foi realizada por comparação direta das leituras do protótipo com as leituras de um multímetro digital com função de alicate amperímetro da marca Foxlux, utilizado como instrumento de referência nos ensaios. As medições foram feitas passando apenas um condutor pela garra do instrumento, de modo a evitar cancelamento magnético e obter a corrente real da carga. Para cada condição de carga, incluindo ventiladores, geladeira, micro-ondas e fonte de notebook, foram registradas as correntes indicadas pelo sistema e pelo instrumento de referência, ajustando-se o fator de conversão até alinhar as leituras ao longo do intervalo de interesse. O procedimento confirmou a necessidade de medir sempre um único fio do circuito, nunca o cabo completo com ida e retorno, e reforçou a vantagem do isolamento provido pelo transformador de corrente.

2.2.2 Desenvolvimento do Software

O sistema foi estruturado em quatro camadas que operam em fluxo contínuo. O firmware no Arduino Uno R3 estima a corrente eficaz e publica leituras na serial a cada 1s. Um coletor em Node.js recebe essas mensagens, acrescenta o instante de tempo e envia os dados ao serviço web por meio de HTTP. O backend em Express persiste amostras e sessões em MongoDB e calcula resumos de potência média, energia e custo. A aplicação web em React apresenta indicadores e gráficos com atualização periódica em intervalos de aproximadamente 1 segundo.

No microcontrolador, o programa amostra o canal analógico A0, calcula a média para remover o nível de contínua e em seguida computa a raiz média quadrática do componente alternado em janelas de 4000 amostras. A conversão usa V_{ref} medida em 4,95 V e resolução de 1024 níveis. A tensão eficaz é dividida por um resistor burden de 33Ω para obter a corrente no secundário e depois multiplicada por 2000 para estimar a corrente no primário. Aplica-se um ganho de calibração inicial igual a 0,070. Após a medição bruta o valor recebe uma correção linear em dois trechos contínuos com três âncoras definidas por pares de alvo e valor medido, sendo elas 0,250 A para 0,110 A, 0,330 A para 0,220 A e 4,320 A para 5,500 A. Valores muito baixos são anulados por uma faixa morta de 0,03 A para reduzir ruído próximo de zero. Em seguida aplica-se média móvel exponencial com α de 0,30 para estabilizar a leitura. A cada 1s o firmware registra linhas de log com valores bruto, corrigido e filtrado e publica um objeto JSON na serial com a chave `irms`. A porta opera em 115200 baud. Esse fluxo entrega leituras coerentes e estáveis para o coletor em computador.

O coletor foi implementado em Node.js com SerialPort 13.0.0. O processo aceita duas formas de entrada, JSON com a chave `irms` e linhas textuais de log, extrai o último valor válido, carimba o instante de coleta e envia amostras ao serviço web por meio de requisições POST. O intervalo de envio é de 1s e a mensagem contém o instante no formato ISO e o valor de corrente eficaz em ampère. Em caso de indisponibilidade de rede o coletor registra mensagens de advertência e tenta novamente no ciclo seguinte.

O serviço web foi desenvolvido em Express 5.1.0 com driver MongoDB 6.20.0 e CORS habilitado. O backend expõe rotas para iniciar e encerrar sessões, receber amostras, consultar resumos, listar e excluir sessões, além de exportar relatórios em CSV. Cada amostra recebida passa por validação de sessão ativa e intervalo de expiração e é armazenada com os campos instante, `irms`, identificador da sessão, identificador do aparelho e rótulo do aparelho. As consultas de resumo calculam quantidade de amostras, duração em segundos, corrente média e de pico, potência média, energia em Wh e custo a partir da tarifa definida na sessão. Para exportação, as rotas de CSV formatam datas em padrão local, convertem campos numéricos para duas a cinco casas decimais conforme o indicador e oferecem filtros por sessão, por listagem atual e por seleção de identificadores.

O banco de dados MongoDB armazena três coleções com modelo simples. A coleção `sessions` guarda identificador, aparelho, rótulo do

aparelho, início, fim, tarifa e observação. A coleção `samples` guarda instante, irms, identificador de sessão, identificador de aparelho e rótulo de aparelho. A coleção `devices` guarda rótulo, rótulo normalizado e datas de criação e atualização. Índices de unicidade garantem nome único para aparelhos. Esse arranjo facilita agregações por sessão e por aparelho, além de simplificar a limpeza em massa durante testes.

A aplicação web foi desenvolvida em React 19.1.1 e Vite 7.1.6, com estilos em CSS próprio, adotando navegação de página única. Três telas principais organizam o uso, sendo o painel de monitoramento, a listagem de sessões e a tela de detalhes de sessão. No painel, o usuário escolhe o aparelho, informa a tarifa em reais por quilowatt-hora e pode registrar uma observação antes de iniciar a sessão. Quando a sessão está ativa, o cabeçalho exibe aparelho, horário de início, tarifa e observação, mantendo o botão Encerrar sessão sempre visível, enquanto cartões numéricos mostram tensão, corrente, potência média, energia e custo e um gráfico de linhas acompanha a evolução da corrente ao longo do tempo.

A listagem de sessões apresenta o histórico em forma de tabela, permitindo filtrar por aparelho, excluir registros selecionados e exportar os dados em formato CSV. Cada linha da tabela traz aparelho, início, fim, duração em minutos, energia em watt-hora, custo em reais e observação, além de uma ação Abrir que leva à tela de detalhes. Essa tela reúne, em uma única visão, identificação do aparelho, horários de início e fim, duração total, número de amostras e os valores consolidados de energia e custo, com a possibilidade de alternar entre gráficos de corrente e potência e de baixar o resumo em arquivo CSV.

A comunicação com o servidor é feita por chamadas assíncronas que consultam, em intervalos de aproximadamente 1 segundo, o estado da sessão, os resumos calculados e as amostras recentes. As respostas alimentam os indicadores e gráficos sem recarregar a página. Preferências como o último aparelho selecionado e a tarifa mais utilizada são preservadas em armazenamento local do navegador, facilitando usos repetidos. Datas e horários são exibidos em formato local e as grandezas numéricas seguem casas decimais fixas adequadas a cada indicador, enquanto mensagens discretas informam situações como ausência de dados ou conclusão do carregamento, mantendo o feedback constante ao usuário. O exportador usa parâmetros de localidade para vírgula decimal e separador adequado. O arquivo resultante leva nomes que incluem o identificador da sessão quando aplicável.

O gráfico usa elementos de linha, texto e grade em SVG. Os cartões de indicadores usam a mesma paleta e tipografia para reforçar hierarquia visual. A tabela de sessões aplica cabeçalhos claros, alinhamento numérico nas colunas de medidas e elipse de observações longas com dica de ferramenta ao passar o cursor. A caixa de diálogo de confirmação de exclusão apresenta título, mensagem e dois botões com foco lógico e bloqueio de repetição durante a operação. Os elementos nativos conservam navegação por teclado e rótulos de título e de ajuda. Caixas de seleção por linha recebem rótulos internos para anunciar a sessão alvo. Mensagens discretas informam quando a lista está vazia ou quando não há dados suficientes para o gráfico.

Esse conjunto entrega uma visão ampla e coerente do sistema. O usuário inicia e encerra sessões, acompanha as curvas com atualização periódica em intervalos de aproximadamente 1 segundo, revisita o histórico com filtros, exporta relatórios e mantém a base limpa durante o ciclo de testes. Tudo ocorre em uma única página com respostas rápidas, estados previsíveis e organização que prioriza leitura imediata e tomada de decisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As sessões de medição foram consolidadas a partir do exportador do sistema. Para cada sessão foram obtidos início, fim, duração em minutos, quantidade de amostras, corrente média em ampère, corrente de pico em ampère, potência média em watt, energia acumulada em watt-hora e custo estimado em reais. A Tabela 1 apresenta o resumo por sessão, com uma linha por aparelho e por execução do experimento. Essa tabela foi gerada a partir de um arquivo exportado do sistema.

Tabela 1 - Resumo das sessões

Aparelho	Observação	Duração min	Corrente média A	Corrente pico A	Potência média W	Energia Wh	Custo R\$
Ar condicionado	7500 BTUs	59,98	3,123	3,207	687,1	680,226	0,62
Fonte notebook	—	59,98	0,320	0,592	70,49	69,768	0,06
Micro-ondas	1 minuto	1,12	4,765	5,903	1048,2	19,508	0,02
Geladeira	Fora de repouso	13,28	0,739	0,782	162,64	35,691	0,03
Aquecedor elétrico	Nível 3 alto	59,98	5,541	5,593	1218,9	1208,068	1,10
Ventilador 40 cm	Velocidade 1 alta	59,98	0,272	0,276	59,79	59,238	0,05
Ventilador 40 cm	Velocidade 3 baixa	59,98	0,172	0,180	37,76	37,487	0,03

Fonte: Elaborado pelo autor.

A validação de precisão foi realizada por comparação entre as leituras do protótipo com sensor SCT-013 e as leituras de um alicate amperímetro da marca Foxlux. Para cada condição de carga foi registrado o par de correntes, uma do sistema e outra do instrumento de referência. A Tabela 2 apresenta a comparação por aparelho, com a corrente obtida pelo

sistema, a corrente medida no alicate, o erro absoluto em ampère e o erro relativo em porcentagem.

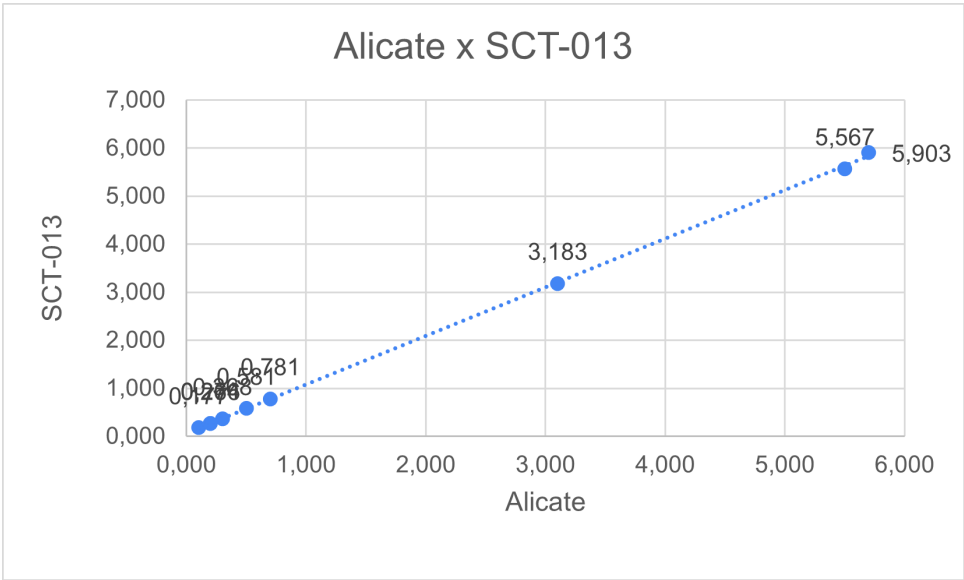
Tabela 2 - Comparação entre correntes do sistema e do alicate

Aparelho	Corrente alicate A	Corrente sensor A	ΔI A	Erro %	Observação
Ventilador 40 cm	0,1	0,177	0,077	77,00%	Velocidade 3 baixa
Ventilador 40 cm	0,2	0,274	0,074	37,00%	Velocidade 1 alta
Aquecedor elétrico	5,5	5,567	0,067	1,22%	Nível 3 alto
Geladeira	0,7	0,781	0,081	11,57%	Fora de repouso
Micro-ondas	5,70	5,903	0,203	3,56%	1 minuto
Fonte notebook	0,50	0,581	0,081	16,20%	Jogo aberto
Fonte notebook	0,3	0,368	0,068	22,67%	Navegador e vídeo abertos
Fonte notebook	0,2	0,266	0,066	33,00%	Apenas navegador
Ar Condicionado de Janela	3,1	3,183	0,083	2,68%	7500 BTUs

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 10 representa esses dados em forma de gráfico de dispersão.

Figura 10 - Gráfico de dispersão



Fonte: Do autor, (2025).

Na comparação entre o protótipo e o alicate, observou-se que o desvio absoluto ficou em torno de 0,07 A em vários cenários, o que faz o erro relativo subir quando a corrente é pequena e cair à medida que a corrente aumenta. Em correntes moderadas e altas os erros ficaram baixos, como no aquecedor com 1,22%, no micro-ondas com 3,56% e no ar condicionado com 2,68%. Em faixas mais baixas os percentuais cresceram por causa do denominador menor, como a geladeira com 11,57%, a fonte de notebook com diferentes intensidades de uso entre 16% e 33% e o ventilador com configurações de velocidades diferentes entre 37% e 77%. Esses resultados indicam que o sistema é adequado para estimativas de potên-

cia, energia e custo em uso residencial, com maior confiança nas correntes acima de 1 A.

A partir das sessões individuais foi elaborado o perfil de consumo por aparelho. A energia acumulada em Wh resume o gasto no período medido e a potência média em W expressa a exigência típica durante o uso. A Tabela 3 apresenta, para cada aparelho, a duração da sessão, a potência média, a energia total, a energia por minuto e o custo por minuto, adotando a tarifa de R\$ 0,91 por kWh.

Tabela 3 - Perfil de consumo por aparelho

Aparelho	Duração (min)	Potência média (W)	Energia (Wh)	Tarifa (R\$/kWh)	Energia/min (Wh/min)	Custo (R\$/min)
Ventilador 40 cm vel. baixa	180	37,76	113,28	0,91	0,629	0,0006
Ventilador 40 cm vel. alta	180	59,79	179,37	0,91	0,997	0,0009
Micro-ondas	15	1048,20	262,05	0,91	17,470	0,0159
Geladeira	360	162,64	975,84	0,91	2,711	0,0025
Ar condicionado janela	180	687,10	2061,30	0,91	11,452	0,0104
Aquecedor elétrico	60	1218,90	1218,90	0,91	20,315	0,0185
Fonte notebook	600	70,49	704,90	0,91	1,175	0,0011

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o tempo de uso varia entre aparelhos, a métrica energia por minuto permite comparações justas de custo operacional. O micro-ondas tem potência média alta, porém a energia por minuto permanece contida devido ao uso curto. Ventiladores exibem potência média baixa, mas com uso prolongado a energia acumulada cresce de forma linear e passa a influenciar o gasto ao fim do dia. O ar-condicionado combina picos na partida do compressor com um patamar de operação contínua, de modo que a duração torna-se o principal determinante do custo. Já o aquecedor elétrico concentra o maior custo por minuto entre os itens avaliados, enquanto ventiladores e a fonte de notebook permanecem na faixa de milésimos de real por minuto.

Com base nas potências médias observadas e na tarifa de R\$ 0,91 por kWh foram elaboradas projeções mensais para cenários de uso típicos. O procedimento é direto: energia diária em Wh igual a potência média em W multiplicada pelo tempo diário de uso em minutos e dividida por 60; energia mensal em kWh igual à energia diária multiplicada por 30 e dividida por 1000; custo mensal em reais igual à energia mensal em kWh multiplicada pela tarifa.

A Tabela 4 reúne projeções mensais de custo por aparelho a partir da potência média medida no protótipo, do tempo diário de uso e da tarifa de R\$ 0,91 por kWh em um período de 30 dias.

Tabela 4 - Projeções mensais por aparelho

Aparelho	Potência média (W)	Tempo diário (min)	Energia mensal (kWh)	Custo mensal (R\$)
Geladeira	162,64	360	29,275	R\$ 26,64
Micro-ondas	1.048,20	15	7,862	R\$ 7,15
Aquecedor elétrico	1.218,90	60	36,567	R\$ 33,28
Ventilador 40 cm vel. baixa	37,76	180	3,398	R\$ 3,09
Ventilador 40 cm vel. alta	59,79	180	5,381	R\$ 4,90
Ar condicionado janela	687,10	180	61,839	R\$ 56,27
Fonte notebook	70,49	600	21,147	R\$ 19,24

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que cargas de alta potência com uso prolongado, como aquecedor e ar-condicionado, concentram a maior parcela do gasto mensal, enquanto aparelhos de potência elevada e uso breve, como o micro-ondas, geram custo reduzido ao fim do mês. Entre as cargas de baixa potência, os ventiladores apresentam impacto moderado, e a fonte de notebook, embora de menor potência, pode representar custo relevante devido ao tempo de uso estendido. Para a geladeira, adotou-se 360 minutos diários de compressor ligado como referência, valor prudente que pode ser ajustado conforme estação do ano e hábito de abertura de porta. A análise conjunta de potência média, energia e custo mensal torna explícita a contribuição individual de cada aparelho na fatura de energia.

Em comparação com trabalhos correlatos, observa-se que estudos que realizam medições de tensão e fator de potência relatam erros reduzidos na estimativa de potência e energia, validando seus resultados com instrumentos comerciais. O protótipo desenvolvido, por sua vez, estima a potência a partir da corrente eficaz e de uma tensão de referência de 220 V, motivo pelo qual não é apropriado comparar diretamente os percentuais de erro de potência com os estudos citados, ainda assim, as tendências observadas mostraram-se coerentes com o comportamento esperado, pois as cargas resistivas apresentaram patamares estáveis, enquanto cargas com motor exibiram picos durante a partida e um regime de operação definido.

4 CONCLUSÃO

O sistema proposto demonstrou ser possível monitorar o consumo de energia elétrica residencial com baixo custo e boa usabilidade especialmente em equipamentos com correntes altas, integrando o sensor SCT-013, a plataforma Arduino e uma interface web desenvolvida em React. O protótipo entregue registrou e apresentou o consumo de forma simples e clara, auxiliando o usuário na compreensão dos pontos de maior gasto.

Durante o desenvolvimento, as principais dificuldades concentraram-

se na calibração em correntes baixas, na sensibilidade a ruídos e na variação das cargas reais em ambiente doméstico. A utilização de tensão nominal fixa e a ausência de medição do fator de potência limitaram a precisão das estimativas, especialmente em cargas indutivas. Os picos de partida exigiram janelas e filtros mais estáveis, e eventuais instabilidades de comunicação geraram lacunas nos dados, demandando ajustes e testes prolongados.

Para os trabalhos futuros, recomenda-se a inclusão de suporte às bandeiras tarifárias e à tarifa branca, com aplicação automática conforme o horário de consumo, e também se sugere a adição de medição de tensão para o cálculo de potência ativa e fator de potência, bem como a implementação de alertas configuráveis, melhorias que tornarão o sistema mais preciso, robusto e adequado para uso contínuo em residências reais.

O projeto confirma a viabilidade de um sistema acessível e replicável para o monitoramento energético residencial, contribuindo para a disseminação de estudos e pesquisas em tecnologias sustentáveis para promoção da eficiência energética no contexto da Internet das Coisas (IoT).

REFERÊNCIAS

BASTO, S. M. et al. **Proposta de um sistema de monitoramento remoto do consumo energético como estratégia de eficiência energética na instituição de ensino**. 2022, Realize Editora, Campina Grande. Acesso em: 2 de set. 2025. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/88669>>.

EL-KHOZONDAR, H. J. et al. **A smart energy monitoring system using esp32 microcontroller**. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 2024, v. 9, p. 100666. ISSN 2772-6711. Acesso em: 2 de set. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671124002468>>.

FELISARDO, R. J. A.; SANTOS, G. Nicolau dos; GALRÃO, D. **G. Uso do arduino como ferramenta de prototipagem para desenvolvimento de dispositivos automáticos: Uma revisão**. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, 2023, v. 8, n. 1, p. 11–26. Acesso em: 2 de set. 2025. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/11325>>.

GERALDI, M. et al. **Análise longitudinal do consumo de energia elétrica do setor residencial no brasil**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2022, v. 19, n. 1, p. 1–14. Acesso em: 4 de jul. 2025. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2005>>.

GUILMO, J. A. **Sistema semi-intrusivo de monitoramento de energia elétrica residencial**. 2021. Acesso em: 3 de set. 2025. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/36449>.

JUNIOR, F. B. a. **Monitoramento do consumo de energia elétrica em tempo real**. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, 2021, v. 1, n. 1, p. e210828. Acesso em: 5 de set. 2025. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/828>.

KONDAVEETI, H. K. et al. **A systematic literature review on prototyping with arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations**. Computer Science Review, 2021, v. 40, p. 100364. ISSN 1574-0137. Acesso em: 4 de set. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013721000046>.

LIBERALINO, A. L. R. et al. **Consumo consciente de energia elétrica: Da escola para a comunidade**. Caderno Impacto em Extensão, 2024, v. 5, n. 2. Acesso em: 4 de set. 2025. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/2610>.

ROMANCINI, E. M. R. et al. **Monitoramento inteligente do consumo de energia elétrica em residências utilizando recursos de iot**. Proceedings of Computer on the Beach (COTB'22), 2022, v. 1. Acesso em: 4 de set. 2025. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/acotb/article/view/18743>.

SERAFIM, A. S. N.; VARELLA, F. K. d. O. M. **Eficiência energética no setor residencial: desenvolvimento de um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica**. 2023. Acesso em: 5 de set. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/ee2c90e1-02bb-4a10-8f19-0d2edb03390f>.

TSAI, H.-L.; TRUONG, L. P.; HSIEH, W.-H. **Design and evaluation of wireless power monitoring iot system for ac appliances**. Energies, 2023, v. 16, n. 1. ISSN 1996-1073. Acesso em: 5 de set. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/163>.