



FACULDADES
DOM BOSCO

VINÍCIUS SALES RODRIGUES

Monitoramento de Energia Elétrica de Baixo Custo em Sistemas Monofásicos

Resende - RJ
2025

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE**

Vinicius Sales Rodrigues

Monitoramento de Energia Elétrica de Baixo Custo em Sistemas Monofásicos

Trabalho de Graduação apresentado à
Associação Educacional Dom Bosco,
Faculdade de Engenharia de Resende,
Curso de Engenharia Elétrica, como requisito
parcial para obtenção do diploma de Bacharel
em Engenharia Elétrica

Resende - RJ
2025

Catálogo na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

R696 Rodrigues, Vinícius Sales
Monitoramento de energia elétrica de baixo custo em sistemas monofásicos / Vinícius Sales Rodrigues - 2025.
76 f.

Orientador: Carlos Magno Rodrigues Vasques
Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia elétrica. 2. Energia elétrica. 3. Eficiência energética. 4. Automação. I. Vasques, Carlos Magno Rodrigues. II. Faculdade de Engenharia de Resende. III. Associação Educacional Dom Bosco. IV. Título.

CDU 537.214(043)



VINÍCIUS SALES RODRIGUES

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHARIA ELÉTRICA ELETRÔNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

BANCA EXAMINADORA:

Prof.: MSc. CARLOS MAGNO RODRIGUES VASQUES

Orientador

Prof.: DSc. LUIZ FERNANDO RIBAS MONTEIRO

Coorientador

Prof.: MSc. TIAGO DUARTE AMORIM

Membro da Banca

Prof.(a): Esp. BIANCA AZEVEDO SALGADO

Membro da Banca

dedico este trabalho
de modo especial, à minha família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, fonte suprema da vida, da sabedoria e da graça, por me conceder força, discernimento e perseverança em cada etapa desta caminhada. A Ele, toda a minha gratidão pela vida, pela inteligência e pela presença constante em todos os momentos.

Agradeço profundamente aos meus orientadores, Prof. MSc. Carlos Magno Rodrigues Vasques e Prof. DSc. Luiz Fernando Ribas Monteiro, pela orientação competente, pela dedicação incansável e pelas valiosas contribuições que tornaram este trabalho possível. O incentivo, a paciência e o comprometimento de ambos foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo e para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Expresso meu sincero agradecimento aos meus pais, Domingos Vitalino Rodrigues e Vilma de Jesus Sales Rodrigues, por todo amor, sacrifício e apoio incondicional. Mesmo diante das dificuldades, sempre acreditaram em mim e incentivaram meus estudos, sendo o alicerce e a inspiração da minha trajetória.

Agradeço também aos funcionários das Faculdades Dom Bosco, pela dedicação, atenção e alegria no atendimento, que tornam o ambiente acadêmico mais humano e acolhedor.

Por fim, estendo minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho — amigos, colegas e professores — cujo apoio e companheirismo foram essenciais nesta jornada.

“A fé e a razão são como duas asas pelas
quais o espírito humano se eleva para a
contemplação da verdade”

São João Paulo II

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um medidor de energia elétrica de baixo custo e com dispositivos acessíveis, buscando entender se a aplicação do medidor é útil e cumpre a finalidade de mensurar as variáveis importantes em uma residência. Para coletar as informações necessárias, foi feito um estudo de caso em uma residência onde o protótipo está instalado para o monitoramento contínuo do consumo elétrico para realizar os cálculos e retornar as informações desejadas. Também foi feito um questionário com um grupo de pessoas da região para entender a situação referente ao controle de energia elétrica nessas residências. Os resultados obtidos apontam um bom funcionamento do protótipo, sendo o sensor capaz de realizar a leitura correta e precisa da corrente elétrica. O algoritmo proposto é capaz de realizar os cálculos conforme desejado e o servidor *web* tem a capacidade de transmitir as informações de forma precisa e em tempo real. Portanto, este trabalho é capaz, mesmo com suas limitações, de monitorar corretamente a rede elétrica de uma residência e facilitar a visualização do usuário.

PALAVRAS-CHAVE: Arduino. Eficiência Energética. Programação. Automação. Consumo elétrico.

ABSTRACT

This work aims to develop a low-cost electrical energy meter using accessible devices, seeking to determine whether the application of the meter is useful and fulfills the purpose of measuring the main electrical variables in a household. To collect the necessary data, a case study was carried out in a residence where the prototype was installed for continuous monitoring of electrical consumption, allowing the calculations to be performed and the desired information to be obtained. A questionnaire was also conducted with a group of people from the region to understand the current situation regarding energy control in their homes. The results show that the prototype operates effectively, with the sensor capable of accurately reading the electrical current. The proposed algorithm successfully performs the required calculations, and the web server is capable of transmitting the information accurately and in real time. Therefore, despite its limitations, this work is able to correctly monitor the electrical network of a residence and facilitate user visualization.

KEYWORDS: Arduino. Energy Efficiency. Programming. Automation. Electrical consumption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arduino	23
Figura 2 - SCT-013 100A	24
Figura 3 - Fluxo Metodológico.....	27
Figura 4 - Código arduino	28
Figura 5 - Tela do MySQL <i>workbench</i>	29
Figura 6 - Código <i>Python</i>	29
Figura 7 - Montagem na protoboard.....	30
Figura 8 - Sensor SCT-013 instalado no relógio	31
Figura 9 - Tela de login do grafana.....	33
Figura 10 - Usuário e senha inseridos	33
Figura 11 - Tela inicial do grafana.....	33
Figura 12 - Adicionar uma nova fonte de dados.....	34
Figura 13 - Botão para adicionar nova fonte de dados	34
Figura 14 - MySQL pesquisado na lista	34
Figura 15 - Configuração de nome e conexão	35
Figura 16 - Botão para salvar e testar a conexão	35
Figura 17 - Criando um dashboard	35
Figura 18 - Botão para adicionar um visual ao dashboard	36
Figura 19 - Seleção do banco de dados	36
Figura 20 - Opções de configuração.....	36
Figura 21 - Gráfico salvo no dashboard	37
Figura 22 - Fluxo de desenvolvimento do sistema	37
Figura 23 - Contagem de respondentes por cidade.....	39
Figura 24 – Respostas sobre forma de controle.....	40
Figura 25 – Respostas sobre identificar os aparelhos que mais consomem	41
Figura 26 – Respostas sobre os horários que mais utilizam os aparelhos elétricos.....	41
Figura 27 – Respostas para entender se o sistema ajudaria.....	41
Figura 28 - Resposta sobre quanto estariam dispostos a pagar pelo sistema	42
Figura 29 – Respostas sobre a configuração das residências	42
Figura 30 - Gráfico para um dia de análise	44
Figura 31 - Supervisório geral.....	45
Figura 32 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento da televisão.....	47
Figura 33 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento da lâmpada	48
Figura 34 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento do micro-ondas.....	49
Figura 35 - Leitura Inicial do 1º Teste	51
Figura 36 - Leitura Final do 1º Teste	51
Figura 37 - Print do sistema ao final do 1º teste	52
Figura 38 - Leitura Inicial do 2º Teste	54
Figura 39 - Leitura Final do 2º Teste	54
Figura 40 - Print do sistema ao final do 2º teste	55
Figura 41 - Leitura Inicial do 3º Teste	56
Figura 42 - Leitura Final do 3º Teste	56
Figura 43 - Print do sistema ao final do 3º teste	57
Figura 44 - Leitura Inicial do 4º Teste	58
Figura 45 - Leitura Final do 4º Teste	58
Figura 46 - Print do sistema ao final do 4º teste	59
Figura 47 - Leitura Inicial do 5º Teste	60

Figura 48 - Leitura Final do 5º Teste	60
Figura 49 - Print do sistema ao final do 5º teste	61
Figura 50 - Comparação entre os valores lidos	62
Figura 51 - Erro relativo entre as leituras	62
Figura 52 - Box plot dos valores lidos pelo relógio	63
Figura 53 - Box plot dos valores lidos pelo sistema.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos resultados da pesquisa.....	39
Tabela 2 - Comparação dos dispositivos existentes.....	43
Tabela 3 - Comparação entre o consumo medido pelo relógio de entrada e pelo sistema desenvolvido.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EE	Eficiência Energética
GW	Gigawatts
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
MWm	Megawatts médio
PIB	Produto Interno Bruto
QDG	Quadro de Distribuição Geral
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TC	Transformador de Corrente
V	Volts
W	Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

ω	Velocidade angular
θ_v	Ângulo de fase
θ_i	Ângulo da corrente
I_m	Corrente de pico
π	Número pi (constante que corresponde a 3,1415...)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Tema	16
1.1.1. Delimitação do tema	16
1.2. Objetivo geral	16
1.2.1. Objetivo específico	16
1.3. Justificativa.....	17
1.4. Resultados esperados	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1. Estudos correlatos.....	17
2.2. Referencial teórico.....	18
2.2.1. Linguagem de programação	18
2.2.2. Python.....	19
2.2.3. MySQL	19
2.2.4. Potência instantânea	20
2.2.5. Automação.....	21
2.2.6. Sistema supervisorio.....	21
2.2.8. Arduino.....	22
2.2.9. Sensor de corrente não invasivo SCT-013.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Desenvolvimento do sistema	27
3.1.1. Desenvolvimento do código Arduino	27
3.1.2. Desenvolvimento do Banco de Dados em MySQL.....	28
3.1.3. Desenvolvimento do código <i>Python</i> para leitura serial e armazenamento no banco de dados	29
3.1.4. Desenvolvimento da parte física.....	30
3.1.5. Procedimento para Criação do Dashboard no Grafana	31
3.2. Pesquisa <i>google forms</i>	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Resultados do <i>google forms</i>	38
4.2. Discussão dos resultados do <i>google forms</i>	42
4.3. Resultados da comparação de custos com dispositivos comerciais	42
4.4. Discussão da comparação	43
4.5. Resultados obtidos com o teste.....	44
4.6. Discussão dos resultados do teste.....	45

4.7.	Análise do comportamento de corrente com acionamento de cargas.....	46
4.7.1.	Acionamento da televisão.....	46
4.7.2.	Acionamento das lâmpadas	47
4.7.3.	Acionamento do aparelho micro-ondas	48
4.8.	Discussão da Análise do comportamento de corrente com acionamento de cargas .	49
4.9.	Validação dos testes	49
4.9.1.	Primeira amostra.....	50
4.9.2.	Segunda amostra.....	52
4.9.3.	Terceira amostra	55
4.9.4.	Quarta amostra.....	57
4.9.5.	Quinta amostra.....	59
4.9.6.	Conclusão das amostras	61
5.	CONCLUSÃO.....	64
6.	INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
	APÊNDICE A - Código em Python para leitura serial	69
	APÊNDICE B - Código em Arduino para leitura do sensor e cálculos de consumo	71
	APÊNDICE C – Código para criação do banco de dados e tabela em SQL	74
	ANEXO A - Datasheet do Sensor SCT-013.....	75
	ANEXO B - Datasheet do pino JACK P2.....	76

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo essencial e está presente em praticamente todos os aspectos da vida moderna, possibilitando a realização de diversas atividades. Sua importância pode ser observada ao se analisar o Produto Interno Bruto (PIB) dos países mais desenvolvidos do mundo, notando-se uma relação direta entre o crescimento econômico e o aumento do consumo elétrico, como é o caso dos Estados Unidos, país com o maior PIB do mundo (CALILI, 2013; J. SOUZA et al., 2020). Sabendo dessa importância, diferentes formas de se obter esse insumo são repensadas. Somente no Brasil, um país em desenvolvimento e que tende a consumir a medida que sua economia se desenvolve, o aumento da matriz elétrica foi de 10,9 gigawatts (GW) em 2024, sendo 91,13% da potência instalada provenientes de fontes solar fotovoltaica e eólica (ANEEL, 2025; COSTA; ANDRADE JUNIOR, 2021), isto é, se faz cada vez mais necessário a produção de energia para atender à crescente demanda populacional, que teve um aumento de 1,3% somente no primeiro quadrimestre de 2025, sendo um consumo médio de 73.567 megawatts médios (MWm) nos primeiros quatro meses do ano (CCEE, 2025). Com esse, o uso racional e consciente se faz cada vez mais necessário (COSTA; ANDRADE JUNIOR, 2021).

O monitoramento do consumo de energia elétrica torna-se fundamental para promover a eficiência energética (EE). Esse monitoramento permite analisar, em tempo real, o consumo elétrico em indústrias, comércios e residências, facilitando a identificação de padrões de uso e possibilitando a adoção de medidas para evitar desperdícios de energia e recursos financeiros, além de contribuir para a redução de impactos ambientais (ADEBISI; NDJULUWA, 2024; BARBOSA; ANDRADE; PRADO, 2017). A crescente conscientização da população em relação ao uso racional de energia tem favorecido a adoção de sistemas de monitoramento, eliminando o receio do consumo excessivo e incentivando o uso mais eficiente da energia elétrica (ADEBISI; NDJULUWA, 2024).

Esse tipo de monitoramento pode ser realizado com o uso de dispositivos de baixo custo, como o Arduino e o sensor de corrente SCT-013, que possibilitam o desenvolvimento de sistemas completos capazes de medir variáveis elétricas, realizar cálculos e exibir informações em computadores ou outros dispositivos com acesso à internet.

Diante desse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: como realizar a medição do consumo de energia elétrica de uma residência de forma simples e com baixo custo? Assim, este trabalho tem como objetivo monitorar o consumo de energia elétrica em sistemas residenciais monofásicos de maneira econômica e eficiente, gerando dados para consulta e

estimativas de gasto. Os testes foram realizados em uma residência com cinco cômodos — uma sala, dois quartos (um de casal e um de solteiro), um banheiro e uma cozinha — sendo monitorados os seguintes equipamentos: micro-ondas, chuveiro elétrico, geladeira, computador, monitor, duas televisões e lâmpadas.

1.1. Tema

Desenvolver um protótipo de baixo custo de um sistema de monitoramento para residências monofásicas.

1.1.1. Delimitação do tema

O presente trabalho visa desenvolver um protótipo para residências monofásicas capaz de monitorar as grandezas elétricas da residência, informar o consumo e estimar o gasto em tempo real.

1.2. Objetivo geral

O projeto visa propor uma maneira fácil e barata de realizar análises de energia em uma residência, utilizando arduino e sensores de fácil acesso (como o sensor de corrente SCT-013) e validar se a ferramenta proposta é útil para atender uma residência e cumprir a sua finalidade. Também será implementado a visualização em tempo real de forma objetiva das principais métricas, como corrente e potência, presentes no sistema de energia elétrica, além de prever o gasto da residência e comparar a mudança do consumo elétrico antes e depois da instalação do sistema e a visualização das oportunidades para economizar energia.

1.2.1. Objetivo específico

Serão contemplados os seguintes objetivos específicos para o trabalho:

- Realizar o monitoramento de forma fácil e barata
- Mostrar as informações em tempo real
- Implementar visualização em uma aplicação web
- Retornar estimativa de gastos
- Comparar o consumo antes e depois da instalação do sistema

1.3. Justificativa

Apesar dos inúmeros equipamentos presentes no mercado capazes de realizar a leitura das grandezas tensão, corrente, potência e consumo, eles não dão a flexibilidade do consumidor realizar as modificações que ele deseja para visualizar e controlar melhor o consumo da residência, como definir diferentes limites sobre o consumo de corrente ou outras grandezas e ser alertado quando esse limite for atingido, por exemplo. Com os medidores tradicionais, é preciso ir até o local onde está instalado o medidor (geralmente, no quadro de distribuição geral) para verificar as grandezas, e todas essas informações são apresentadas de forma numérica, não transmitindo ao consumidor uma noção real do gasto ao longo do dia, além de não possuir um histórico dessas informações salvas para análises futuras.

1.4. Resultados esperados

Com o sistema de medição proposto, espera-se obter o correto armazenamento dos dados que foram medidos ao longo dos meses, visualização do comportamento dos gráficos e cartões numéricos de grandezas elétricas e do consumo em tempo real de forma fácil e amigável em um servidor *web* que pode ser acessado por qualquer dispositivo conectado à rede doméstica com acesso a um navegador, criar alertas por e-mail ou celular para notificar o alto consumo de corrente e potência e retornar aproximadamente os gastos em tempo real para facilitar a economia de energia.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção abordará outros trabalhos relevantes ao tema proposto com o objetivo de fornecer sustentação e embasamento teórico para a resolução do problema e sobre os componentes utilizados neste trabalho de conclusão de curso, além da revisão dos principais conceitos abordados nesse trabalho.

2.1. Estudos correlatos

Nos últimos anos, diversos autores têm buscado desenvolver sistemas de monitoramento de energia elétrica residencial utilizando sensores não invasivos e plataformas de baixo custo. Schuler apresentou um protótipo baseado no ESP32, com integração de sensores SCT-013 e ZMPT101B, capaz de disponibilizar medições em tempo real via página web, permitindo ao

usuário acompanhar tensão, corrente, potência média e valor estimado da fatura de energia elétrica (SCHULER, 2020). De forma semelhante, Maestrelli e Napoleão desenvolveram um sistema supervisorio com ESP32, que, além de realizar a medição de corrente e tensão, armazena dados em banco MySQL e disponibiliza gráficos interativos para o usuário, auxiliando na escolha da modalidade tarifária mais vantajosa (MAESTRELLI; NAPOLEÃO, 2018).

Barreto, por sua vez, explorou o monitoramento aliado ao controle de cargas residenciais, utilizando Arduino para leitura dos sensores e Raspberry Pi para a interface gráfica, possibilitando tanto o acompanhamento de consumo quanto o acionamento de cargas específicas (BARRETO, 2015). Já Rodrigues et al. apresentaram um medidor digital com plataforma Arduino, destinado ao consumo sustentável, destacando sua capacidade de fornecer informações em tempo real ao usuário para promover maior consciência no uso da energia (RODRIGUES et al., 2012).

Trabalhos como o de Costa, Sermann e Silva reforçam a importância de validar os protótipos a partir da comparação com medidores certificados, garantindo maior confiabilidade nos resultados obtidos (COSTA; SERMANN; SILVA, 2016). Outros autores, como Breda, Medeiros e Araújo, propuseram um medidor em tempo real por meio de sensor não invasivo, enquanto Barbosa associou o monitoramento de energia à automação residencial, ambos destacando a relevância da utilização de hardware e software livres para reduzir custos (BREDA; MEDEIROS; ARAÚJO, 2019; BARBOSA, 2017).

Apesar dos avanços, nota-se que grande parte das soluções ainda carece de maior simplicidade de instalação e de interfaces mais intuitivas para o usuário final, evidenciando a necessidade de sistemas que combinem baixo custo, precisão e acessibilidade.

2.2. Referencial teórico

2.2.1. Linguagem de programação

Linguagem de programação é toda linguagem computacional que permite, a partir de uma lógica estabelecida, chegar a um determinado resultado. Existem as linguagens de baixo nível (low level), as linguagens de nível médio (middle-level) e as linguagens de alto nível (high level).

As linguagens de baixo nível são aquelas mais próximas do nível de máquina, deixam o programa mais leve e rápido na hora de converter para a linguagem de máquina (0 ou 1) e executar, porém, são mais complexas de se aprender e de escrever uma lógica simples. As

linguagens de nível médio fazem a ponte entre as de baixo nível e as de alto nível, sendo possível acessar e manipular elementos do hardware e ter uma sintaxe mais próxima da linguagem humana. As linguagens de alto nível são aquelas mais próximas da linguagem humana (muitas vezes o inglês), o que facilita o desenvolvimento dos códigos, sendo bem mais intuitivo. Apesar dessa facilidade, as linguagens de alto nível demoram mais para serem executadas, pois leva mais tempo para que o código escrito em uma linguagem de alto nível seja convertido em linguagem de máquina, uma vez que a máquina não entende as linhas que foram escritas sem antes passarem por um compilador ou interpretador (HEMMENDINGER, 2025).

2.2.2. Python

Python é uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objetos, de propósito geral e interpretada. Essa linguagem está presente em aplicações web, automação, análise de dados, inteligência artificial e muito mais. Para escrever um código em *python* e executá-lo, é preciso utilizar um ambiente de desenvolvimento integrado (mais conhecido pela sigla IDE, que quer dizer *Integrated Development Environment*, em inglês), onde o código será interpretado linha a linha por um interpretador, diferente de algumas linguagens que são compiladas primeiro para depois serem executadas (DHRUV; PATEL; DOSHI, [s.d.]; “The Python Tutorial — Python 3.13.2 documentation”, [s.d.]; “What is Python? Executive Summary | Python.org”, [s.d.]).

O *python* é uma linguagem bastante popular e de fácil aprendizagem, isso faz com que a sua comunidade seja muito grande e que haja sempre diversas pessoas trabalhando para criar ferramentas e bibliotecas que sejam capazes de serem aplicadas nas mais diversas áreas com diferentes objetivos. Mesmo com todos os pontos positivos, o *python* fica atrás quando se trata de velocidade na execução dos códigos e no uso de memória, perdendo para linguagens como C e C++, além de ser muito dependente de bibliotecas externas para realizar algumas funções (KABIR et al., 2024).

2.2.3. MySQL

MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacionais de código aberto muito utilizado no mundo e utiliza a linguagem de programação SQL (*Structured Query Language*) para criar bancos de dados e tabelas, realizar consultas, atualizar e deletar dados das tabelas. O MySQL permite criar diversos bancos de dados e dentro de cada banco de dados é

possível criar diversas tabelas nos quais os dados ficam armazenados em linhas e colunas e organizados em esquemas. É possível gerenciar os bancos de dados pela ferramenta MySQL Workbench, onde oferece uma forma mais visual de escrever os comandos, visualizar os bancos e tabelas, exportar e importar tabelas etc. (ERICKSON, 2024; HEMMENDINGER, 2025).

Dentre os benefícios do MySQL, é importante ressaltar: facilidade de uso, confiabilidade dos dados nas mais diversas aplicações, segurança dos dados e flexibilidade (ERICKSON, 2024).

2.2.4. Potência instantânea

A potência elétrica pode ser definida como a velocidade com que se consome ou se absorve energia e é medida em watts (W) (ALEXANDER; SADIKU, 2013). Ela é a quantidade de energia presente em um sistema e pode ser dividida em: potência ativa, potência reativa e potência aparente, sendo o produto da tensão elétrica, $v(t)$ e da corrente elétrica, $i(t)$. A potência ativa, $p(t)$, pode ser calculada em (1):

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (1)$$

Para a potência instantânea, deve-se considerar a tensão instantânea $v(t)$ e corrente instantânea $i(t)$ conforme mostradas por (2) e (3):

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v) \quad (2)$$

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t + \theta_i) \quad (3)$$

Onde:

V_m = Tensão de pico, [V];

I_m = Corrente de pico, [A];

$\omega = \frac{2\pi}{T}$: Velocidade angular, [rad/s];

θ_v = Ângulo de fase, [°];

θ_i = Ângulo de corrente, [°].

Substituindo (2) e (3) em (1), obtém-se a potência elétrica mostrada pela equação (4)

$$p(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v) \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \theta_i) \quad (4)$$

A potência elétrica é essencial para o dimensionamento de sistemas elétricos, pois define o consumo e o desempenho dos equipamentos (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

2.2.5. Automação

A automação é a substituição da mão-de-obra humana por sistemas inteligentes que combina elementos elétricos, mecânicos e programação para realizar tarefas repetitivas ou perigosas presentes em diversos ambientes da sociedade e é algo que se consolidou nas indústrias e vem se expandindo cada vez mais em outras áreas (SOARES, 1988; VILELA; VIDAL, 2003).

A importância da automação se dá pela substituição da mão-de-obra humana pelas máquinas para realizar tarefas que impactam na saúde dos trabalhadores e pode ser observada em ambientes com alta temperatura, exposição a líquidos perigosos, gases, entre outros, e em processos que demandam o manuseio de peças pesadas, atividades em posições ergonômicas incorretas, repetição contínua etc. Essa substituição também busca reduzir os desperdícios de material durante o processo e diminuir os custos que com manutenção, aumentando a produtividade. Apesar dos benefícios, a automação traz algumas desvantagens que precisam ser consideradas, como o alto custo de implementação, a extinção de trabalhos manuais, gerando desemprego e a dificuldade para se encontrar mão-de-obra qualificada para manter o sistema automatizado funcionando corretamente (XAVIER et al., 2023).

2.2.6. Sistema supervisório

O sistema supervisório é um *software* que possibilita a visualização em tempo real das variáveis que estão sendo monitoradas em um ambiente. Os dados coletados a distância pelos sensores, analógicos ou digitais, são enviados a um controlador que envia as informações para um *software* onde é possível atribuir os valores das variáveis em objetos animados, gráficos e cartões numéricos, facilitando a visualização e a análise de dados com interfaces amigáveis de todo o processo que está sendo monitorado. Com o sistema supervisório, é possível criar alarmes para situações anormais que possam acontecer durante as medições, tornando a tomada de ação mais rápida e eficaz (HACK, 2019; VILELA; VIDAL, 2003)

2.2.7. Grafana

O grafana é uma plataforma de código aberto que permite a visualização e o monitoramento de dados em tempo real. Com ele é possível criar gráficos, cartões e tabelas que

ajudam na visualização dos dados, deixando as informações que devem ser mostradas mais amigáveis e intuitivas, além de ser capaz de criar alertas para determinados eventos (“About Grafana | Grafana documentation”, [s.d.]; CENCETTI, 2022).

Mesmo sendo gratuita, o grafana é uma ferramenta robusta, capaz de oferecer compatibilidade com diversas fontes de dados, como MySQL, InfluxDB, JSON, entre outros; permite a visualização em tempo real de forma clara e intuitiva, oferece a criação de alertas e envio por e-mail, telegrama, Whatsapp etc., e muito útil para integrar com IoT e automação. Ainda que seja fácil de usar, existem funções que demandam um aprendizado mais profundo da ferramenta, como o gerenciamento de alertas corretamente (“About Grafana | Grafana documentation”, [s.d.]).

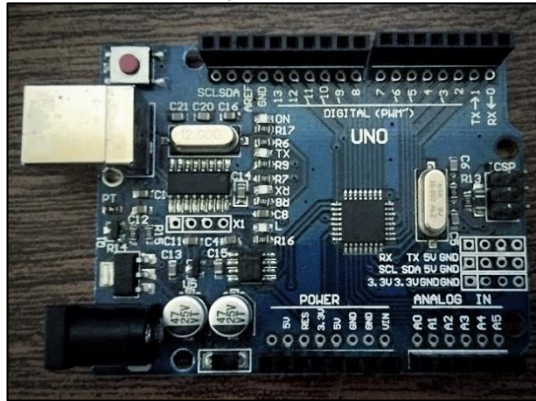
2.2.8. Arduino

O arduino (figura 1) é uma plataforma de prototipagem baixo custo que combina o hardware, um microcontrolador integrado à placa, porta usb para comunicação e alimentação e pinos de entrada e saída que facilitam as conexões, e o software para o fácil desenvolvimento da programação. Existe algumas variações de modelos da placa arduino, como o arduino nano, arduino uno e o arduino mega. O funcionamento dessa placa visa ser algo simples, principalmente para pessoas iniciantes no mundo da robótica e programação. Conectando sensores e atuadores nas portas digitais ou analógicas, juntamente com a programação que é descarregada no microcontrolador, é possível criar inúmeros projetos com diferentes graus de complexidade, desde protótipos simples para ensinar crianças a terem contato com eletrônica e programação, até a criação de projetos profissionais (FELISARDO; SANTOS; GALRÃO, 2023; GARCÍA-TUDELA; MARÍN-MARÍN, 2023; MARIA PAULINO CARNEIRO MOREIRA et al., 2018).

O uso dessa plataforma de prototipagem cresceu rapidamente devido as vantagens que ela oferece, onde pode-se destacar: o baixo custo, que permite o acesso às pessoas que não possuem um poder aquisitivo alto, software livre, possibilitando o acesso e modificação do seu hardware e software por qualquer pessoa, fácil programação, não sendo necessário um grande conhecimento em programação para dar os primeiros passos e criar projetos simples, e possui um ambiente de desenvolvimento integrado, ou integrated development environment (IDE), amigável, permitindo a fácil programação. Apesar das vantagens oferecidas, o uso do arduino não é aconselhado em projetos que serão implementados, pois o seu uso será limitado em aplicações que requerem um grande poder computacional e respostas rápidas, e os componentes

presentes na plataforma aumentam o consumo de energia. O microcontrolador presente no arduino uno, o atmega328p, apresenta baixa memória de processamento e de armazenamento e poucas portas para serem usadas, principalmente se o objetivo for utilizar portas analógicas (FELISARDO; SANTOS; GALRÃO, 2023; SANTOS et al., 2024).

Figura 1 - Arduino



Fonte: Autor (2025)

2.2.9. Sensor de corrente não invasivo SCT-013

O sensor de corrente modelo SCT-013 (figura 2) é um transformador de corrente (TC) do tipo clamp, ou garra, que utiliza o princípio da indução eletromagnética para realizar a medição de corrente alternada (CA) de forma não invasiva, ou seja, não é necessário cortar ou modificar o fio do circuito para realizar a medição, basta colocar o fio entre o núcleo do sensor para realizar a medição, muito utilizado em projetos de monitoramento de energia elétrica e automação residencial ou industrial. A corrente detectada no núcleo do TC induz uma corrente elétrica nos enrolamentos e sofre uma redução no seu valor através da relação de espiras para um valor seguro, capaz de ser lido por um microcontrolador, caso contrário, o equipamento seria danificado devido ao alto valor da corrente (ALEXE; SCIENCES; ENGINEERING, 2016; IBADURRAHMAN; JAKARTA, 2020; LIN; OMAR KHAN; DAUD, 2021).

Como mencionado anteriormente, o SCT-013 apresenta uma grande vantagem que é não ser invasivo, garantindo a integridade do circuito elétrico, isso evita o contato direto com a corrente elétrica, trazendo segurança. Esse sensor apresenta vários modelos de leitura de corrente, como os modelos de 30A, 50A e 100A, possibilitando aplicações em diversos níveis de corrente, tudo isso com um custo-benefício excelente. Caso seja necessária sua aplicação para detectar corrente contínua (CC), este sensor não deve ser utilizado, pois, pelo princípio da indução eletromagnética proposto por Michael Faraday, é preciso uma variação no fluxo

magnético para induzir corrente nos enrolamentos, o que não é possível em CC (JUWITO; DIONO; JIHAD, 2023).

Figura 2 - SCT-013 100A



Fonte: Byteflop

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de energia elétrica, foram utilizados os seguintes materiais, agrupados em três categorias:

Hardware

- Arduino Uno R3: microcontrolador utilizado para aquisição de dados analógicos provenientes dos sensores de corrente e tensão.
- Sensor de corrente SCT-013-100 (100 A): sensor do tipo transformador de corrente não invasivo, do fabricante YHDC, utilizado para medir a corrente alternada que passa por um condutor.
- Resistores de 10 k Ω (2 unidades), 1 k Ω (3 unidades) e 220 Ω (1 unidade): utilizados para ajuste e proteção dos sinais elétricos captados.
- Capacitor eletrolítico de 10 μ F: empregado na estabilização dos sinais analógicos.
- Fios jumpers e protoboard: utilizados para montagem e conexão dos circuitos eletrônicos.
- Cabo USB-A para USB-B: utilizado para comunicação entre o Arduino e o computador.
- Conector de áudio P2: utilizado para facilitar a conexão com o sensor SCT-013.
- Computador pessoal com sistema operacional Windows 10: utilizado para programação do microcontrolador, armazenamento e visualização dos dados.

Software

- Arduino IDE: ambiente de desenvolvimento integrado utilizado para programar o Arduino em linguagem C/C++.
- MySQL Workbench: sistema gerenciador de banco de dados relacional, utilizado para armazenar os dados coletados.
- WampServer: pacote de software que permite simular localmente um servidor Apache com suporte a PHP e MySQL.
- Visual Studio Code: editor de código-fonte utilizado para desenvolvimento dos scripts em Python.
- Grafana (GrafanaLabs): plataforma de visualização de dados, utilizada para exibir graficamente o consumo de energia monitorado.

Outros recursos

Artigos científicos, manuais técnicos e tutoriais: utilizados como base teórica para o desenvolvimento e implementação do projeto, bem como para embasamento na revisão bibliográfica.

Este trabalho é de natureza aplicada, pois pretende-se gerar conhecimentos para solucionar um problema, de abordagem quantitativa, pois busca-se apresentar dados estatísticos e, quanto ao seu objetivo, pode ser classificada como exploratória, pois será feito o levantamento bibliográfico sobre o tema para gerar mais familiaridade com o problema apresentado. O procedimento escolhido para a pesquisa é o estudo de caso, pois será preciso entender, a fundo, sobre o assunto com o objetivo de abranger o contexto e realizar uma análise dos problemas encontrados (HOLLW, 2016; YIN, 2017). O quadro 1 resume a classificação de pesquisa apresentada.

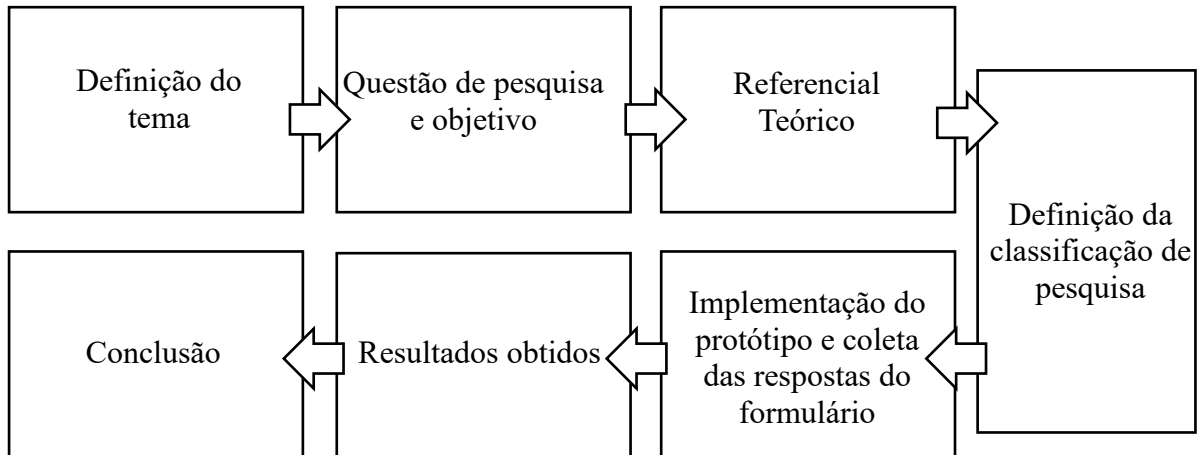
Quadro 1 - Classificação de Pesquisa

Natureza	Objetivo	Abordagem	Procedimento de Pesquisa
Básico	Exploratório	Quantitativo	Experimento
Aplicado	Descritivo	Qualitativo	Prisma
	Explicativo	Combinado	Estudo Bibliométrico
	Normativo		Modelagem
			Matriz de maturidade
			Estudo de caso
			Simulação

Fonte: Adaptado de Cronin e George (2023), Kothari e Garg (2019) e Reis et al. (2021).

O fluxo metodológico deste trabalho se deu da seguinte maneira: primeiro foi feita a definição do tema, sendo motivado pela curiosidade de elaborar um medidor de energia flexível e barato. Após definir o tema, foi feita a questão de pesquisa, para orientar a investigação de pesquisa, e o objetivo, para definir o que seria desenvolvido. O referencial teórico foi feito para servir de base a pesquisa. Para levantar os dados, será feito a instalação do protótipo em uma residência real e a coleta de respostas de pessoas da região por meio de formulário online sobre a situação atual do consumo das residências. Os resultados alcançados serão apresentados após a implementação do medidor e das respostas coletadas. Ao final, será feito a conclusão do trabalho, buscando finalizar o que foi desenvolvido e responder à questão de pesquisa apresentado no início. Este processo pode ser visto de forma resumida na figura 3.

Figura 3 - Fluxo Metodológico



Fonte: Autor (2025)

O teste foi feito em uma residência em uma cidade pequena, com 27 mil habitantes, no interior do estado do Rio de Janeiro. Uma residência antiga com uma instalação elétrica antiga, ainda do tipo fio mestre, ou seja, que não possui um quadro de distribuição geral (QDG), só há um disjuntor protegendo um único circuito que alimenta a residência, típica configuração utilizada no passado.

O que motivou este experimento foi desenvolver um sistema que faça o monitoramento da rede elétrica residencial monofásica de uma maneira simples, barata e que seja flexível e adaptável, permitindo a modificação para atender as necessidades da melhor forma possível. Tudo isso com uma visualização clara em um *web server* e com o retorno de consumo e gastos previstos.

3.1. Desenvolvimento do sistema

3.1.1. Desenvolvimento do código Arduino

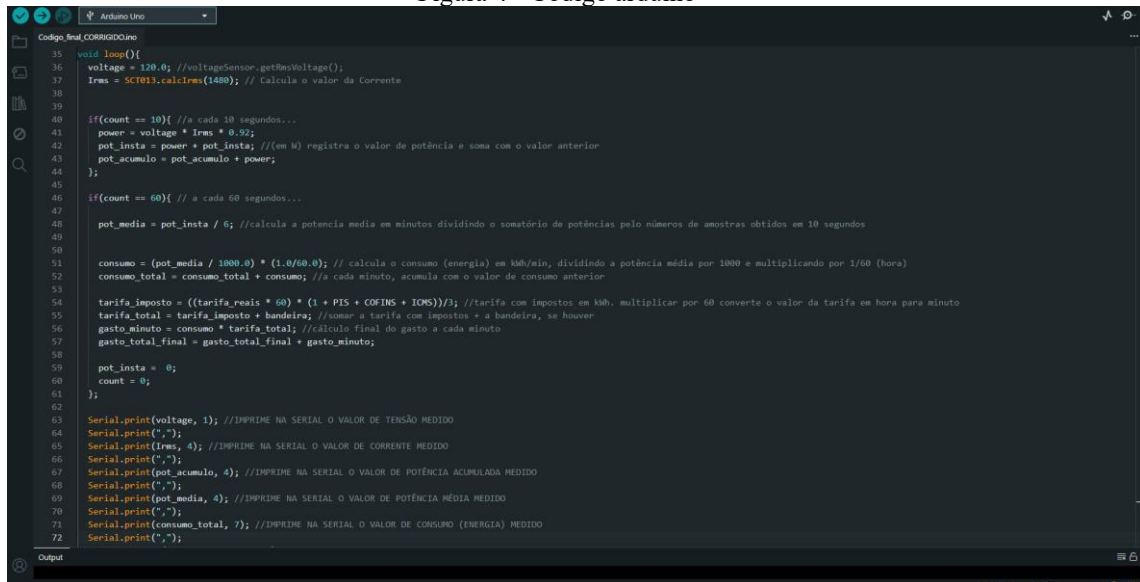
Para o início do desenvolvimento do trabalho, foi elaborado o código em arduino (figura 4) que seria responsável por receber os dados de corrente e realizar os cálculos desejados, como os de potência, consumo e gasto. A taxa de amostragem da aquisição de dados das grandezas elétricas utilizadas foi a cada segundo, mas o cálculo de potência instantânea consumida é calculado a cada 10 segundos e o valor lido é incrementado com o valor anterior. Após 60 segundos é feito os seguintes cálculos: média dessas potências instantâneas dividindo o somatório das potências por 6, como mostrado na equação (5), que é o número de amostras coletadas nesse intervalo. Com o resultado da potência média, foi feito o cálculo do consumo em quilowatt-

hora por minuto (kWh/min) para ser mostrado no supervisório, conforme a equação (6). O consumo foi utilizado para calcular o gasto, levando em conta os valores de tarifa (R\$ 0,765207), bandeira e demais impostos. Todos esses valores são mostrados no terminal serial.

$$\text{potência média} = \frac{\text{potência instantânea}}{6} \quad (5)$$

$$\text{consumo}(kWh/min) = \left(\frac{\text{potência média}}{1000} \right) \times \frac{1}{60} \quad (6)$$

Figura 4 - Código arduino



```

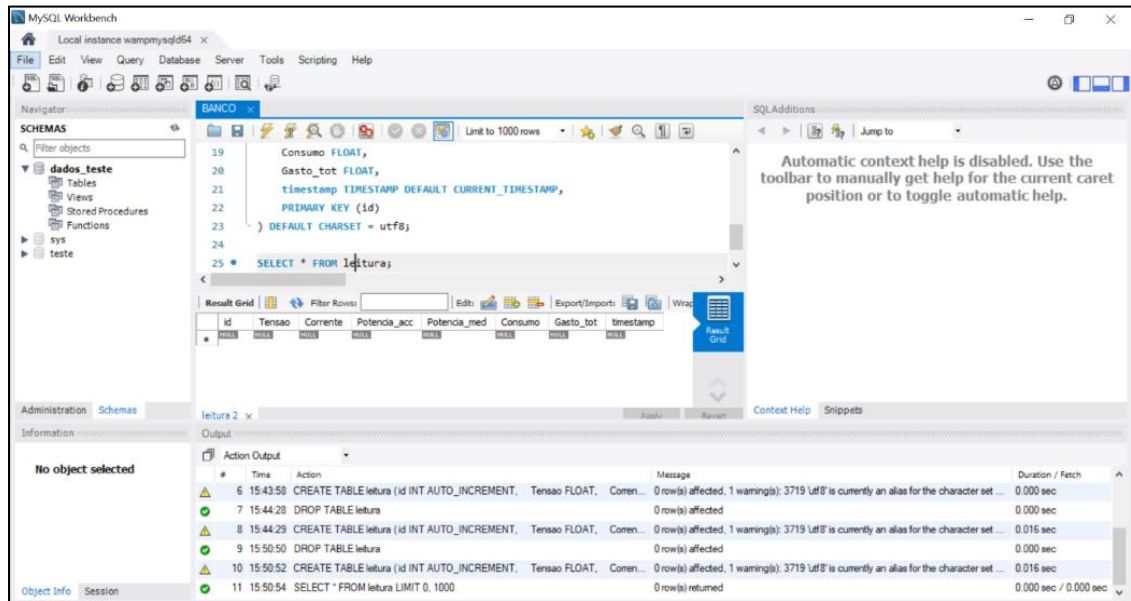
Codigo_Final_CORRIGIDOino
35 void loop(){
36   voltage = 120.0; //voltageSensor.getAnalogVoltage();
37   Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente
38
39
40   if(count == 10){ //a cada 10 segundos...
41     power = voltage * Irms * 0.92;
42     pot_insta = power + pot_insta; //em W registra o valor de potência e soma com o valor anterior
43     pot_acumulo = pot_acumulo + power;
44   };
45
46   if(count == 60){ // a cada 60 segundos...
47
48     pot_media = pot_insta / 6; //calcula a potencia media em minutos dividindo o somatório de potências pelo número de amostras obtidos em 10 segundos
49
50
51     consumo = (pot_media / 1000.0) * (1.0/60.0); // calcula o consumo (energia) em kWh/min, dividindo a potência média por 1000 e multiplicando por 1/60 (hora)
52     consumo_total = consumo_total + consumo; //a cada minuto, acumula com o valor de consumo anterior
53
54     tarifa_imposto = ((tarifa_reais * 60) * (1 + PIS + COFINS + IOFIS))/3; //tarifa com impostos em kWh, multiplicar por 60 converte o valor da tarifa em hora para minuto
55     tarifa_total = tarifa_imposto + bandeira; //soma a tarifa com impostos + a bandeira, se houver
56     gasto_minuto = consumo * tarifa_total; //cálculo final do gasto a cada minuto
57     gasto_total_final = gasto_total_final + gasto_minuto;
58
59     pot_insta = 0;
60     count = 0;
61   };
62
63   Serial.print(voltage, 1); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE TENSÃO MEDIDO
64   Serial.print(",");
65   Serial.print(Irms, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE CORRENTE MEDIDO
66   Serial.print(",");
67   Serial.print(pot_insta, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE POTÊNCIA ACUMULADA MEDIDO
68   Serial.print(",");
69   Serial.print(pot_media, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE POTÊNCIA MÉDIA MEDIDO
70   Serial.print(",");
71   Serial.print(consumo_total, 7); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE CONSUMO (ENERGIA) MEDIDO
72   Serial.print(",");

```

Fonte: Autor (2025)

3.1.2. Desenvolvimento do Banco de Dados em MySQL

Após definir as informações que seriam enviadas pela porta serial, foi preciso criar o banco de dados em MySQL para armazenar esses valores. Primeiramente, é preciso executar o *wampserver* para iniciar uma instância local para estabelecer a comunicação do banco de dados na máquina. Com o *wampserver* executando, é preciso iniciar o MySQL *workbench* e criar corretamente o banco de dados e a tabela com as colunas correspondentes às informações que o arduino envia. A figura 5 ilustra a tela do MySQL *workbench*.

Figura 5 - Tela do MySQL *workbench*

Fonte: Autor (2025)

3.1.3. Desenvolvimento do código *Python* para leitura serial e armazenamento no banco de dados

Para acessar as informações na porta serial e armazenar no banco de dados, foi criado um código em Python que estabelece a comunicação com o banco de dados e escreve as informações recebidas pela porta serial em cada linha do banco de dados. Na figura 6 é possível visualizar o exemplo do código em execução.

Figura 6 - Código *Python*

```

ler_serial.py
E:\Faculdade > Eng. Elétrica AEB > 9º Período > TCC > Programas Python > Armazena Banco dados > ler_serial.py > ...
1 import serial
2 import time
3 import mysql.connector
4
5 # Conectar ao MySQL
6 conexao = mysql.connector.connect(
7     host="localhost",
8     user="root",
9     password="",
10    database="dados_teste"
11)
12 cursor = conexao.cursor()
13
14 # Configuração da porta serial
15 porta = "COM3" # Altere para a porta correta no seu sistema
16 baud_rate = 9600
17
18 try:
19     arduino = serial.Serial(porta, baud_rate, timeout=1)
20     arduino.dtr = False # Desativa o DTR (libera o reset)
21     time.sleep(2) # Aguarda a conexão serial
22
23     while True:
24         dados = arduino.readline().decode().strip()
25         if dados:
26             valores = dados.split(",") # Separar os valores por vírgula

```

The terminal output shows the following data being received from the serial port:

```

Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9162A, Potencia_acc: 2283.6518W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.8973A, Potencia_acc: 2283.6518W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9122A, Potencia_acc: 2513.1166W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9522A, Potencia_acc: 2747.3859W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9675A, Potencia_acc: 2983.4841W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9895A, Potencia_acc: 3221.1479W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9515A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9471A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9564A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9168A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9341A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9111A, Potencia_acc: 3455.3234W, Potencia_med: 0.0W, Consumo: 0.0kWh, Gasto_tot: R$0.0
Tensao: 120.0V, Corrente: 1.9039A, Potencia_acc: 3683.7968W, Potencia_med: 613.9661W, Consumo: 0.010228kWh, Gasto_tot: R$0.0001546

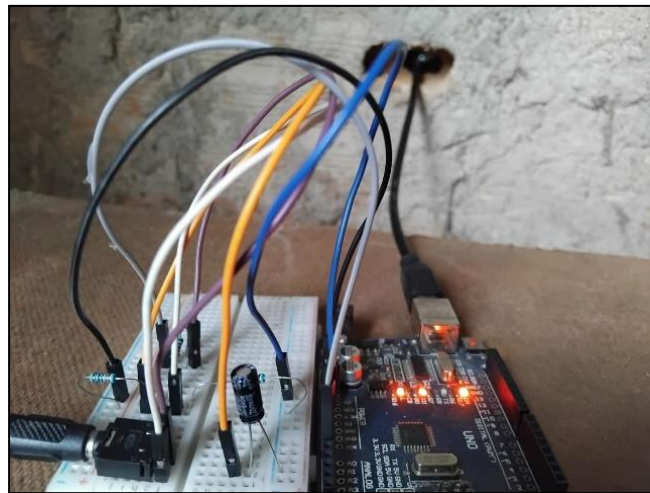
```

Fonte: Autor (2025)

3.1.4. Desenvolvimento da parte física

Com a parte computacional criada, o desenvolvimento da parte física pode ser iniciado, onde foi montado, em uma mini protoboard, o circuito para realizar o envio dos dados do sensor SCT-013 para o arduino, para isso, um conector tipo jack P2 foi utilizado. O pino 1 do conector foi ligado a um divisor de tensão e o pino 3 foi conectado na entrada A0 do arduino. Um capacitor de $10\mu\text{F}$ foi ligado em paralelo ao pino 1 do conector e ligado ao GND. O divisor de tensão possui dois resistores de $10\text{k}\Omega$, onde a tensão de alimentação é de 5V. Em paralelo com a entrada A0 e ligado ao divisor de tensão, existe um resistor de 220Ω . Esse procedimento é visualizado na figura 7.

Figura 7 - Montagem na protoboard



Fonte: Autor (2025).

Foi preciso instalar o sensor SCT-013 no condutor de fase da residência e deixar o cabo com conector P2 para fora para realizar a ligação no circuito, conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8 - Sensor SCT-013 instalado no relógio



Fonte: Autor (2025)

3.1.5. Procedimento para Criação do Dashboard no Grafana

Para a construção do painel de visualização de dados, utilizou-se a ferramenta Grafana, acessada por meio de um navegador web. Primeiramente, foi inserido o endereço do servidor local no campo de URL, sendo o endereço <http://localhost:3001/login> (figura 9). Ao carregar a página, é exibida a tela de login do Grafana, na qual foi utilizado o nome de usuário padrão “admin”. Após a primeira autenticação, é possível definir uma nova senha, garantindo maior segurança ao acesso do sistema (figura 10).

Concluído o login, o Grafana direciona à tela inicial da plataforma, onde são apresentadas opções de tutoriais e configuração inicial (figura 11). Para iniciar a criação do dashboard, é necessário, primeiramente, adicionar uma nova fonte de dados. Essa etapa é realizada clicando no ícone de engrenagem localizado no canto esquerdo da interface e, em seguida, selecionando a opção “Data sources” (figura 12).

Na página de fontes de dados, o próximo passo consiste em adicionar uma nova conexão. Para isso, utiliza-se o botão “Add new data source” (figura 13), que abre uma lista de

opções de integrações suportadas. Como a base de dados utilizada neste projeto está hospedada em um banco MySQL, foi realizada uma busca por esse nome no campo de pesquisa, selecionando-se a opção correspondente (figura 14).

Após selecionar o MySQL como fonte de dados, é aberta a tela de configuração da conexão (figura 15). Nela, foram inseridas as seguintes informações:

- **Name:** nome atribuído à fonte de dados, para identificação no momento da criação dos painéis;
- **Host:** endereço do servidor do banco de dados, incluindo o número da porta, geralmente localhost:3306;
- **Database:** nome do banco de dados configurado no MySQL;
- **User:** nome de usuário com permissão de leitura no banco;
- **Password:** campo deixado em branco neste projeto, devido à ausência de autenticação configurada no servidor local.

Com os campos devidamente preenchidos, clicou-se em “Save & Test”. Se as informações estiverem corretas, o Grafana confirma a conexão com o banco de dados, permitindo o uso dos dados em visualizações (figura 16).

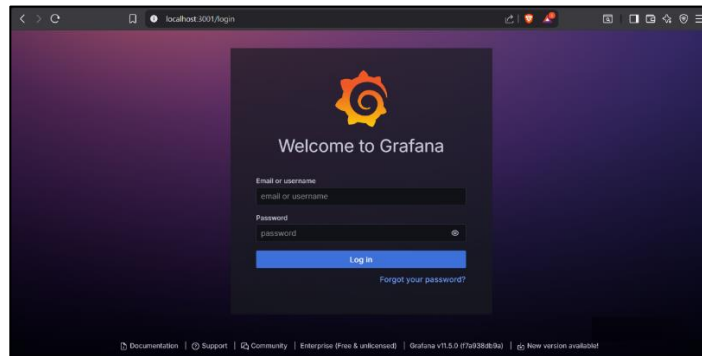
Em seguida, iniciou-se a criação do dashboard propriamente dito. A partir da tela inicial, selecionou-se a opção “menu” e, logo após, “Dashboard”. Dentro da tela de dashboard, selecionar “New” e “New dashboard” (figura 17). Após o painel do dashboard ser criado, clicou-se em “Add visualization”, abrindo-se a interface de configuração de gráficos (figura 18). Nesse momento, foi selecionada a fonte de dados adicionada anteriormente (MySQL), permitindo a construção de consultas SQL diretamente no painel (figura 19).

Na área de configuração do gráfico (figura 20), o usuário pode definir:

- **Título e descrição** do painel, para facilitar a identificação das grandezas monitoradas;
- **Consultas SQL**, utilizadas para selecionar os valores a serem representados graficamente;
- **Tipo de visualização**, como gráfico de linhas, barras ou indicadores;
- **Eixos, unidades e legendas**, personalizando a apresentação dos dados conforme a variável medida (por exemplo, corrente ou potência).

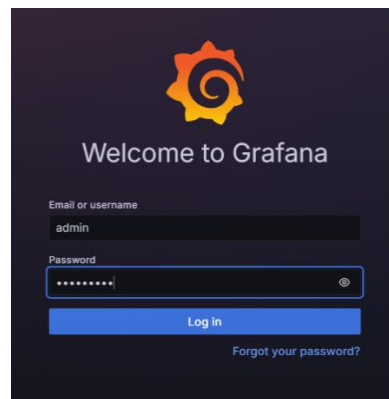
Após configurar todas as opções desejadas e verificar a correta exibição das informações, procedeu-se com o salvamento do painel, clicando em “Save dashboard” (figura 21). Basta repetir o processo para novos gráficos com diferentes funções.

Figura 9 - Tela de login do grafana



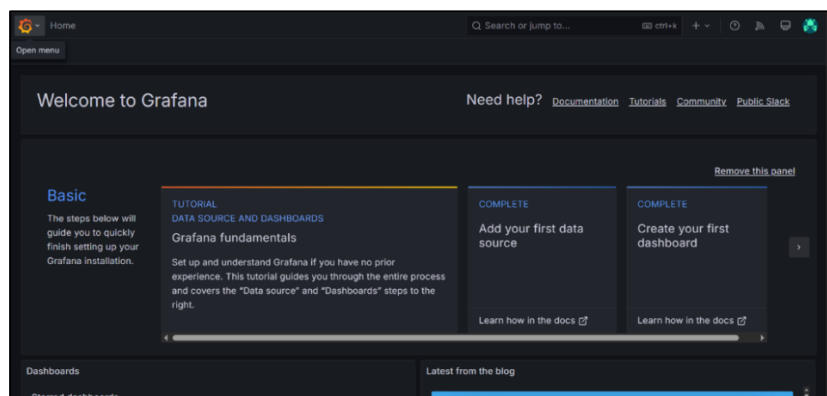
Fonte: Autor (2025)

Figura 10 - Usuário e senha inseridos



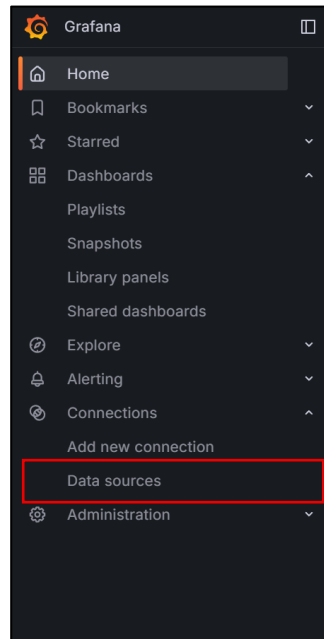
Fonte: Autor (2025)

Figura 11 - Tela inicial do grafana



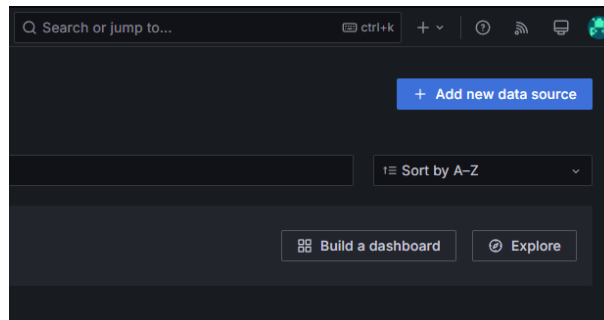
Fonte: Autor (2025)

Figura 12 - Adicionar uma nova fonte de dados



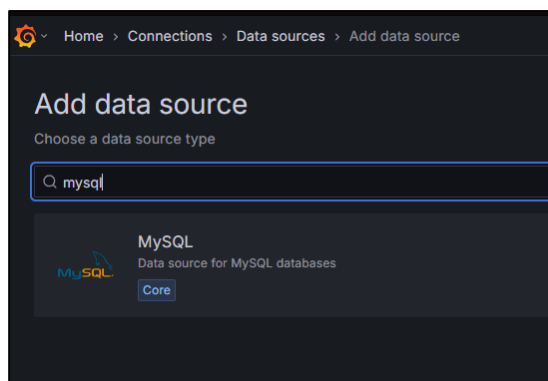
Fonte: Autor (2025)

Figura 13 - Botão para adicionar nova fonte de dados



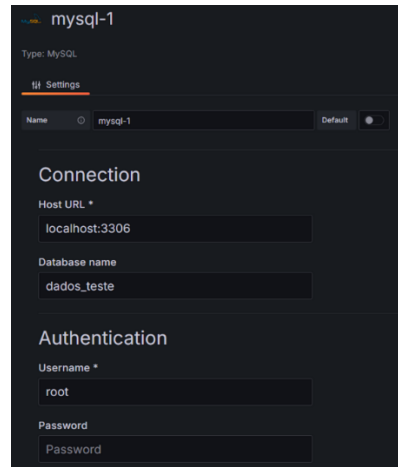
Fonte: Autor (2025)

Figura 14 - MySQL pesquisado na lista



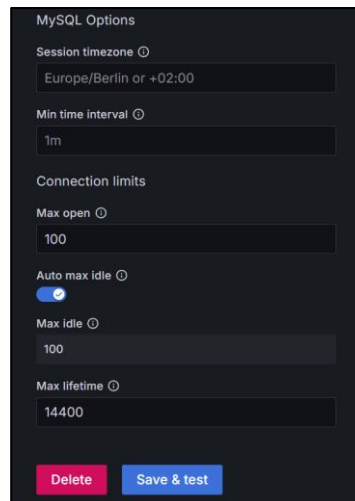
Fonte: Autor (2025)

Figura 15 - Configuração de nome e conexão



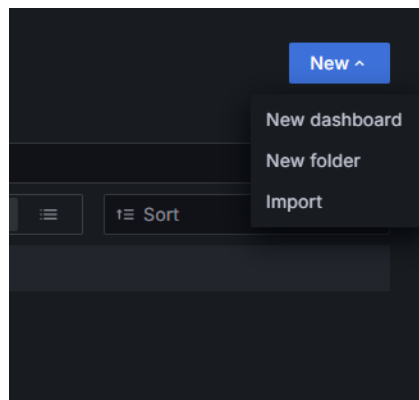
Fonte: Autor (2025)

Figura 16 - Botão para salvar e testar a conexão



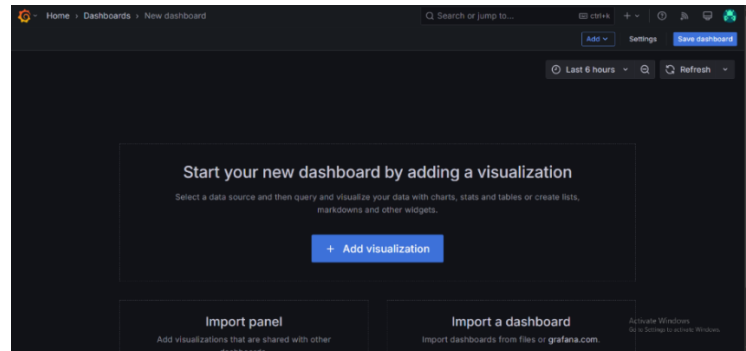
Fonte: Autor (2025)

Figura 17 - Criando um dashboard



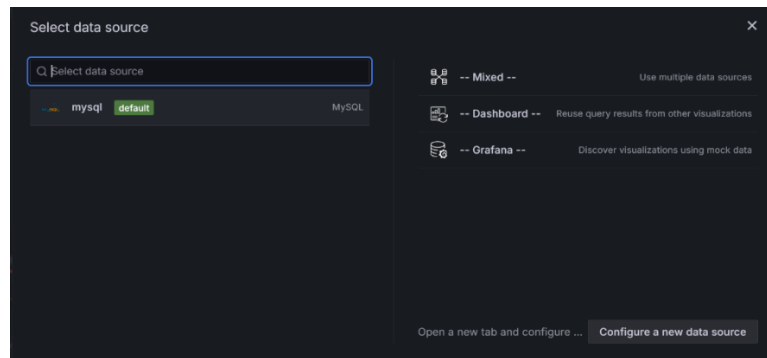
Fonte: Autor (2025)

Figura 18 - Botão para adicionar um visual ao dashboard



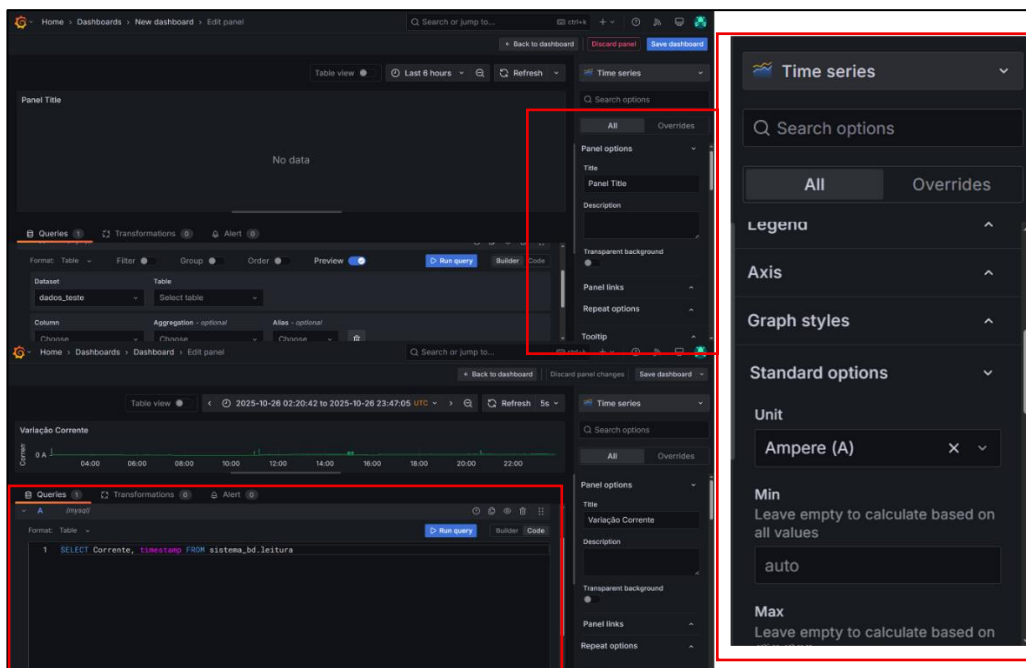
Fonte: Autor (2025)

Figura 19 - Seleção do banco de dados



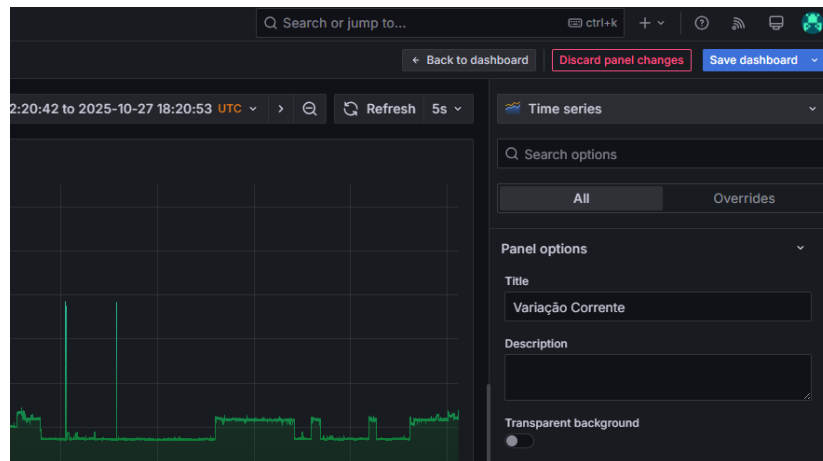
Fonte: Autor (2025)

Figura 20 - Opções de configuração



Fonte: Autor (2025)

Figura 21 - Gráfico salvo no dashboard

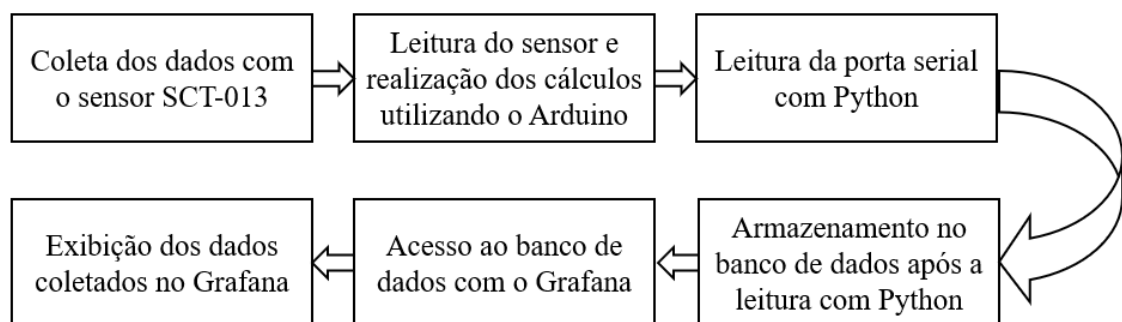


Fonte: Autor (2025)

Para apresentar as etapas do desenvolvimento dessa ferramenta, o sistema de monitoramento foi desenvolvido, conforme ilustrado no fluxograma da figura 22:

- Coleta dos dados: utiliza-se o arduino e sensores, serão feitos a coleta e os cálculos necessários dos dados;
- Armazenamento no MySQL: utiliza-se o *python*, serão feitos a coleta dos dados seriais e armazenamento no banco de dados;
- Criação do banco de dados: utiliza-se o MySQL, serão criados o banco de dados e a tabela onde será armazenado esses dados;
- Criação do dashboard: utiliza-se o *web server* grafana, será feito a comunicação com o MySQL local e montado o dashboard que será acessível de qualquer dispositivo na rede local.

Figura 22 - Fluxo de desenvolvimento do sistema



Fonte: Autor (2025)

Com o objetivo de levantar dados sobre o impacto do sistema no consumo de uma residência antes e depois da aplicação, o sistema foi implementado em uma residência durante 7 dias para verificar como é o consumo rotineiro dessa residência para que sejam tomadas algumas ações, como redução do uso de um certo aparelho em determinado horário do dia, a fim de mostrar se houve ou não melhora.

3.2. Pesquisa *google forms*

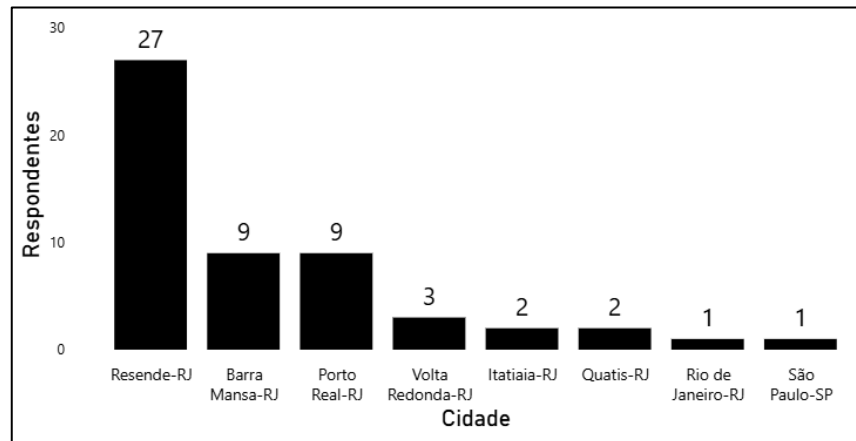
Para a realização da pesquisa, foi elaborado um formulário online utilizando o google forms, com o objetivo de coletar dados sobre os hábitos de consumo de energia elétrica residencial, a percepção dos usuários quanto à economia, o interesse em monitoramento e a disposição em pagar por sistemas desse tipo. A pesquisa foi feita para entender as particularidades de cada residência e das pessoas que residem nas casas / apartamentos. Com as perguntas, é possível compreender qual o padrão mais utilizado, qual a estratégia dos indivíduos ao tentarem reduzir o consumo elétrico, entender o que as pessoas buscam em um sistema de monitoramento de energia elétrica e qual o motivo que faria as pessoas a não terem um sistema de monitoramento em suas casas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do *google forms*

A amostra foi composta por 54 participantes de diferentes cidades (figura 23), número considerado adequado para o caráter exploratório da pesquisa, cuja finalidade é levantar tendências e percepções gerais sobre o tema. A escolha por um formulário online se deu pela praticidade, amplitude e acessibilidade do meio, permitindo alcançar um público variado, com diferentes perfis de consumo e níveis de conhecimento técnico. Apesar de não representar estatisticamente a população brasileira, a amostra foi suficiente para identificar padrões de comportamento e percepção que embasam as análises e conclusões propostas neste trabalho.

Figura 23 - Contagem de respondentes por cidade



Fonte: Autor (2025)

As respostas obtidas no formulário foram as seguintes: 79,63% (figura 24) responderam que não possuem alguma forma de monitorar o consumo da residência. 75,93% (figura 25) responderam ter conhecimento dos aparelhos que mais consomem energia na residência. 68,52% (figura 26) acredita que mais energia é consumida no período de 19h00 – 00h00 e 22,22% acredita ser de 13h00 – 18h00. Sobre a pergunta para saber se os entrevistados acreditam que um sistema para medir o consumo da residência os ajudaria a ter mais controle sobre o consumo mensal e a economizar energia, 72,22% disseram que sim e 25,9% disseram que talvez ajude, mas não sabe como funciona (figura 27). Para quanto as pessoas estão dispostas a pagar por um sistema de monitoramento que mostra o consumo, estimativa de gasto e gráficos sobre a energia elétrica da casa, a resposta obtida foi que 37% pagariam de R\$ 50,00 até R\$ 100,00, 37% pagaria até R\$ 100,00 até R\$ 200,00 e 9,3% não pagaria (figura 28).

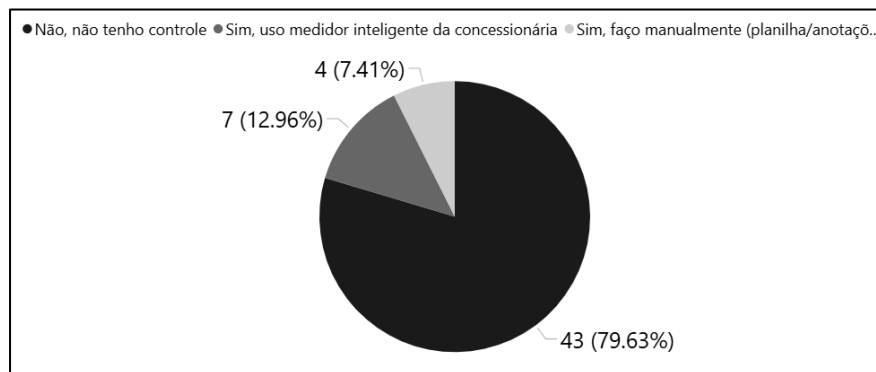
Tabela 1 - Resumo dos resultados da pesquisa

Perguntas	Respostas (%)
Possui alguma forma de controle do consumo?	Não tenho controle (79,63%); Uso medidor inteligente da concessionária (12,96%); faço manualmente (7,41%)
Consegue identificar os aparelhos que mais consomem na residência?	Sim (75,93%); Não (24,07%)

Quais os horários que você mais utiliza aparelhos elétricos?	06h00-12h00 (9,26%); 13h00-18h00 (22,22%); 19h00-00h00 (68,52%);
Um sistema para controle ajudaria a economizar?	Sim, ajudaria muito (72,22%); talvez, mas não sei como funcionaria (25,9%); não, acho desnecessário (1,9%)
Quanto você estaria disposto(a) a pagar por um sistema de monitoramento?	Até R\$ 50,00 (16,7%); R\$ 50,00 a R\$ 100 (37%); R\$ 100,00 a 200,00 (37%); não pagaria (9,3%)
Qual a configuração de energia elétrica da sua residência?	Monofásica (31,5%); Bifásica (38,9); Trifásica (11,1); não sei (18,5%)

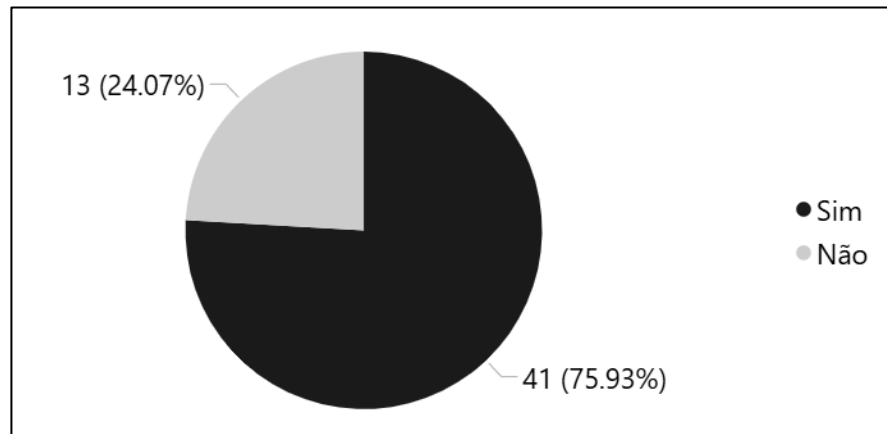
Fonte: Autor (2025)

Figura 24 – Respostas sobre forma de controle



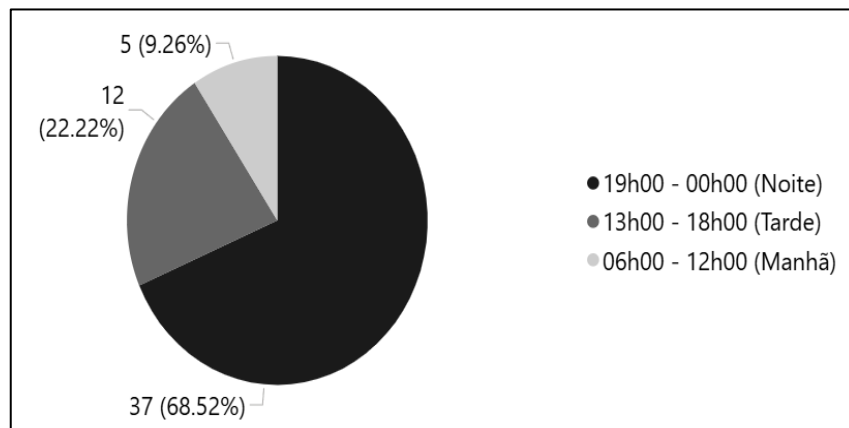
Fonte: Autor (2025)

Figura 25 – Respostas sobre identificar os aparelhos que mais consomem



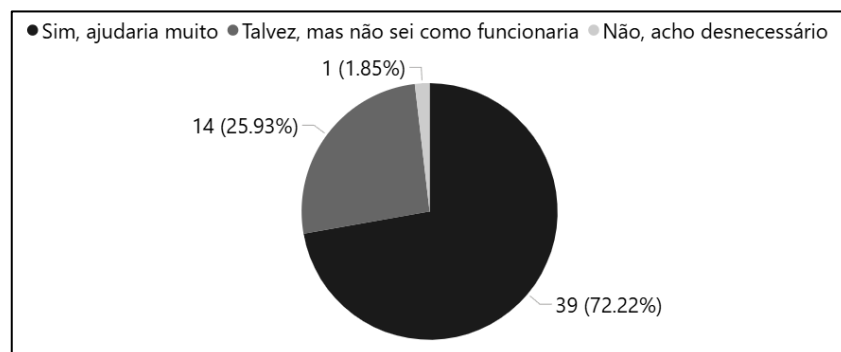
Fonte: Autor (2025)

Figura 26 – Respostas sobre os horários que mais utilizam os aparelhos elétricos



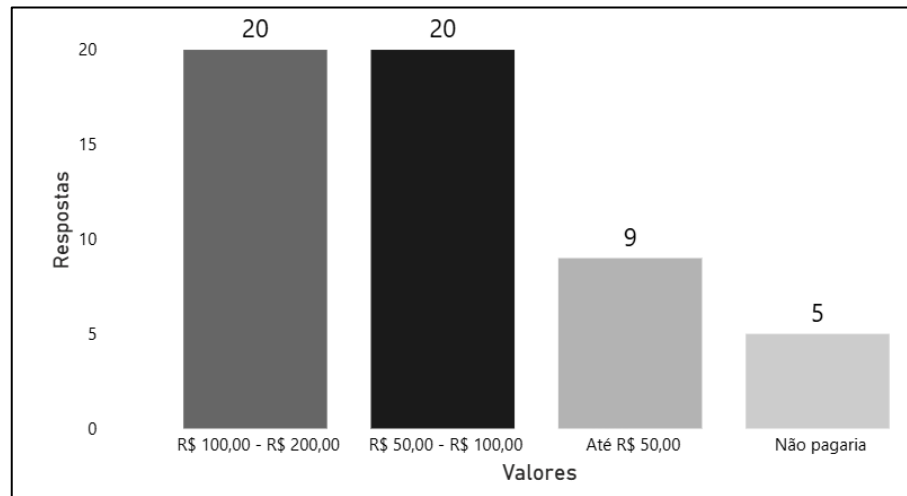
Fonte: Autor (2025)

Figura 27 – Respostas para entender se o sistema ajudaria



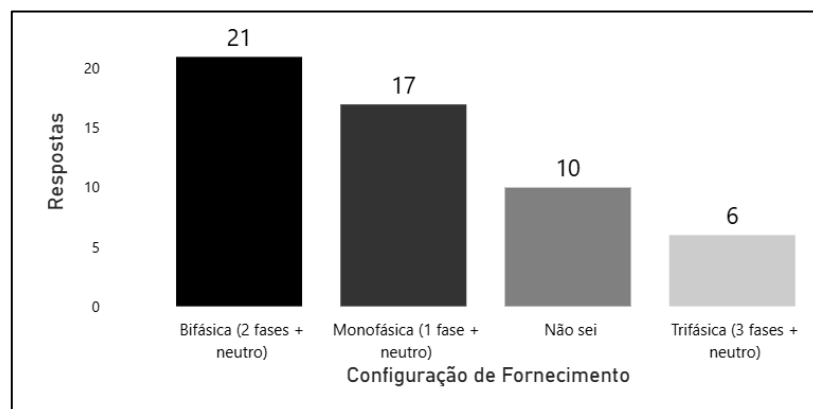
Fonte: Autor (2025)

Figura 28 - Resposta sobre quanto estariam dispostos a pagar pelo sistema



Fonte: Autor (2025)

Figura 29 – Respostas sobre a configuração das residências



Fonte: Autor (2025)

4.2. Discussão dos resultados do *google forms*

A pesquisa foi considerada um sucesso por ter ultrapassado o número mínimo de pessoas que responderam. A participação de pessoas de diferentes lugares garante mais credibilidade (figura 23).

É possível perceber que a configuração monofásica de fornecimento não é a que predomina nas residências atualmente, o que indica a necessidade de se repensar o sistema proposta para atender a uma configuração diferente. (Figura 29)

4.3. Resultados da comparação de custos com dispositivos comerciais

Para evidenciar o **custo-benefício** do sistema desenvolvido, foi feita uma comparação com alguns medidores/relés com medição de energia disponíveis no mercado brasileiro. Os preços abaixo foram consultados em lojas online entre setembro e outubro de 2025 e podem variar conforme estoque, câmbio e frete.

Tabela 2 - Comparação dos dispositivos existentes

Dispositivo / modelo	Funções principais	Preço aproximado (R\$)	Observações importantes
Sonoff Pow R3 Elite (16A)	Medidor com visor LCD + integração Wi-Fi	R\$ 187,20 Mercado Livre	opção com display local
Tuya Smart Energy Meter (modelo genérico)	Medição de energia + controle via app	R\$ 239,02 Lista do Mercado Livre	versão para 2 canais, marca genérica
Protótipo desenvolvido	Medição dos parâmetros (corrente, potência) + interface web local	R\$ 87,30 (estimado)	custo dos componentes (sensor, Arduino, protoboard etc.)

Fonte: Autor (2025)

4.4. Discussão da comparação

Com base na comparação:

- O protótipo apresenta um custo até **63% menor** que o medidor da Tuya e uma diferença de 53% frente ao Sonoff Pow R3 Elite, evidenciando a economia de escala em soluções próprias.
- Adicionalmente, o protótipo permite maior flexibilidade para modificações futuras (inclusão de sensores, mudança de interface, comunicação sem fio), o que nem sempre é possível nos dispositivos comerciais.
- Em contrapartida, é importante reconhecer que os produtos comerciais já vêm com garantia, acabamento industrial e certificações, o que adiciona valor agregado.

Ao comparar o custo de produção do protótipo (R\$ 80,00) com preços de dispositivos comerciais como o **Sonoff Pow R3 Elite** (R\$ 187,20) Mercado Livre e o **Tuya Smart Energy Meter** (R\$ 239,02) Lista do Mercado Livre, observa-se uma economia significativa no investimento inicial. Essa vantagem financeira, aliada à possibilidade de customização e ampliação, torna o sistema desenvolvido competitivo frente aos produtos de prateleira. Contudo, deve-se considerar aspectos como certificação, confiabilidade e robustez mecânica, nos quais os dispositivos comerciais geralmente levam vantagem.”

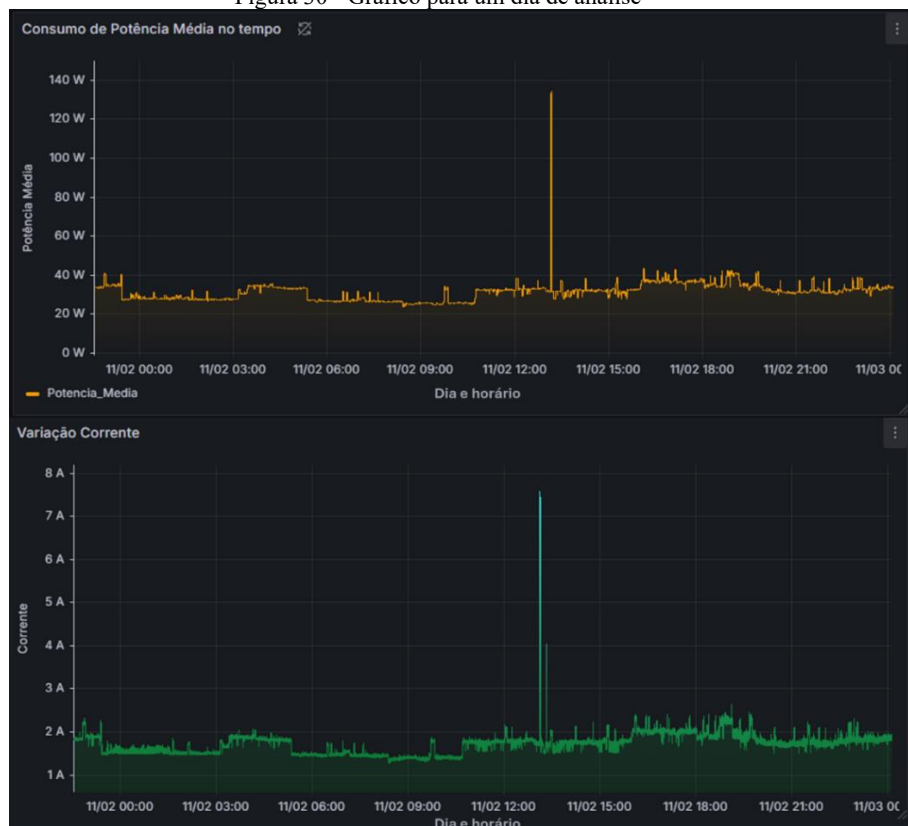
4.5. Resultados obtidos com o teste

O primeiro teste do sistema ocorreu da seguinte forma: após a inicialização, o mesmo foi mantido em funcionamento contínuo durante seis dias, a fim de avaliar sua estabilidade e capacidade de coleta de dados em longo prazo. Durante esse período, o sistema permaneceu em observação, registrando as informações de consumo e exibindo-as em tempo real na interface desenvolvida.

Foi possível observar que o sistema operou de forma estável durante todo o período de análise, coletando e armazenando corretamente os dados obtidos pelos sensores, apesar de ser interrompido a coleta dos dados devido a uma queda de energia. Além disso, verificou-se a possibilidade de gerar gráficos de médias diárias, recurso fundamental para a visualização e interpretação do comportamento do consumo de energia ao longo do tempo

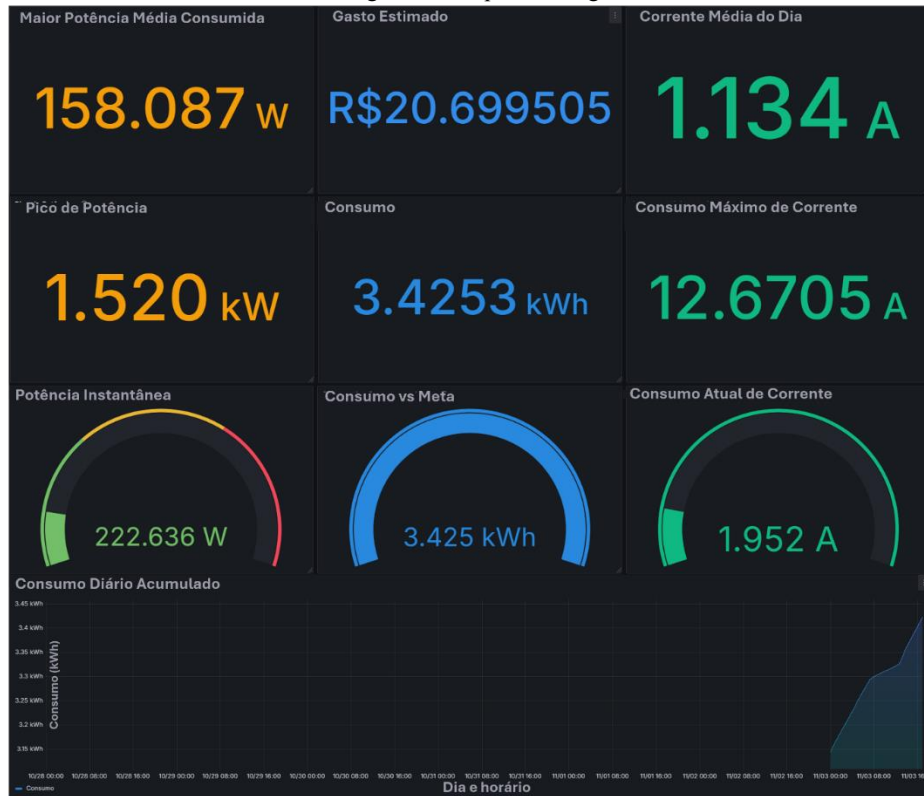
Na Figura 30 e apresenta-se um exemplo de gráfico correspondente a um dia de análise, ilustrando como os dados podem ser representados graficamente e evidenciando a viabilidade da solução proposta. A figura 31 mostra os dados coletados desse teste e como foram mostrados na tela do supervisórios.

Figura 30 - Gráfico para um dia de análise



Fonte: Autor (2025)

Figura 31 - Supervisório geral



Fonte: Autor (2025)

4.6. Discussão dos resultados do teste

Os resultados obtidos durante o período de testes demonstraram que o sistema desenvolvido apresenta desempenho satisfatório em termos de estabilidade, confiabilidade e funcionalidade. A operação contínua ao longo de seis dias permitiu avaliar de forma consistente o comportamento do sistema frente a um uso prolongado, sem que fossem observadas falhas de comunicação, perda de dados ou interrupções no registro das medições.

A coleta contínua e o armazenamento correto dos dados indicam que o processo de aquisição está devidamente sincronizado com os sensores, garantindo integridade e consistência nas informações registradas. A exibição em tempo real das medições na interface comprova a eficiência da comunicação entre os módulos de hardware e software, aspecto essencial para aplicações de monitoramento energético.

Os gráficos de médias diárias gerados demonstram o potencial da ferramenta para análise de tendências e identificação de padrões de consumo. A possibilidade de visualização clara das variações ao longo do tempo facilita o diagnóstico de picos de demanda, períodos de ociosidade e oportunidades de otimização energética. Dessa forma, o sistema não apenas cumpre seu papel de monitoramento, mas também se mostra útil como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Adicionalmente, o gráfico apresentado na Figura 30 evidencia a coerência dos dados obtidos, representando adequadamente as oscilações típicas de consumo durante o dia. Isso reforça a precisão do processo de amostragem e valida a viabilidade da solução proposta para ambientes reais.

Em síntese, os testes comprovam que o sistema é funcional, estável e capaz de realizar medições contínuas e confiáveis, constituindo uma base sólida para futuras expansões, como a integração de alertas automáticos, previsão de consumo ou aplicação de técnicas de inteligência artificial para detecção de anomalias.

4.7. Análise do comportamento de corrente com acionamento de cargas

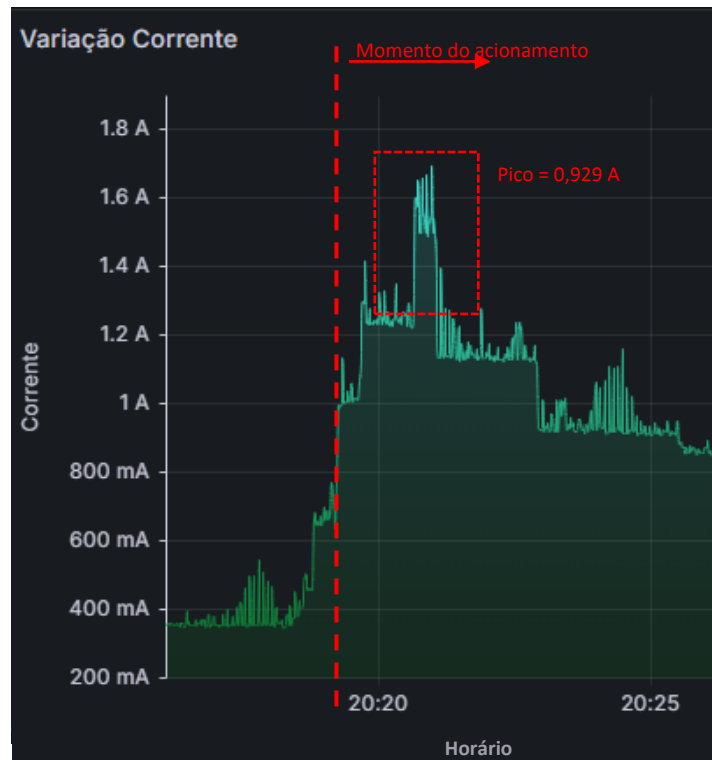
Durante os testes, foram realizadas medições da corrente elétrica em tempo real, utilizando o sistema desenvolvido, para observar o comportamento da rede elétrica no momento de acionamento de diferentes aparelhos domésticos.

As Figuras 32 a 34 apresentam os gráficos obtidos no dashboard do Grafana para três cargas distintas (televisão, lâmpada de LED e lâmpada incandescente e micro-ondas), destacando o instante em que cada uma foi ligada, juntamente com o valor aproximado da corrente consumida.

4.7.1. Acionamento da televisão

Observou-se que, no instante de acionamento da TV (figura 32), há um pico de corrente seguido de estabilização. Esse comportamento é típico de cargas com fontes chaveadas, nas quais os capacitores de entrada provocam uma corrente de partida elevada. Esse resultado confirma a sensibilidade do sistema em captar variações transitórias de corrente elétrica, evidenciando seu potencial para análise de perfil de carga. Quando a televisão foi ligada, a corrente teve um pico de aproximadamente 0,929 A e estabilizou em torno de 0,53 A

Figura 32 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento da televisão



Fonte: Autor (2025)

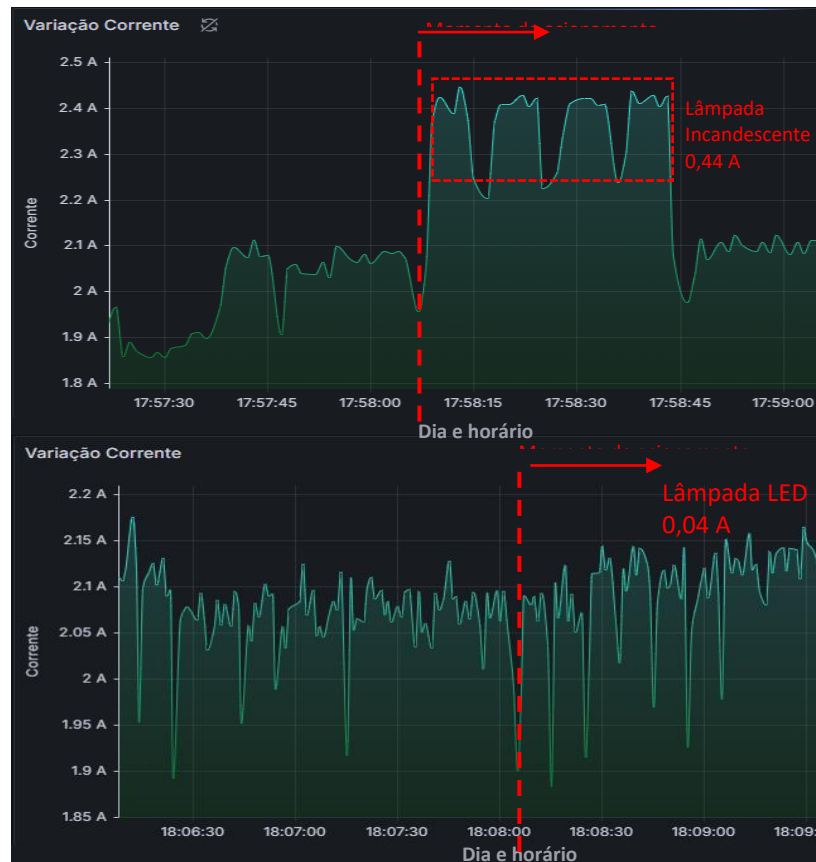
4.7.2. Acionamento das lâmpadas

Observou-se que, no instante de acionamento das lâmpadas (figura 33), ambas apresentaram um pico de corrente inicial seguido de estabilização. No entanto, a lâmpada incandescente apresentou um aumento de corrente consideravelmente maior em relação à lâmpada LED. Esse comportamento deve-se à baixa resistência do filamento frio no momento da energização, o que provoca uma corrente de partida elevada até que o filamento atinja a temperatura de operação e a resistência estabilize.

Já a lâmpada LED apresentou um pico de menor amplitude e curta duração, característico de cargas com drivers eletrônicos baseados em fontes chaveadas, onde o pico é causado pelo carregamento dos capacitores de entrada. Após o transiente, a corrente da lâmpada LED estabilizou em um valor significativamente inferior, confirmando sua maior eficiência energética em comparação à incandescente.

Esses resultados reforçam a capacidade do sistema desenvolvido em identificar diferentes comportamentos de carga.

Figura 33 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento da lâmpada incandescente e no acionamento da lâmpada LED



Fonte: Autor (2025)

4.7.3. Acionamento do aparelho micro-ondas

Durante o acionamento do forno de micro-ondas, observou-se um pico inicial de corrente seguido de estabilização, comportamento característico de cargas com componentes indutivos e eletrônicos. Esse pico ocorre no momento em que o transformador de alta tensão e o circuito de controle eletrônico são energizados, exigindo uma corrente de partida elevada para magnetizar o núcleo do transformador e carregar os capacitores do circuito interno.

Após o transiente, a corrente estabiliza em um valor mais constante, correspondente ao funcionamento contínuo do magnetron. Nesse regime, o consumo de potência permanece elevado, porém estável, refletindo a alta demanda energética típica do micro-ondas. O valor de corrente do aparelho registrado no momento do acionamento foi de cerca de 6 A.

Figura 34 - Gráfico da corrente instantânea no acionamento do micro-ondas



Fonte: Autor (2025)

4.8. Discussão da Análise do comportamento de corrente com acionamento de cargas

Os resultados demonstram que o sistema foi capaz de registrar as variações instantâneas de corrente no momento do acionamento das cargas, evidenciando a sensibilidade do sensor e a eficiência da comunicação entre o Arduino, o banco de dados e o Grafana.

O pico inicial observado no acionamento da televisão e do micro-ondas ocorre devido à corrente de partida, comum em cargas eletrônicas e resistivas de maior potência, respectivamente. Após o breve pico, a corrente se estabiliza, refletindo o consumo nominal do equipamento.

No caso da lâmpada LED, a corrente permaneceu praticamente constante desde o acionamento, o que confirma o baixo consumo e a ausência de transientes significativos — comportamento típico de cargas puramente resistivas de baixa potência.

A capacidade do sistema em identificar essas variações reforça sua aplicabilidade em ambientes residenciais, permitindo que o usuário visualize com precisão o comportamento do consumo de energia em tempo real e identifique equipamentos com picos de corrente mais elevados.

4.9. Validação dos testes

Para validar o sistema desenvolvido, foram realizadas medições em cinco períodos distintos, cada um com duração de três dias. Em cada período, o consumo registrado pelo sistema foi comparado com o valor indicado pelo medidor oficial da residência (relógio de entrada). Essa comparação permitiu avaliar a precisão das medições e a confiabilidade do sistema proposto.

Para analisar as leituras do relógio de entrada, calculou-se a diferença entre a leitura final e a leitura inicial (Equação 5). Já para determinar o erro relativo entre o consumo real medido pelo relógio e o consumo estimado pelo sistema, utilizou-se a diferença entre o valor registrado pelo sistema e o valor registrado pelo relógio, dividida pelo valor registrado pelo relógio, conforme apresentado na Equação 6. O erro relativo foi calculado utilizando o valor absoluto da diferença entre as medições, de modo a avaliar exclusivamente a magnitude do desvio.

$$kWh_{medido} = kWh_{FINAL} - kWh_{INICIAL} \quad (5)$$

$$erro_relativo(\%) = \frac{ValorLido_{sistema} - ValorLido_{relógio}}{ValorLido_{relógio}} \times 100 \quad (6)$$

4.9.1. Primeira amostra

No primeiro teste, iniciado em 08/11/2025 às 17h53, o medidor de entrada registrava 33.134 kWh (Figura 35). Ao final do terceiro dia de monitoramento, em 11/11/2025 às 18h42, o valor indicado no medidor era de 33.148 kWh (Figura 36). A diferença entre as duas leituras corresponde a um consumo de 14 kWh (Equação 7) no período analisado.

$$kWh_{medido} = 33.148 - 33.134 = \mathbf{14} \quad (7)$$

No mesmo intervalo, o sistema desenvolvido registrou um consumo de 13,9056 kWh (Figura 37), resultando em um erro relativo de 0,67% (Equação 8) em relação ao valor medido pelo relógio de entrada.

$$erro_relativo(\%) = \frac{13,9056 - 14}{14} \times 100 = \mathbf{0,67\%} \quad (8)$$

Figura 35 - Leitura Inicial do 1º Teste



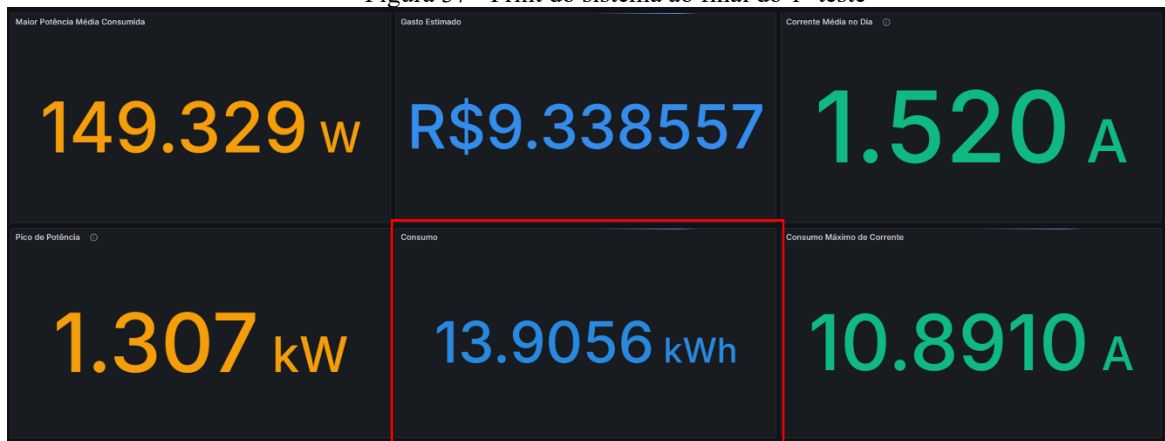
Fonte: Autor (2025)

Figura 36 - Leitura Final do 1º Teste



Fonte: Autor (2025)

Figura 37 - Print do sistema ao final do 1º teste



Fonte: Autor (2025)

4.9.2. Segunda amostra

No segundo teste, iniciado em 15/11/2025 às 13h09, o medidor de entrada registrava 33.169,5 kWh (Figura 38). No terceiro dia de monitoramento, em 18/11/2025 às 04h22, houve uma queda de energia que interrompeu o funcionamento do sistema, e o valor registrado pelo relógio nesse instante não pôde ser anotado. Contudo, estima-se que o medidor marcava aproximadamente 33.184 kWh (somando valor inicial de leitura mais o último valor lido pelo sistema) naquele momento. Às 16h30 do mesmo dia, foi possível registrar novamente a leitura do relógio, que indicava cerca de 33.187,9 kWh (Figura 39). Calculando a diferença entre a leitura final e a leitura inicial do relógio (medição completa), obtém-se um consumo de 18,4 kWh (Equação 9).

$$kWh_{medido} = 33.187,9 - 33.169,5 = \mathbf{18,4} \quad (9)$$

Considerando o período em que o sistema permaneceu em operação até a interrupção — aproximadamente 63 horas (das 13h09 de 15/11 até 04h22 de 18/11) — foram registrados 14,6386 kWh de consumo (figura 40). Assim, o consumo médio durante esse intervalo foi de aproximadamente 0,232 kWh/h (Equação 10).

$$Consumo_{médio} = \frac{14,6386}{63} = \mathbf{0,232} \quad (10)$$

Estimando que esse consumo médio se manteria constante, foi possível calcular o consumo relativo às 9 horas restantes para completar as 72 horas de monitoramento. Multiplicando o valor médio por 9, obtém-se 2,088 kWh (Equação 11). Ao somar esse valor ao

consumo já registrado pelo sistema, estima-se que o sistema mediria 16,7266 kWh ao final do período original de 72 horas (Equação 12).

$$\text{Consumo}_{\text{restante}} = 0,232 \times 9 = \mathbf{2,088} \quad (11)$$

$$\text{kWh}_{\text{medido}} = 14,6386 + 2,088 = \mathbf{16,7266} \quad (12)$$

Da mesma forma, utilizando o consumo médio calculado e multiplicando por 3 horas (Equação 13) — diferença entre 13h09 e 16h09 para comparação com a leitura real do relógio às 16h30 — chega-se a uma estimativa de 17,4226 kWh (Equação 14). Comparando esse valor estimado com o consumo real registrado pelo relógio (18,4 kWh), obtém-se um erro relativo de aproximadamente 5,31% (Equação 15).

$$\text{Consumo}_{\text{restante}} = 0,232 \times 3 = \mathbf{0,696} \quad (13)$$

$$\text{Consumo}_{\text{estimado}} = 16,7266 + 0,696 = \mathbf{17,4226} \quad (14)$$

$$\text{erro_relativo}(\%) = \frac{17,4226 - 18,4}{18,4} \times 100 = \mathbf{5,31\%} \quad (15)$$

Figura 38 - Leitura Inicial do 2º Teste



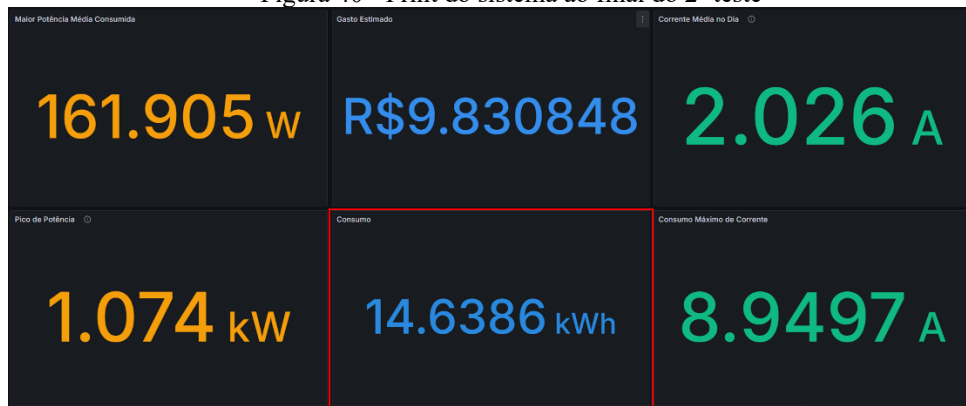
Fonte: Autor (2025)

Figura 39 - Leitura Final do 2º Teste



Fonte: Autor (2025)

Figura 40 - Print do sistema ao final do 2º teste



Fonte: Autor (2025)

4.9.3. Terceira amostra

No terceiro teste, iniciado em 18/11/2025 às 16h54, o medidor de entrada registrava 33.188 kWh (Figura 41). Ao final do terceiro dia de monitoramento, em 21/11/2025 às 16h54, o valor indicado no medidor era de 33.204 kWh (Figura 42). A diferença entre as duas leituras corresponde a um consumo de 16 kWh no período analisado (Equação 16).

$$kWh_{medido} = 33.204 - 33.188 = \mathbf{16} \quad (16)$$

No mesmo intervalo, o sistema desenvolvido registrou um consumo de 15,0221 kWh (Figura 43), resultando em um erro relativo de 6,11% (Equação 17) em relação ao valor medido pelo relógio de entrada.

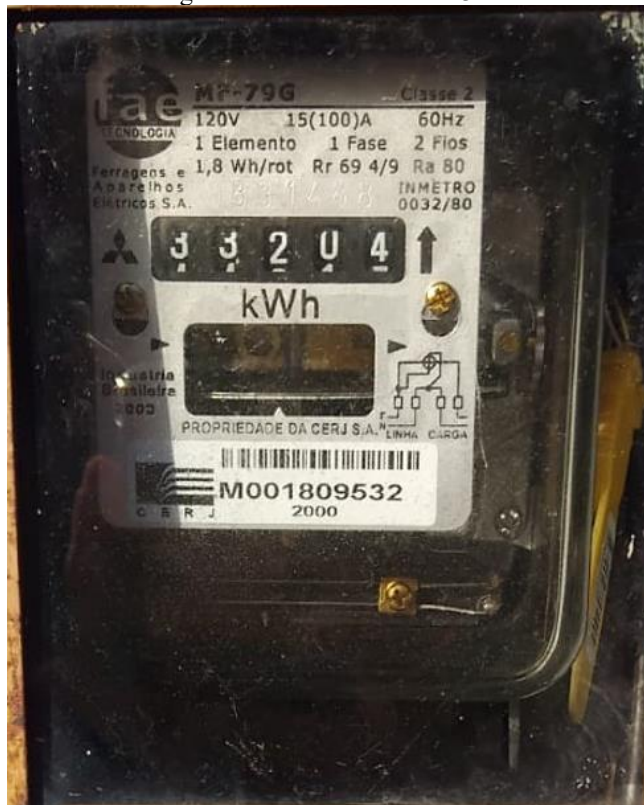
$$erro_relativo(\%) = \frac{15,0221 - 16}{16} \times 100 = \mathbf{6,11\%} \quad (17)$$

Figura 41 - Leitura Inicial do 3º Teste



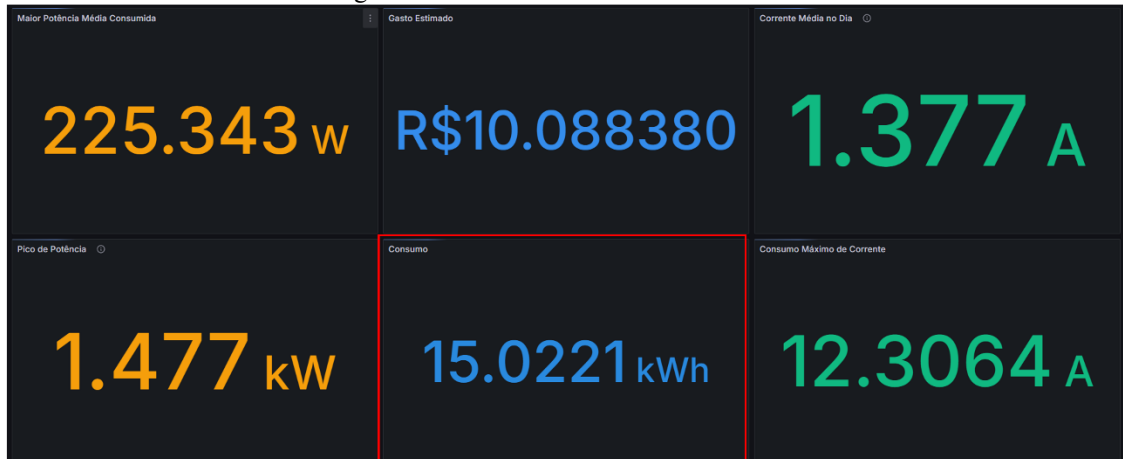
Fonte: Autor (2025)

Figura 42 - Leitura Final do 3º Teste



Fonte: Autor (2025)

Figura 43 - Print do sistema ao final do 3º teste



Fonte: Autor (2025)

4.9.4. Quarta amostra

No quarto teste, iniciado na data de 21/11/2025 às 19h17, foi registrado no relógio o consumo até aquele momento de 33.205 kWh (Figura 44) e ao final do 3º dia (24/11/2025), às 18h24, foi registrado 33.223 kWh (Figura 45). Calculando a diferença entre o último dia e o primeiro dia, resultou em um consumo de 18 kWh no período analisado (Equação 18).

$$kWh_{medido} = 33.223 - 33.205 = \mathbf{18} \quad (18)$$

Nesse período, o sistema registrou o consumo de 16,6430 kWh (Figura 46), resultando em um erro relativo de 7,54% (Equação 19) em relação ao valor medido pelo relógio de entrada.

$$erro_relativo(\%) = \frac{16,6430 - 18}{18} \times 100 = \mathbf{7,54\%} \quad (19)$$

Figura 44 - Leitura Inicial do 4º Teste



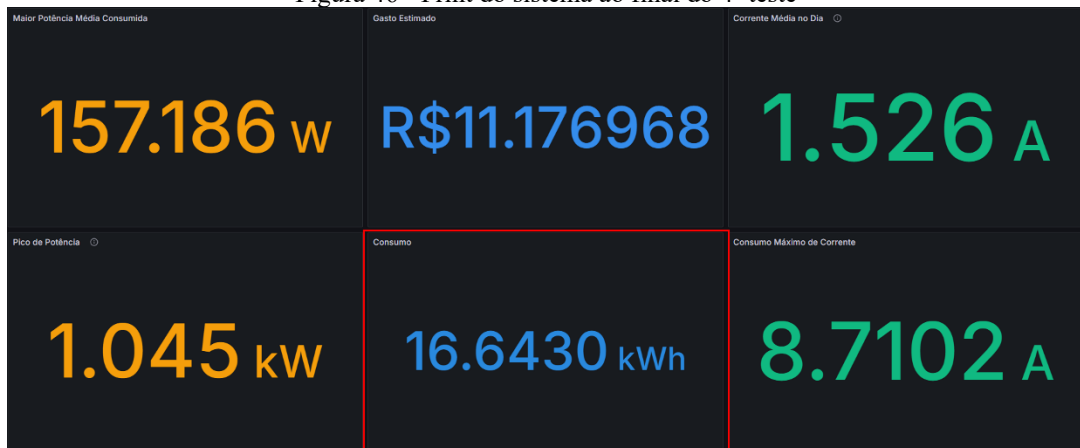
Fonte: Autor (2025)

Figura 45 - Leitura Final do 4º Teste



Fonte: Autor (2025)

Figura 46 - Print do sistema ao final do 4º teste



Fonte: Autor (2025)

4.9.5. Quinta amostra

No quinto teste, o período analisado não foi de 3 dias, mas um pouco abaixo, sendo aproximadamente 51 horas. Iniciado na data de 24/11/2025 às 20h35, foi registrado no relógio o consumo até aquele momento de 33.223,8 kWh (Figura 47) e um pouco além do 2º dia (26/11/2025), às 23h10, foi registrado 33.233,8 kWh (Figura 48). Calculando a diferença entre o último dia e o primeiro dia, resultou em um consumo de 10 kWh no período analisado (Equação 20).

$$kWh_{medido} = 33.233,8 - 33.223,8 = 10 \quad (20)$$

Nesse período, o sistema registrou o consumo de 10,1050 kWh (Figura 49), resultando em um erro relativo de 1,05% (Equação 21) em relação ao valor medido pelo relógio de entrada.

$$erro_relativo(\%) = \frac{10,1050 - 10}{10} \times 100 = 1,05\% \quad (21)$$

Figura 47 - Leitura Inicial do 5º Teste



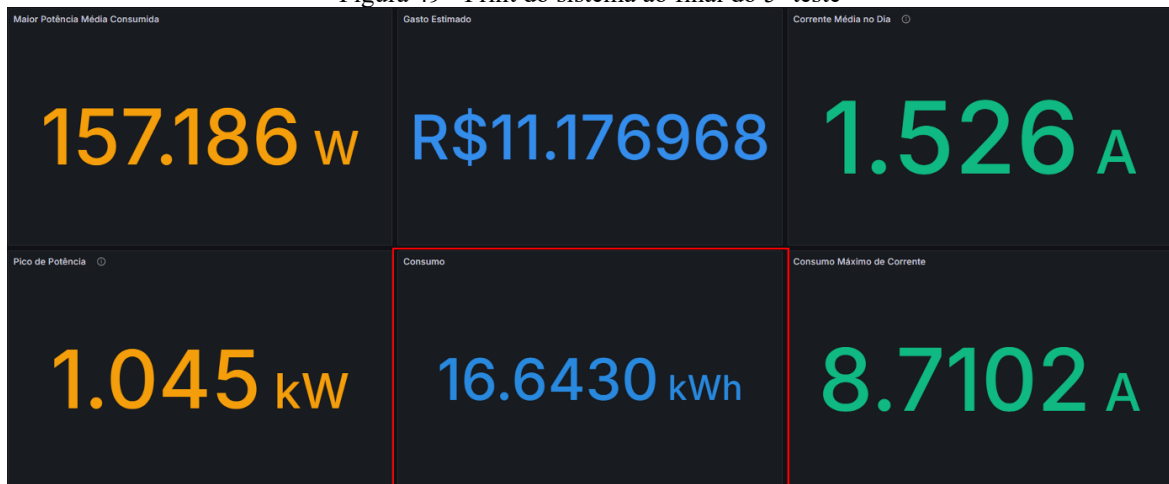
Fonte: Autor (2025)

Figura 48 - Leitura Final do 5º Teste



Fonte: Autor (2025)

Figura 49 - Print do sistema ao final do 5º teste



Fonte: Autor (2025)

4.9.6. Conclusão das amostras

Com a realização de todos os testes, foi possível validar as medições efetuadas pelo sistema e concluir que os resultados obtidos são satisfatórios. Embora as leituras do sistema não coincidam exatamente com as do medidor oficial, as diferenças encontradas permanecem dentro de limites aceitáveis para aplicações residenciais. Em todos os períodos avaliados, a diferença entre o consumo registrado pelo relógio de entrada e pelo sistema foi inferior a 2 kWh (Figura 50), e o erro relativo permaneceu abaixo de 8% (Figura 51).

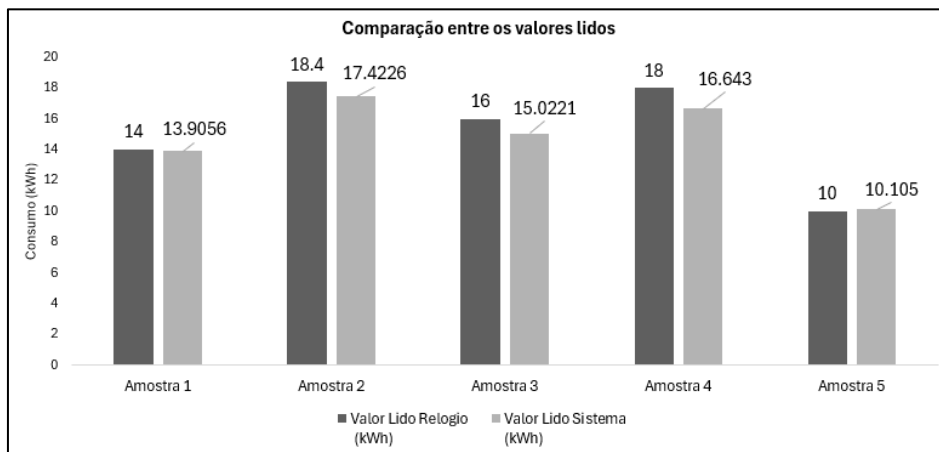
As amostras apresentaram boa consistência ao longo dos dias analisados (três dias por teste, exceto no último período), com baixa dispersão entre os valores medidos. Isso também pode ser observado pelo cálculo do desvio padrão, que indica que o consumo da residência mantém um comportamento relativamente estável. A média de consumo registrada pelo relógio foi de 15,28 kWh, enquanto o sistema registrou uma média de 14,62 kWh. Ressalta-se que o desvio padrão poderia ser ainda menor caso o último teste tivesse sido concluído dentro do intervalo completo de aproximadamente 72 horas.

As comparações entre as medições podem ser visualizadas por meio dos box plots apresentados na Figura 52 (valores do relógio de entrada) e na Figura 53 (valores registrados pelo sistema).

A Tabela 3 apresenta um resumo dos cinco testes realizados, incluindo os valores de consumo registrados pelo relógio de entrada e pelo sistema desenvolvido, além da diferença absoluta e do erro relativo para cada amostra. Também são exibidos os parâmetros estatísticos de média, mediana e desvio padrão, permitindo avaliar a consistência das medições e a proximidade entre os dois métodos de leitura. Observa-se que o erro relativo permaneceu abaixo

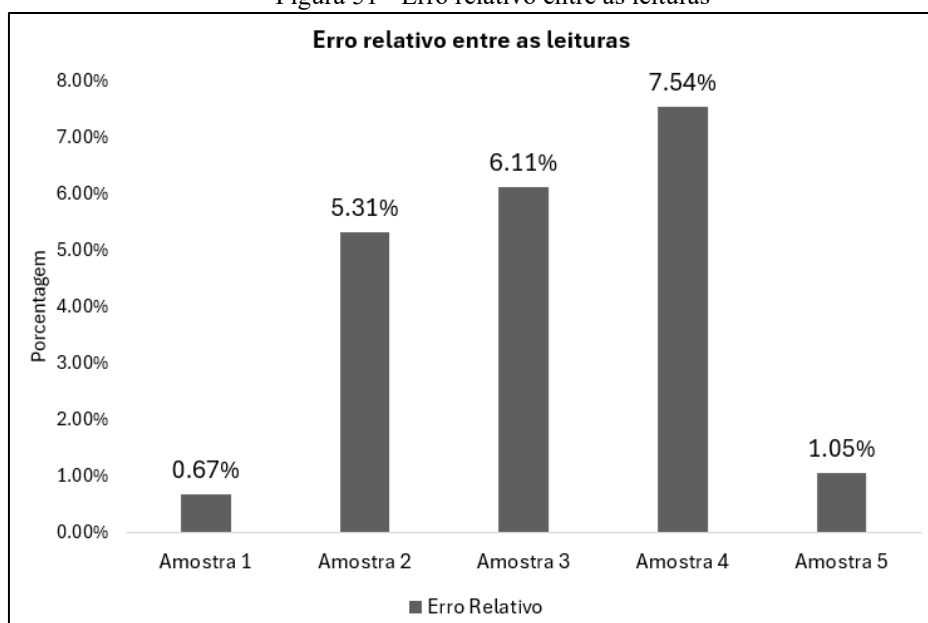
de 8% em todas as amostras, com média geral de aproximadamente 4%, indicando boa precisão do sistema.

Figura 50 - Comparação entre os valores lidos



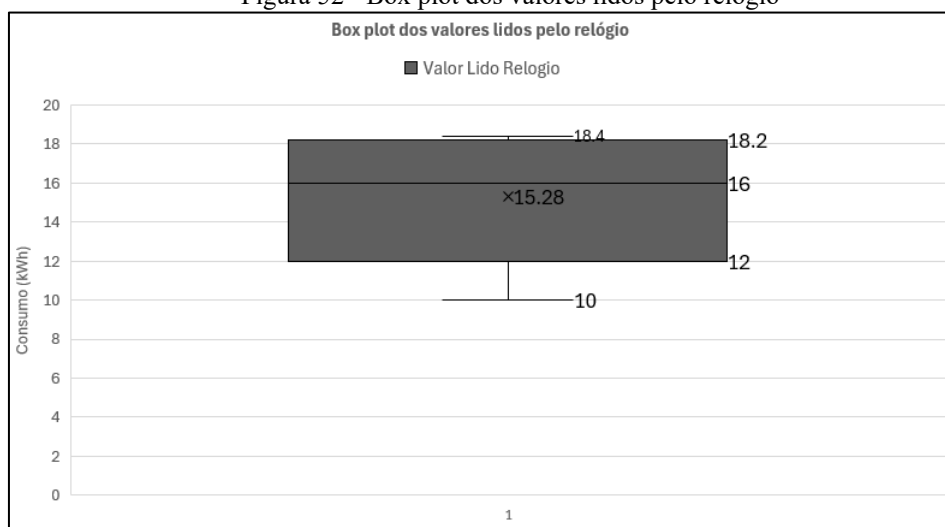
Fonte: Autor (2025)

Figura 51 - Erro relativo entre as leituras



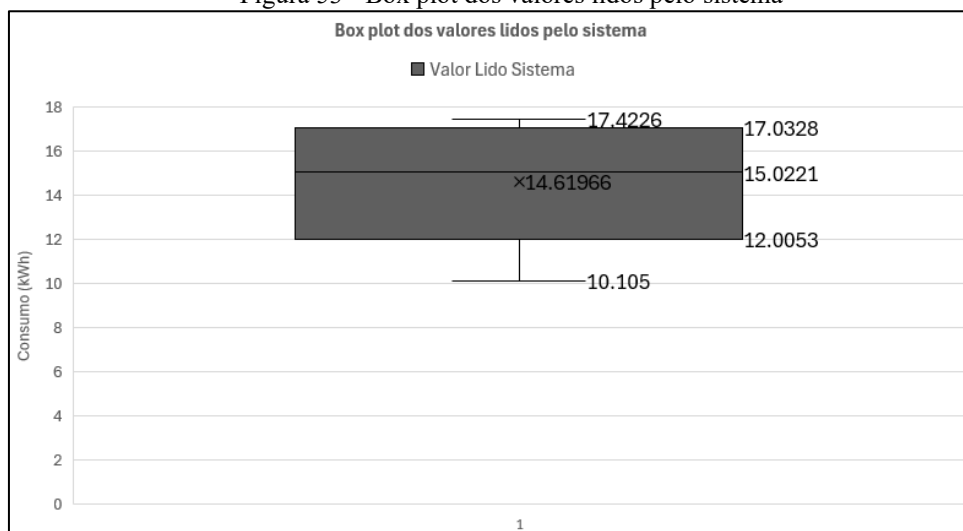
Fonte: Autor (2025)

Figura 52 - Box plot dos valores lidos pelo relógio



Fonte: Autor (2025)

Figura 53 - Box plot dos valores lidos pelo sistema



Fonte: Autor (2025)

Tabela 3 - Comparação entre o consumo medido pelo relógio de entrada e pelo sistema desenvolvido

Teste	Valor Lido Relógio (kWh)	Valor Lido Sistema (kWh)	Diferença (kWh)	Erro Relativo
Amostra 1	14	13.9056	0.0944	0.67%
Amostra 2	18.4	17.4226	0.9774	5.31%
Amostra 3	16	15.0221	0.9779	6.11%
Amostra 4	18	16.643	1.357	7.54%
Amostra 5	10	10.105	0.105	1.05%
Média	15.28	14.62	0.70	4.14%
Mediana	16.00	15.02	0.98	5.31%
Desvio Padrão	3.434	2.87	0.57	3.10%

Fonte: Autor (2025)

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema de monitoramento de energia elétrica de baixo custo atingiu os objetivos propostos neste trabalho. O protótipo, baseado na plataforma Arduino e no sensor não invasivo SCT-013, mostrou-se capaz de realizar medições de corrente elétrica com precisão satisfatória, armazenando e exibindo as informações em tempo real por meio de uma interface web integrada ao banco de dados MySQL e ao painel de visualização Grafana.

Os resultados obtidos nos testes realizados em ambiente residencial demonstraram a estabilidade do sistema durante o período de observação, sem perdas de dados ou falhas de comunicação. Porém, foi percebido uma queda de energia durante um período do dia no qual foi necessário a inserção manual dos últimos dados armazenados pelo Arduino para que o sistema continuasse a medição de onde ele foi encerrado devido à falta de energia. A análise dos gráficos e indicadores de consumo permitiu compreender o comportamento energético da residência e identificar possíveis oportunidades de economia, evidenciando o potencial da ferramenta para auxiliar o usuário no uso racional da energia elétrica.

Além do desempenho técnico, o estudo evidenciou que o custo de implementação do protótipo é significativamente inferior ao de dispositivos comerciais disponíveis no mercado, representando uma alternativa viável para usuários e pesquisadores que desejam desenvolver soluções personalizadas e acessíveis.

Portanto, conclui-se que o sistema desenvolvido cumpre sua finalidade de monitorar o consumo de energia elétrica de forma simples, eficiente e de baixo custo. Apesar de suas limitações — como a ausência de medição trifásica e de comunicação sem fio —, o trabalho fornece uma base sólida para aprimoramentos futuros, contribuindo para a disseminação de tecnologias acessíveis e sustentáveis no contexto da eficiência energética residencial.

6. INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar módulo Bluetooth ou Wi-Fi para comunicação sem fio entre o Arduino e o servidor;
- Implementar sensores adicionais (como tensão, temperatura e fator de potência);
- Ampliar o sistema para monitoramento trifásico;
- Realizar testes comparativos com medidores certificados para validação da precisão;
- Criação de alertas para consumo de corrente e potência elevados.
- Utilizar notebook para não depender de um equipamento ligado à rede (computador).
- Utilizar o histórico de informações do banco de dados para treinar modelos de IA e Machine Learning para previsão de padrões com gastos e consumo
- Criar formas de autenticação entre o Grafana e o banco de dados para aumentar a segurança

REFERÊNCIAS

About Grafana | Grafana documentation. Disponível em:

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/introduction/?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 5 abr. 2025.

ADEBISI, J. A.; NDJULUWA, L. N. P. A survey of power-consumption monitoring systems. **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 7, n. September 2023, p. 100386, 2024.

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos.** , 2013.

ALEXE, V. M.; SCIENCES, E.; ENGINEERING, E.

ComparativeStudyRegardingMeasurementsOfDifferentACCurrentSensors-ViorelMIRON-ALEXE. 2016.

BARBOSA, M. T. M.; ANDRADE, A. O.; PRADO, M. G. **ÉdaSuaConta: UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM HARDWARE E SOFTWARE LIVRE.** n. December, p. 99, 2017.

CALILI, R. F. Políticas de Eficiência Energética no Brasil: uma abordagem em um Ambiente Econômico sob Incerteza. p. 185, 2013.

CENCETTI, M. **AAM NATIONAL CAMPAIGN TECH TALK: GRAFANA.** Disponível em: <[https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220011171/downloads/ATI TechTalk - Grafana v6.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220011171/downloads/ATI_TechTalk_-_Grafana_v6.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2025.

COSTA, J. DOS S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. L. DE. Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e26210414085, 2021.

DHRUV, A. J.; PATEL, R.; DOSHI, N. Python: The Most Advanced Programming Language for Computer Science Applications. [s.d.].

ERICKSON, J. **MySQL: Understanding What It Is and How It's Used**. Disponível em: <<https://www.oracle.com/mysql/what-is-mysql/>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

FELISARDO, R. J. A.; SANTOS, G. N. 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**, v. 8, p. 11–26, 2023.

GARCÍA-TUDELA, P. A.; MARÍN-MARÍN, J. A. Use of Arduino in Primary Education: A Systematic Review. **Education Sciences**, v. 13, n. 2, 2023.

HACK, V. M. **SISTEMA SUPERVISÓRIO APLICADO À AUTOMAÇÃO**

INDUSTRIAL. Lages, 2019. Disponível em:

<<https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/09775-hack,-v.-m.-sistema-supervisorio-aplicado-a-automacao-industrial.-tcc,-2019..pdf>>

HEMMENDINGER, D. **Computer programming language**. Disponível em:

<<https://www.britannica.com/technology/computer-programming-language/SQL>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

HOLLW. Robert K. Yin. (2014). Case Study Research Design and Methods (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. 282 pages. **The Canadian Journal of Program Evaluation**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 282, 2016. DOI: 10.3138/CJPE.BR-240.

IBADURRAHMAN, H.; JAKARTA, P. N. Sistem Monitoring Arus Listrik Portable Menggunakan SCT-013-000 dan Mikrokontroler Nodemcu untuk Ruang Operation Center. n. April, 2020.

J. SOUZA, R. et al. Proposal and 3E (energy, exergy, and exergoeconomic) assessment of a cogeneration system using an organic Rankine cycle and an Absorption Refrigeration System in the Northeast Brazil: Thermodynamic investigation of a facility case study. **Energy Conversion and Management**, v. 217, n. May, p. 113002, 2020.

JUWITO, A.; DIONO, D.; JIHAD, M. Design a Prototype Monitoring System and Data Logging for 3-Phase Electrical Systems. 2023.

KABIR, M. A. et al. Python For Data Analytics: A Systematic Literature Review Of Tools, Techniques, And Applications. **ACADEMIC JOURNAL ON SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING & MATHEMATICS EDUCATION**, v. 4, n. 04, p. 134–154, 13 nov. 2024.

LIN, T. R.; OMAR KHAN, N. H.; DAUD, M. Z. Arduino based appliance monitoring system using SCT-013 current and ZMPT101B voltage sensors. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 2021, n. 9, p. 89–94, 2021.

MARIA PAULINO CARNEIRO MOREIRA, M. et al. Contribuições do Arduíno no Ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721–745, 18 dez. 2018.

SANTOS, W. DA S. et al. MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DO NÍVEL E VISCOSIDADE NA PREPARAÇÃO DE COLA NA INDÚSTRIA GRÁFICA COM ARDUINO. **Revista ft**, v. 29, n. 141, p. 54–55, 2024.

SOARES, A. DOS S. A automação e o terceiro mundo. **Revista de Administração de Empresas**, v. 28, n. 3, p. 63–69, set. 1988.

The Python Tutorial — Python 3.13.2 documentation. Disponível em: <<https://docs.python.org/3/tutorial/>>. Acesso em: 5 abr. 2025.

VILELA, P. S. DA C.; VIDAL, F. J. T. Automação Industrial. p. 5, 2003.

What is Python? Executive Summary | Python.org. Disponível em: <<https://www.python.org/doc/essays/blurb/>>. Acesso em: 5 abr. 2025.

XAVIER, A. B. et al. A automação industrial como solução e não como ameaça aos trabalhadores. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 6, p. 9019–9032, 2023.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2017.

APÊNDICE A - CÓDIGO EM PYTHON PARA LEITURA SERIAL

```
import serial
import time
import mysql.connector

# Conectar ao MySQL
conexao = mysql.connector.connect(
    host="localhost",
    user="root",
    password="",
    database="sistema_bd"
)
cursor = conexao.cursor()

# Configuração da porta serial
porta = "COM6" # Altere para a porta correta no seu sistema
baud_rate = 9600

try:
    arduino = serial.Serial(porta, baud_rate, timeout=1)
    arduino.dtr = False # Desativa o DTR (impede o reset)
    time.sleep(2) # Aguarda a conexão serial

while True:
    dados = arduino.readline().decode().strip()
    if dados:
        valores = dados.split(",") # Separar os valores por vírgula
        if len(valores) == 6: # Garantir que há 6 valores
            tensao = float(valores[0])
            corrente = float(valores[1])
            potencia_acc = float(valores[2])
            potencia_med = float(valores[3])
            consumo = float(valores[4])
```

```
gasto_tot = float(valores[5])

print(f"Tensao: {tensao}V, Corrente: {corrente}A, Potencia_acc: {potencia_acc}W,
Potencia_med: {potencia_med}W, Consumo: {consumo}kWh, Gasto_tot: R${gasto_tot}")

# Inserir no banco de dados
sql = "INSERT INTO leitura (tensao, corrente, potencia_acc, potencia_med, consumo,
gasto_tot) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s)"
cursor.execute(sql, (tensao, corrente, potencia_acc, potencia_med, consumo, gasto_tot))
conexao.commit()

except Exception as e:
print(f"Erro: {e}")

finally:
arduino.close()
cursor.close()
conexao.close()
```

APÊNDICE B - CÓDIGO EM ARDUINO PARA LEITURA DO SENSOR E CÁLCULOS DE CONSUMO

```
#include "EmonLib.h" //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA

double voltage = 120.0;

EnergyMonitor SCT013;
int pinSCT = A0; //Pino analógico conectado ao SCT-013
double Irms = 0.0;

float power = 0.0;
float pot_insta = 0.0; //potencia acumulada ao longo do tempo. somatorio das leituras de
potencia instantanea
float pot_media = 7.9179; //potencia media, usando a potencia acumulada dividido pela
quantidade de leituras feitas
float pot_acumulo = 35611.4; //potencia acumulada ao longo do tempo. somatorio das leituras
de potencia

float consumo = 0; // potencia_med vezes o tempo (1 min)
float consumo_aux = 0;
float consumo_total = 0; //armazena o valor total do consumo acumulado a cada 60s
float gasto_minuto = 0.0; //calculo final de todos os impostos, bandeiras e consumo
float gasto_total_final = 0; //soma os gastos

float ICMS = 0.18;
float PIS = 0.0008;
float COFINS = 0.004;
float tarifa_reais = 0.765207;
float tarifa_imposto = 0.0;
float tarifa_total = 0.0;
float bandeira = 0.0; //bandeira

int count; //contagem de ciclos do programa
```

```

int count2;

void setup(){
  SCT013.current(pinSCT, 6.0606);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  voltage = 120.0; //voltageSensor.getRmsVoltage();
  Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente

  if(count == 10){ //a cada 10 segundos...
    power = voltage * Irms * 0.92;
    pot_insta = power + pot_insta; //(em W) registra o valor de potência e soma com o valor
anterior
    pot_acumulo = pot_acumulo + power;
  };

  if(count == 60){ // a cada 60 segundos...

    pot_media = pot_insta / 6; //calcula a potencia media em minutos dividindo o somatório de
potências pelo números de amostras obtidos em 10 segundos

    consumo = ((pot_media / 1000.0) * (1.0/60.0))*9; //calcula o consumo e corrige com o fato
9
    consumo_aux = (pot_media / 1000.0) * (1.0/60.0); // calcula o consumo (energia) em
kWh/min, dividindo a potência média por 1000 e multiplicando por 1/60 (hora)
    consumo_total = consumo_total + consumo; //a cada minuto, acumula com o valor de
consumo anterior

    tarifa_imposto = (tarifa_reais * 60) * (1 + PIS + COFINS + ICMS); //tarifa com impostos
em kWh. multiplicar por 60 converte o valor da tarifa em hora para minuto
    tarifa_total = tarifa_imposto + bandeira; //somar a tarifa com impostos + a bandeira, se
houver

```

```

gasto_minuto = consumo_aux * (tarifa_total / 9); //cálculo final do gasto a cada minuto
gasto_total_final = gasto_total_final + gasto_minuto;

pot_insta = 0; //limpa a variavel que armazena o valor de potencia instantanea
count = 0; //limpa a contagem dos segundos
};

Serial.print(voltage, 1); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE TENSÃO MEDIDO
Serial.print(",");
Serial.print(Irms, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE CORRENTE MEDIDO
Serial.print(",");
Serial.print(pot_acumulo, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE POTÊNCIA
ACUMULADA MEDIDO
Serial.print(",");
Serial.print(pot_media, 4); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE POTÊNCIA MÉDIA
MEDIDO
Serial.print(",");
Serial.print(consumo_total, 7); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DE CONSUMO
(ENERGIA) MEDIDO
Serial.print(",");
Serial.println(gasto_total_final, 7); //IMPRIME NA SERIAL O VALOR DO GASTO
MEDIDO

count += 1; //contagem geral
count2 += 1; // contagem dos minutos
delay(1000);
}

```


APÊNDICE C – CÓDIGO PARA CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS E TABELA EM SQL

```
CREATE DATABASE Sistema_BD
DEFAULT CHARACTER SET utf8
DEFAULT COLLATE utf8_general_ci;
```

```
USE Sistema_BD;
```

```
CREATE TABLE leitura (
  id INT AUTO_INCREMENT,
  Tensao FLOAT,
  Corrente FLOAT,
  Potencia_acc FLOAT,
  Potencia_med FLOAT,
  Consumo DECIMAL(10,7),
  Gasto_tot DECIMAL(10,7),
  timestamp TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  PRIMARY KEY (id)
) DEFAULT CHARSET = utf8;
```

ANEXO A - DATASHEET DO SENSOR SCT-013

Split core current transformer 

Model: SCT-013
Rated input current: 5A/100A

Characteristics: Opening size: 13mm±13mm,
 Non-linearity±3% (10%—120% of rated input current)
 1m leading wire, standard Φ3.5 three core plug output.
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

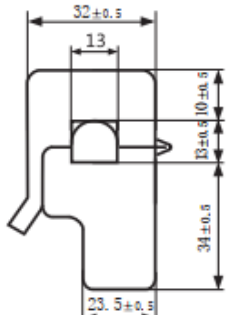
Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

Core material: ferrite


Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min
 Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo
 Work temperature: -25°C~+70°C

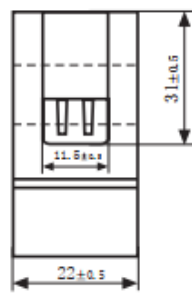
Outline size diagram: (in mm)

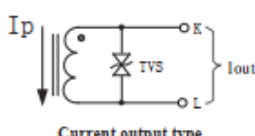


Front View

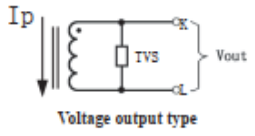


Side View





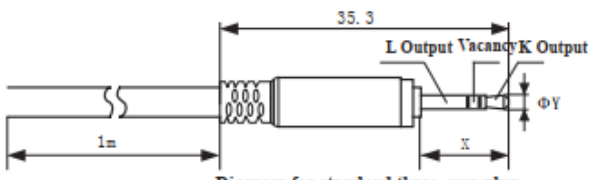
Current output type



Voltage output type

Schematic diagram

Diagram for standard three-core plug



Three-core plug size			
	X	Y	
2.5mm Audio Plug	11.9	2.5	Optional
3.5mm Audio Plug	15.0	3.5	standard

Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

ANEXO B - DATASHEET DO PINO JACK P2

