

INSTITUTO FEDERAL
Amazonas
Campus Manaus-Distrito Industrial

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS – IFAM.**

**CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E PRODUÇÃO
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

MIRIAN SOUZA DA SILVA

**SISTEMA DE SUPERVISÃO E GERENCIAMENTO CONTRA SOBRECARGA EM
QUADROS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS E PREDIAIS**

MANAUS-AM

2025

MIRIAN SOUZA DA SILVA

**SISTEMA DE SUPERVISÃO E GERENCIAMENTO CONTRA SOBRECARGA EM
QUADROS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS E PREDIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção de grau de tecnológico em mecatrônica industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador (a): Prof. Esp. Celso Souza
Cordeiro

MANAUS-AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586s	<p>Silva, Mirian Souza da.</p> <p>Sistema de supervisão e gerenciamento contra sobrecarga em quadros elétricos residenciais e prediais / Mirian Souza da Silva. — Manaus, 2025.</p> <p>29f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025.</p> <p>Orientador: Prof.^o Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Segurança elétrica. 2. Proteção. 3. Sobrecarga. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p>CDD 629.892</p>
-------	--

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

MIRIAN SOUZA DA SILVA

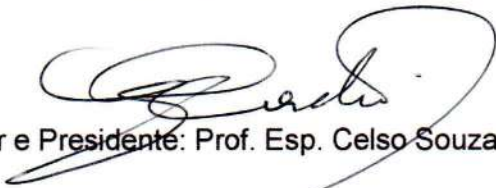
**SISTEMA DE SUPERVISÃO E GERENCIAMENTO CONTRA SOBRECARGA EM
QUADROS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS E PREDIAIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito para obtenção
de grau de tecnólogo em mecatrônica
industrial do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus
Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador (a): Prof. Esp. Celso Souza
Cordeiro

Aprovado em 30 de abril de 2025

BANCA EXAMINADORA


Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro


Avaliador 1: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro


Avaliador 2: Prof. Me. Jonatas Micael Vieira de Lima

MANAUS-AM

2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares, cujo apoio constante e dedicação foram essenciais para a realização deste curso.

AGRADECIMENTOS

Concluir esta etapa é motivo de grande alegria, e é com humildade que reconheço as pessoas e forças que tornaram esse momento possível.

Em primeiro lugar, expresso minha profunda reverência à presença divina, que, silenciosamente, guiou meus passos e sustentou minha fé nos momentos em que o caminho parecia incerto.

À minha família, meu alicerce, agradeço pelo incentivo incondicional, pelas palavras de conforto e por nunca deixarem que eu desistisse. Aos amigos que caminharam comigo, ofereço minha gratidão pelas conversas, pela leveza nos dias difíceis e pela confiança constante.

Aos mestres que tive o privilégio de encontrar ao longo dessa jornada, muito obrigado por compartilharem não apenas o conhecimento, mas também valores, exemplos e inspirações. À equipe responsável pela coordenação do curso, minha admiração pelo empenho em construir um espaço de aprendizado acolhedor e eficiente.

Cada desafio vencido, cada noite de estudo e cada dúvida superada contribuíram para que essa conquista fosse ainda mais significativa. A todos que, de alguma forma, estiveram presentes nesse percurso, meu sincero agradecimento por fazerem parte dessa história.

EPÍGRAFE

*"A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho original."
— Albert Einstein*

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e proteção voltado para quadros elétricos, com foco em aplicações residenciais e prediais. O sistema tem como principal objetivo aumentar a segurança e a eficiência das instalações elétricas por meio de supervisão em tempo real. Utiliza-se o microcontrolador ESP32, conhecido por sua alta capacidade de processamento, conectividade e baixo custo. Sensores de corrente e tensão são empregados para medir continuamente o consumo dos circuitos. Caso a corrente ultrapasse a capacidade dos cabos por mais de 10 segundos, o sistema desliga automaticamente o circuito e emite um alerta, prevenindo sobrecargas, danos à fiação e riscos de incêndio. Além da proteção, o sistema permite o acompanhamento individualizado do consumo de energia por circuito, oferecendo uma visão clara do desempenho do quadro elétrico. Isso facilita a identificação de desperdícios e contribui para a gestão eficiente da instalação. A proposta também busca evitar falhas comuns, como a substituição inadequada de disjuntores e o aumento indevido de carga nos circuitos, atuando como ferramenta de apoio à manutenção preventiva e à modernização das instalações.

Palavras-chave: Proteção. Sobrecarga. Segurança Elétrica.

ABSTRACT

This work presents the development of a monitoring and protection system designed for electrical panels, focusing on residential and building applications. The main objective of the system is to enhance the safety and efficiency of electrical installations through real-time supervision. It uses the ESP32 microcontroller, known for its high processing capacity, connectivity, and low cost. Current and voltage sensors are employed to continuously measure the circuits' consumption. If the current exceeds the cable capacity for more than 10 seconds, the system automatically shuts down the circuit and issues an alert, preventing overloads, wiring damage, and fire risks. In addition to protection, the system allows for individual monitoring of energy consumption per circuit, providing a clear view of the electrical panel's performance. This facilitates the identification of waste and contributes to the efficient management of the installation. The proposal also aims to prevent common failures, such as the improper replacement of circuit breakers and the undue increase of load on circuits, acting as a support tool for preventive maintenance and the modernization of installations.

Keywords: Protection. Overload. Electrical Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esp 32.....	15
Figura 2 - Relé de estado sólido.....	16
Figura 3 - Sensor de tensão.....	18
Figura 4 - Sensor de Corrente.....	19
Figura 5 - Módulo relé.....	20
Figura 6 - Display para o Esp.....	20
Figura 7 - Disposição dos componentes	22
Figura 8 - Aparência final do dispositivo	23
Figura 9 - Conectando o sistema ao quadro elétrico.....	24
Figura 10 - Testando o sistema de supervisão.....	25
Figura 11 - Valores medidos de tensão e corrente de circuitos.....	26
Figura 12 - Sistema mostrando sobrecarga no circuito 2.....	27
Figura 13 - Mensagem de sobrecarga em evidencia no display	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SSP-AM	– Secretaria de Segurança Pública do Estado do Amazonas.....	14
CBMAM	– Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amazonas.....	14
ADC	– Conversor Analógico para Digital.....	16
DAC	– Conversor Digital para Analógico.....	16
PWM	– Modulação por Largura de Pulso.....	16
I2C	– Comunicação entre Circuitos Integrados.....	16
SPI	– Interface Serial Periférica.....	16
AC	– Corrente alternada.....	17
TUG's	– Tomadas de Uso Geral.....	26
OLED	– Diodo Emissor de Luz Orgânico.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.1 Justificativa	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Levantamento dos incêndios de origem elétrica em 2023 e 2024	14
2.2 Componentes utilizados no projeto	15
2.2.1 Esp 32	16
2.2.2 Relé de estado sólido	16
2.2.3 Sensor de tensão	17
2.2.4 Sensor de corrente	18
2.2.5 Módulo relé	19
2.2.6 Display Oled	20
3. PROPOSTA DO TRABALHO	21
4. METODOLOGIA	21
4.1 Etapas da montagem do protótipo	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXO A – Código Usado no Arduíno	32

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade representa um dos marcos mais relevantes da evolução humana, tendo possibilitado avanços expressivos nos campos científico, tecnológico e social ao longo do último século. Desde suas primeiras observações até os dias atuais, diversos estudiosos foram fundamentais para a compreensão e aplicação dos fenômenos elétricos. Nomes como Tales de Mileto, William Gilbert, Charles Coulomb, Benjamin Franklin, Alessandro Volta, Michael Faraday, Thomas Edison e Nikola Tesla se destacaram por suas contribuições. Muitos deles foram amplamente reconhecidos por seus feitos, enquanto outros, embora igualmente importantes, não obtiveram o devido crédito em vida (LOPES; BRASIL, 2025).

Com a eletricidade presente em praticamente todos os aspectos da vida moderna, seu uso exige responsabilidade e atenção. Embora seja essencial para o funcionamento de residências, comércios e indústrias, a energia elétrica, quando mal utilizada, pode representar sérios perigos. Problemas como curto-circuitos, sobrecargas e arcos elétricos podem provocar aquecimento excessivo, levando à combustão de materiais próximos e, conseqüentemente, a incêndios. Estatísticas apontam que muitos desses acidentes poderiam ser evitados com a detecção precoce de anomalias. No entanto, a falta de monitoramento constante, somada à complexidade dos sistemas elétricos, dificulta ações preventivas eficazes (ROCHA, 2023).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado de supervisão e proteção voltado para quadros elétricos residenciais e prediais. Esse sistema tem como objetivo monitorar em tempo real os parâmetros elétricos dos circuitos, identificando situações de risco, como correntes acima da capacidade dos condutores, por períodos prolongados. Quando uma anomalia é detectada, o sistema realiza o desligamento automático do circuito afetado e emite um alerta, prevenindo falhas e possíveis acidentes.

A solução utiliza o microcontrolador ESP32 integrado a sensores de corrente e tensão, permitindo a coleta de dados precisos sobre o funcionamento dos circuitos. Além de atuar na proteção, o sistema permite o acompanhamento do consumo de energia por circuito, promovendo uma gestão mais eficiente da instalação elétrica. Ao unir automação e segurança, o projeto contribui para a modernização das instalações elétricas, oferecendo maior confiabilidade, praticidade e proteção para os usuários.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de supervisão e proteção para quadros elétricos, monitorando e prevenindo sobrecargas, garantindo maior segurança e eficiência nas instalações elétricas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar referências bibliográficas e tecnológicas relacionadas a sistemas de monitoramento e proteção aplicados a quadros de distribuição elétrica;
- Selecionar e dimensionar adequadamente os componentes que farão parte do protótipo, levando em consideração as exigências técnicas e operacionais, e realizar sua montagem;
- Efetuar testes práticos para avaliar o funcionamento do sistema, realizando os ajustes necessários a fim de assegurar a eficiência na identificação de sobrecargas;
- Registrar detalhadamente todo o desenvolvimento do projeto, incluindo as fases de construção, dificuldades enfrentadas e as estratégias adotadas para superá-las.

1.3 Justificativa

As instalações elétricas residenciais e prediais, especialmente em construções mais antigas ou com manutenções irregulares, frequentemente apresentam vulnerabilidades relacionadas à sobrecarga de circuitos e ao uso inadequado de dispositivos de proteção. A ausência de monitoramento contínuo e em tempo real impede a identificação precoce de situações de risco, como o aumento indevido de carga ou a substituição incorreta de disjuntores, o que pode levar a danos na fiação, falhas nos equipamentos e até incêndios.

Além disso, a falta de visibilidade sobre o consumo de energia por circuito dificulta uma gestão eficiente da instalação, favorecendo o desperdício e

comprometendo a segurança elétrica. Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de soluções acessíveis e eficazes que combinem tecnologia de monitoramento com mecanismos automáticos de proteção. A implementação de um sistema capaz de supervisionar e gerenciar os circuitos elétricos, atuando preventivamente contra sobrecargas, é uma resposta direta à necessidade de modernização das infraestruturas elétricas residenciais e prediais, contribuindo para a preservação do patrimônio, a segurança dos usuários e o uso consciente da energia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Levantamento dos incêndios de origem elétrica em 2023 e 2024

Os incêndios provocados por falhas elétricas têm crescido significativamente no Brasil. Segundo o Jornal Voz Ativa (2025), o número de ocorrências aumentou 23,16% em 2024 em relação ao ano anterior, saltando de 963 para 1.186. Esse crescimento está ligado, em grande parte, à comercialização de fios e cabos fora dos padrões de segurança, frequentemente de baixa qualidade, que favorecem sobrecargas e curtos-circuitos — principais causas de incêndios elétricos. A falta de manutenção adequada e a execução incorreta de instalações também agravam o problema, com fios expostos, circuitos sobrecarregados e uso de equipamentos antigos ou defeituosos. O uso excessivo de extensões elétricas, com muitos aparelhos ligados em uma única tomada, é outro fator de risco comum.

No Amazonas, a situação é igualmente preocupante. A SSP-AM informa que os incêndios elétricos continuam entre os sinistros mais recorrentes. De janeiro a maio de 2021, o CBMAM atendeu 187 ocorrências na capital, muitas causadas por sobrecargas ou curtos-circuitos. Isso reforça a necessidade de dimensionamento adequado dos circuitos e do uso correto de dispositivos de proteção, como disjuntores termomagnéticos, que interrompem o fornecimento em casos de falhas, prevenindo acidentes maiores.

Além das proteções tradicionais, soluções inteligentes vêm ganhando espaço. Sistemas automatizados com sensores e conectividade permitem monitoramento em tempo real, identificando irregularidades antes que causem danos. Essas tecnologias

representam um avanço importante na prevenção de incêndios, promovendo mais segurança e eficiência nas instalações elétricas residenciais e prediais.

2.2 Componentes utilizados no projeto

2.2.1 Esp 32

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido às suas características avançadas e versatilidade.

Figura 1: Esp 32.



Fonte: Autor, 2025.

Ele oferece conectividade sem fio tanto via Wi-Fi quanto Bluetooth, permitindo a comunicação com redes e outros dispositivos sem a necessidade de cabos. Com um processador dual-core de até 240 MHz, 520 KB de SRAM e até 16 MB de memória flash, o ESP32 é capaz de executar códigos complexos e armazenar grandes quantidades de dados. Além disso, possui uma ampla gama de pinos de entrada e saída, oferecendo suporte a diversos protocolos como ADC, DAC, PWM, I2C, SPI e UART. Seu baixo consumo de energia, aliado a modos de economia, o torna ideal para aplicações móveis ou alimentadas por baterias. O desenvolvimento para o ESP32 pode ser feito usando plataformas como o Arduino IDE ou o ESP-IDF, facilitando a criação de projetos inovadores e eficientes (SILVA; SOUZA; VEIGA, 2021).

2.2.2 Relé de estado sólido

O relé de estado sólido é um dispositivo eletrônico que realiza a função de comutar circuitos elétricos de forma similar aos relés mecânicos, mas sem a presença de partes móveis.

Figura 2: Relé de estado sólido.



Fonte: Autor, 2025.

Em vez de usar uma bobina e contatos mecânicos, ele utiliza componentes eletrônicos como tiristores, triacs ou transistores de efeito de campo para realizar a comutação. Uma das principais vantagens desse tipo de relé é sua durabilidade, pois não há desgaste mecânico devido à ausência de partes móveis, o que resulta em uma vida útil significativamente maior se comparado aos relés tradicionais. Além disso, os relés de estado sólido são mais rápidos, comutando em milissegundos, e funcionam de forma silenciosa, ao contrário dos relés mecânicos que podem gerar ruído durante a operação. Eles também consomem menos energia, o que contribui para uma maior eficiência no funcionamento.

Por não possuírem partes móveis, esses relés são menos suscetíveis a danos causados por vibrações e choques, o que os torna mais confiáveis em ambientes industriais ou em sistemas que exigem alta resistência. Outro ponto importante é que o relé de estado sólido oferece isolamento elétrico entre o circuito de controle e o circuito de carga, proporcionando proteção contra surtos de tensão ou falhas elétricas. No entanto, esses dispositivos podem aquecer durante o funcionamento, principalmente em aplicações de alta corrente, o que exige um bom sistema de

dissipação de calor. Além disso, podem ser mais caros que os relés mecânicos, especialmente em aplicações que demandam maior corrente. Em geral, o relé de estado sólido é utilizado em sistemas de controle de temperatura, automação industrial, controle de iluminação e motores, sendo uma excelente opção quando se busca durabilidade, velocidade e confiabilidade, principalmente em condições adversas (COLTRO, 2023).

2.2.3 Sensor de tensão

O sensor de tensão AC é um dispositivo utilizado para medir a tensão da corrente alternada (AC) em um circuito, como as redes elétricas residenciais ou industriais. Ele tem a função de detectar a variação da voltagem AC e converter essa informação em um sinal que possa ser processado por um microcontrolador, como o ESP32 ou Arduino.

Esses sensores geralmente funcionam usando um transformador para reduzir a tensão AC a níveis seguros e baixos, adequados para o microcontrolador. O sensor de tensão AC pode fornecer uma saída analógica ou digital, dependendo do modelo. Na maioria dos casos, o sensor usa um divisor de tensão ou um circuito integrado para gerar uma voltagem proporcional à tensão de entrada, e essa voltagem é lida pelo microcontrolador.

A principal vantagem de usar esse tipo de sensor é a segurança, pois ele isola o microcontrolador do circuito de alta voltagem, evitando riscos de choques elétricos e danos ao equipamento.

Figura 3: Sensor de tensão.



Fonte: Autor, 2025.

Por exemplo, um sensor comum para medir a tensão AC é o ZMPT101B, que é um módulo popular usado com microcontroladores. Esse sensor é projetado para medir a tensão de rede elétrica (geralmente 110V ou 220V), fornecendo um sinal de baixa tensão proporcional ao valor da tensão AC medida. O microcontrolador então pode processar esse sinal para monitoramento, controle ou integração em sistemas de automação, como monitoramento de consumo de energia, proteção de dispositivos e outros sistemas inteligentes (FILHO, 2022).

2.2.4 Sensor de corrente

Esses sensores de corrente, como os shunt resistors ou sensores de corrente de passagem, são colocados em série com o circuito, permitindo que a corrente elétrica flua diretamente através deles. A principal função desses sensores é medir a queda de tensão gerada pela corrente que passa através do sensor, utilizando a Lei de Ohm. A tensão gerada na queda de resistência é proporcional à corrente que passa pelo sensor.

No caso de um sensor de corrente de 20 A, como um resistor de shunt ou um módulo de medição de corrente, ele é projetado para suportar até 20 amperes de corrente. O sensor é tipicamente um resistor de baixo valor colocado no caminho da corrente, de modo que, ao passar a corrente, uma pequena queda de tensão ocorre.

O sensor então converte essa queda de tensão em um sinal que pode ser lido por um microcontrolador, como o ESP32, permitindo o cálculo da corrente que está fluindo no circuito (SILVA, 2021).

Esses sensores são muito utilizados em circuitos de corrente contínua (DC), mas também podem ser aplicados a corrente alternada (AC) com circuitos adicionais para retificação ou medição da corrente de pico. O sensor de shunt de 20 A precisa ser de baixa resistência para não causar uma queda de tensão significativa, que afetaria o desempenho do circuito, mas ainda precisa ser suficientemente preciso para fornecer uma medição exata da corrente.

Figura 4: Sensor de corrente.



Fonte: Autor, 2025.

2.3.5 Módulo relé

O relé usado com o ESP32 é um dispositivo eletromecânico que permite controlar cargas de alta potência, como lâmpadas, motores ou outros aparelhos, através de sinais de controle de baixa potência enviados pelo ESP32. Ele funciona como um interruptor, com uma bobina que, quando energizada, cria um campo magnético que atrai uma armadura metálica e fecha os contatos, permitindo que a corrente passe pela carga. Quando a bobina é desenergizada, os contatos se abrem, interrompendo o fluxo de corrente.

Os relés usados com o ESP32 geralmente são do tipo relé de 5V ou 12V, pois o ESP32 trabalha com 3,3V em suas saídas digitais, o que significa que é necessário um módulo de relé que amplifique o sinal para controlar a bobina do relé. Esses módulos geralmente vêm com um transistor ou um circuito integrado (como o lógica de controle), que recebe o sinal de 3,3V do ESP32 e ativa a bobina do relé, que, por sua vez, pode controlar dispositivos de maior voltagem e corrente.

Esses módulos de relé geralmente são relés de 1 canal ou de 2 canais, e os contatos podem ser normalmente abertos (NO) ou normalmente fechados (NC). A configuração de normalmente aberto significa que, quando o relé não está energizado, os contatos não permitem o fluxo de corrente, e quando o relé é ativado, os contatos se fecham e a corrente flui (SILVA; SOUZA; VEIGA, 2021).

Figura 5: Módulo relé.



Fonte: Autor, 2025.

2.2.6 Display Oled

Os displays OLED são conhecidos por sua excelente qualidade de imagem, contraste elevado e baixo consumo de energia. Eles utilizam tecnologia de diodos orgânicos emissores de luz, onde cada pixel emite sua própria luz, permitindo cores vivas e pretos profundos. Como não dependem de retroiluminação, esses displays são mais eficientes em termos de energia, o que os torna ideais para dispositivos portáteis ou que funcionam com bateria. A alta definição e o contraste entre o fundo escuro e os textos ou imagens claros tornam esses displays muito legíveis em diferentes condições de iluminação.

Figura 6: Display para o Esp.



Fonte: Autor, 2025.

Esses displays geralmente possuem resoluções como 128x64 pixels ou 128x32 pixels, adequadas para exibir textos, gráficos simples e informações de sensores. O tamanho compacto, como 0,96 polegadas, torna-os ideais para projetos pequenos, como wearables, dispositivos de medição ou controle de sistemas simples. A resolução de 128x64 pixels, por exemplo, permite uma boa quantidade de informações visuais, sem ocupar muito espaço físico no projeto (RODRIGUES, 2022).

3 PROPOSTA DO TRABALHO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado de supervisão e proteção para quadros elétricos residenciais e prediais, com foco na detecção e prevenção de sobrecargas elétricas. A proposta visa a criação de um protótipo utilizando a plataforma ESP32, integrando sensores de corrente e tensão para monitorar em tempo real as condições da instalação elétrica e acionar mecanismos de proteção quando necessário.

O sistema funcionará de forma contínua, identificando variações anormais no consumo de energia que possam indicar riscos de curto-circuito, aquecimento ou falhas nos circuitos. A automação permitirá o desligamento automático do circuito em situações críticas, contribuindo para a prevenção de incêndios elétricos e outros danos associados.

Além de aumentar a segurança das instalações, o projeto também busca promover o uso de tecnologias acessíveis e eficientes na proteção elétrica. O desenvolvimento do protótipo levará em conta os padrões técnicos e de segurança, bem como a viabilidade de aplicação em diferentes tipos de edificações. A proposta representa uma alternativa moderna e inteligente para aprimorar a confiabilidade dos sistemas elétricos, especialmente em contextos residenciais e comerciais com infraestrutura limitada.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste projeto foi estruturada em etapas, visando o desenvolvimento de um sistema de supervisão e proteção contra sobrecargas em quadros elétricos. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa sobre normas técnicas,

dispositivos de proteção e tecnologias aplicadas ao monitoramento elétrico, a fim de definir os requisitos do sistema.

Em seguida, foram escolhidos e dimensionados os componentes necessários, como sensores de corrente e tensão, microcontrolador ESP32 e relés. Após a aquisição dos materiais, o protótipo foi montado e programado para realizar leituras em tempo real e acionar a proteção diante de sobrecargas.

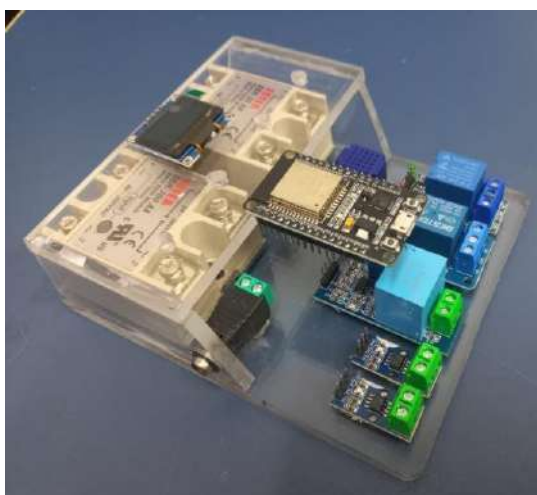
Foram realizados testes com diferentes cargas, permitindo a análise do desempenho do sistema e ajustes nos sensores e na lógica de controle. Todo o processo foi documentado, incluindo os desafios enfrentados e as soluções aplicadas.

Essa abordagem garantiu o desenvolvimento de uma solução funcional e segura, com potencial de aplicação em instalações elétricas residenciais e prediais.

4.1 Etapas da montagem do protótipo

A montagem do sistema seguiu uma sequência estruturada para garantir a melhor organização e funcionalidade dos componentes.

Figura 7: Disposição dos componentes.



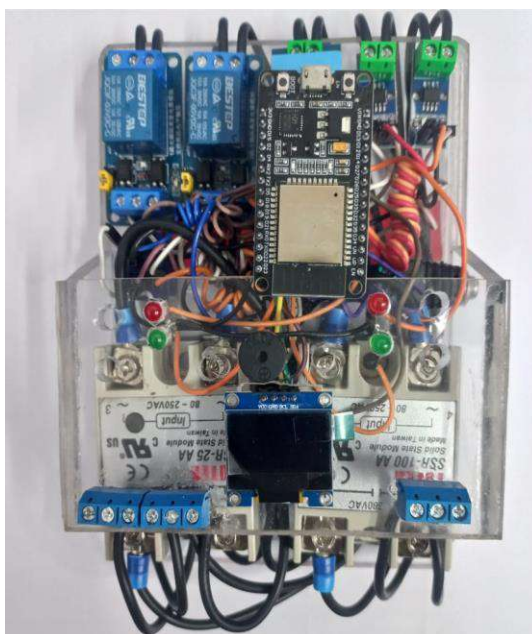
Fonte: Autor, 2025.

Primeiramente, foi realizada uma projeção detalhada da disposição dos elementos sobre uma superfície de acrílico, escolhida por sua resistência elétrica e mecânica, além da facilidade de manuseio e fixação dos componentes. Durante

essa etapa, levou-se em consideração a disposição estratégica dos sensores, do microcontrolador ESP32, do display e dos relés, de modo a otimizar o espaço e garantir a eficiência do sistema.

Com o layout definido, iniciou-se a fixação dos componentes conforme ilustrado na figura 7. Os relés foram posicionados de forma a facilitar a conexão com os circuitos monitorados, garantindo uma resposta rápida na interrupção da corrente em caso de sobrecarga. Os sensores de corrente e tensão foram instalados próximos aos pontos de medição para assegurar leituras precisas e minimizar interferências. O ESP32 foi fixado em uma área central da estrutura, permitindo fácil acesso às conexões dos sensores e dos relés, além de facilitar a comunicação com o display. O display foi posicionado em um local de fácil visualização, permitindo o monitoramento em tempo real das informações coletadas pelo sistema.

Figura 8: Aparência



Fonte: Autor, 2025.

Além disso, foram incorporados dois relés de estado sólido, responsáveis pelo monitoramento simultâneo de dois circuitos distintos. Esses relés foram estrategicamente integrados ao sistema para garantir uma resposta eficiente e confiável na proteção contra sobrecargas. Após a ligação do circuito de controle e do circuito de força, foi concluída a montagem final do sistema, conforme ilustrado na

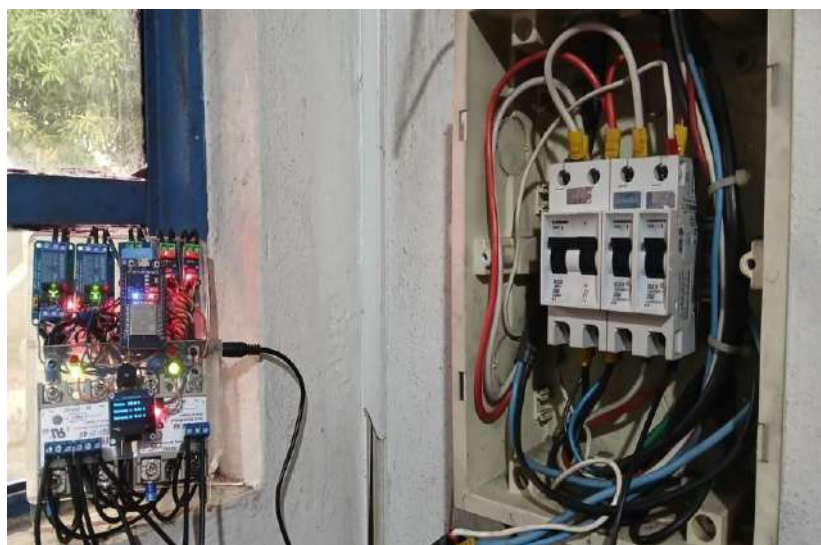
Figura 8. Todos os componentes foram devidamente fixados e conectados de forma organizada, garantindo uma estrutura limpa, segura e pronta para os testes.

A disposição final priorizou a acessibilidade aos elementos principais, como o ESP32, os sensores, o display e os relés, facilitando futuras manutenções ou ajustes no sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão da montagem física do sistema, a lógica de controle foi desenvolvida por meio da plataforma IDE Arduino, onde o código foi cuidadosamente elaborado e embarcado no microcontrolador ESP32. O programa estabeleceu como critério de proteção o limite de corrente de 2 amperes por circuito.

Figura 9: Conectando o sistema ao quadro elétrico.



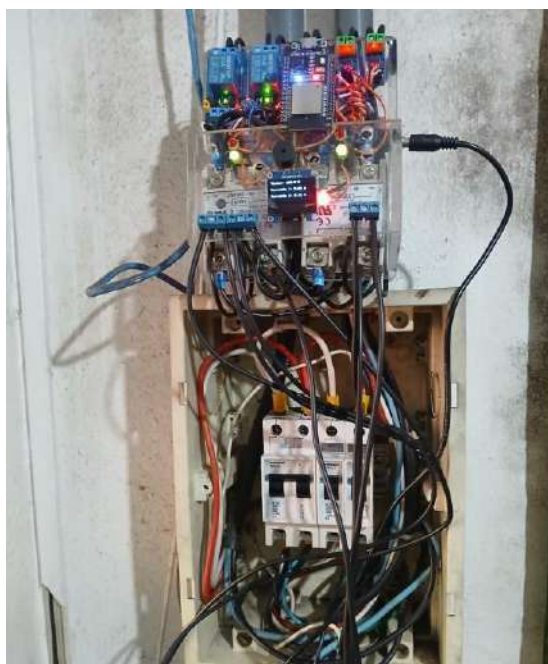
Fonte: Autor, 2025.

Dessa forma, caso qualquer carga conectada ultrapassasse esse valor e permanecesse acima do limite por mais de cinco segundos, o sistema acionaria a proteção automaticamente. Nesse momento, o circuito do equipamento em sobrecarga teria sua alimentação interrompida por meio do desligamento do relé de estado sólido correspondente. Simultaneamente, o sistema exibia no display uma mensagem indicando a ocorrência da sobrecarga, especificando qual dos dois circuitos havia ultrapassado o valor permitido, além de emitir um alerta sonoro e acionar um LED vermelho como sinalização visual do evento. Em condições normais

de funcionamento, ou seja, quando a corrente se mantinha dentro dos limites definidos, permanecia aceso um LED verde, indicando que a saída do relé estava fechada e, portanto, o circuito alimentado.

O sistema foi projetado para não permitir o rearme automático, o que significa que, após o acionamento da proteção, o circuito afetado somente seria religado mediante o reset manual do sistema. Essa função garante que o usuário tenha plena consciência da ocorrência da sobrecarga e tome as devidas providências antes de restabelecer o funcionamento do circuito, aumentando significativamente o nível de segurança da instalação.

Figura 10: Testando o sistema de supervisão.



Fonte: Autor, 2025.

O dispositivo foi instalado em um quadro elétrico residencial, com o objetivo de monitorar individualmente dois circuitos distintos. A escolha dos pontos de monitoramento foi feita de forma estratégica, um dos circuitos alimentava um monitor televisor, enquanto o outro foi criado especificamente para alimentar uma tomada destinada ao uso de uma furadeira. Essa decisão se deu pelo fato de que os demais circuitos da residência apresentavam correntes nominais muito baixas, não sendo representativos para os testes e validações do sistema de proteção. Além disso, o

dispositivo foi projetado para atuar em circuitos que operam em 127 V, o que inviabilizou seu uso na central de ar-condicionado da residência, que funciona em 220 V. Diante dessa limitação, optou-se pela instalação de um novo ponto de tomada em 127 V para possibilitar a simulação de cargas mais elevadas, como a da furadeira, garantindo assim condições adequadas para a verificação do funcionamento do sistema de monitoramento e proteção contra sobrecorrente.

Com o sistema completamente montado e a programação carregada, foram realizados testes práticos em um quadro elétrico residencial real, onde o sistema foi instalado para monitorar dois circuitos de tomadas de uso geral (TUGs), ambos alimentados com tensão de 127V. No primeiro circuito foi conectada uma furadeira elétrica com corrente nominal de 3,27 A, e no segundo circuito, um televisor de 32 polegadas, que apresentava um consumo médio de 670 mA.

Figura 11: Valores medidos de tensão e corrente dos circuitos.



Fonte: Autor, 2025.

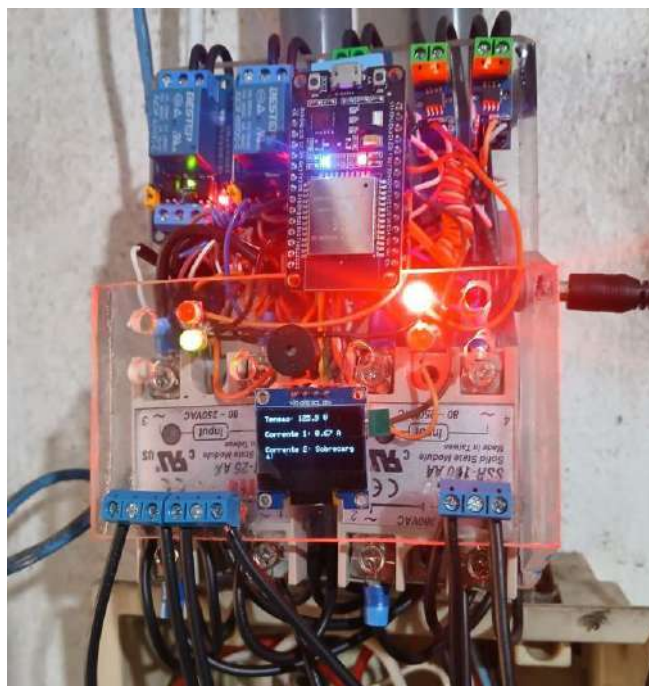
Durante os testes, ao ligar a furadeira, o sistema identificou que a corrente ultrapassou o limite programado e, após cinco segundos, interrompeu a alimentação daquele circuito, acionando imediatamente os alertas sonoro e visual, bem como a mensagem no display que informava a ocorrência da sobrecarga no circuito 1.

O televisor, por consumir bem menos que o limite estabelecido, permaneceu operando normalmente, com o LED verde indicando a continuidade da alimentação.

Diversos outros testes foram conduzidos a fim de validar a confiabilidade e consistência do sistema. Foram testadas diferentes cargas e situações, inclusive com

a modificação dos valores limite de corrente no código, adequando-os à capacidade dos condutores utilizados. Para ajustar o valor da corrente de proteção dos circuitos monitorados, foi necessário modificar diretamente o trecho do código onde estavam definidos os limites de corrente. Esse ajuste foi realizado na linha `#define LIMITE_CORRENTE 2.0`, conforme apresentado no ANEXO A. Como havia a necessidade de estabelecer limites diferentes para os dois circuitos, essa linha foi substituída por duas definições distintas: `#define LIMITE_CORRENTE1 2.0` e `#define LIMITE_CORRENTE2 2.5`. Essas variáveis foram utilizadas separadamente na lógica de verificação de sobrecarga de cada sensor, permitindo uma proteção personalizada conforme as características específicas de cada carga conectada ao sistema.

Figura 12: Sistema mostrando sobrecarga no circuito 2.



Fonte: Autor, 2025.

O comportamento do sistema manteve-se estável e preciso em todas as simulações, demonstrando eficiência na atuação e fidelidade na resposta frente a eventos de sobrecarga. Apesar de o sistema interromper imediatamente a alimentação do circuito que ultrapassou o limite de corrente estabelecido, exibindo no display OLED a mensagem de "sobrecarga" correspondente — conforme ilustrado na figura 13 —, o outro circuito permaneceu operando normalmente, sem qualquer interrupção no fornecimento. Mesmo durante a atuação da proteção em apenas um

dos canais, as leituras de corrente e tensão continuaram sendo realizadas e exibidas corretamente no display, garantindo o monitoramento contínuo dos dois circuitos em tempo real. Essa característica reforçou a confiabilidade do sistema, demonstrando sua capacidade de isolar apenas a parte afetada, sem comprometer o funcionamento global da instalação.

Figura 13: Mensagem de Sobrecarga em evidencia no display.



Fonte: Autor, 2025.

Em todas as tentativas, o sistema cumpriu exatamente sua função: detectar, informar, interromper e exigir a correção do problema antes de permitir a retomada da alimentação, assegurando proteção eficaz para os equipamentos e a instalação elétrica como um todo.

9 CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto de desenvolvimento e implementação do dispositivo de monitoramento e proteção contra sobrecorrente em circuitos residenciais alcançou resultados satisfatórios e alinhados com os objetivos estabelecidos. O sistema demonstrou eficácia na identificação de situações de sobrecarga, atuando de forma rápida ao interromper automaticamente a alimentação do circuito comprometido, além de ativar alertas visuais e sonoros e exibir mensagens de aviso no display OLED. Um destaque importante foi a capacidade do sistema de isolar apenas o circuito com falha, preservando o funcionamento dos demais e assegurando a continuidade da supervisão elétrica.

A instalação do protótipo em um quadro de distribuição residencial possibilitou verificar seu desempenho em um cenário real de uso. Durante os testes, foi necessário utilizar cargas específicas para simular situações mais exigentes, já que os aparelhos originalmente conectados ao quadro apresentavam consumo reduzido, o que dificultava a reprodução de condições de sobrecarga.

Para aprimoramentos em versões futuras, sugere-se a incorporação de recursos adicionais, como o registro e armazenamento do consumo energético de cada circuito. Isso permitiria manter um histórico detalhado tanto do uso da energia quanto da incidência de sobrecargas, contribuindo para um diagnóstico mais completo da instalação elétrica. Tais melhorias agregariam valor ao sistema, tornando-o uma solução mais completa para ações de manutenção preventiva, gerenciamento energético e aumento da segurança em ambientes residenciais. Adicionalmente, funcionalidades como conectividade remota, integração com aplicativos móveis e envio de alertas em tempo real podem ser consideradas para futuras atualizações do dispositivo.

REFERENCIAIS

COLTRO, G. L. H. **Desenvolvimento de um módulo de controle de temperatura da água usando PID**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2023. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32408>. Acesso em: 11 abr. 2025.

FILHO, M. A. R. **Desenvolvimento de um analisador trifásico de energia elétrica de baixo custo em plataforma Arduino**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Santa Catarina, Itajaí, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2636>. Acesso em: 11 abr. 2025.

LOPES, E. R.; BRASIL, M. C. S. **Importância dos dispositivos de proteção do circuito elétrico residencial**. Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Anhanguera. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/63817/1/EZEQUIAS%20RAMOS%20LOPES.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025.

ROCHA, G. S. **Análise de risco de incêndio em instalações elétricas**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Segurança ao Incêndio) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2023. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?as_ylo=2021&q=risco+em+quadros+el%C3%A9tricos&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em: 11 abr. 2025.

RODRIGUES, A. M. **Projeto de automação de irrigador agrícola de pivô central usando comunicação LoRa**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34076>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, S. R. da C. **Sistema de monitoramento e controle de energia utilizando o microcontrolador ESP32**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29084>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, J. M. I. da; SOUZA, M. H. J. de; VEIGA, P. R. N. da. **Projeto de tomadas anti sobrecarga**. Orientador: São Paulo: Centro Estadual de Educação e Tecnologia Paula Souza, Escola Técnica Estadual Jaraguá, 2021. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/8252>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SSP-AM. **Problemas na rede elétrica são as principais causas de incêndios, aponta IC**. 29 jul. 2021. Disponível em: <https://www.ssp.am.gov.br/problemas-na-rede-eletrica-sao-as-principais-causas-de-incendios-aponta-ic/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

JORNALVOZATIVA.COM. **Acidentes de origem elétrica crescem mais de 11% em todo o país em 2024.** Jornal Voz Ativa, Ponta Grossa, 17 mar. 2025. Disponível em: <https://jornalvozativa.com/noticias/acidentes-origem-eletrica-crescem-11-pais-2024/#:~:text=Segundo%20a%20entidade%2C%20os%20incidentes,acr%C3%A9scimo%20de%2023%2C16%25>. Acesso em: 11 abr. 2025.

ANEXO A – Código usado no projeto

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
#define SDA_PIN 22
#define SCL_PIN 21

#define SENSOR_CORRENTE1 32
#define SENSOR_CORRENTE2 33
#define SENSOR_TENSAO 34

#define RELE1 2
#define RELE2 4
#define LED_RELE1 18
#define LED_RELE2 19
#define LED_FALHA1 12
#define LED_FALHA2 13
#define BUZZER 14 // Novo pino do buzzer

#define NUM_AMOSTRAS 1000
#define FATOR_SENSIBILIDADE 0.066
#define FATOR_TENSAO 460.0

#define LIMITE_CORRENTE 2.0
#define TEMPO_SOBRECARGA 5000 // 5 segundos

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

unsigned long tempoCorrenteAlta1 = 0;
unsigned long tempoCorrenteAlta2 = 0;
bool sobrecarga1 = false;
bool sobrecarga2 = false;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);

  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println(F("Erro ao iniciar o display OLED"));
    while (true);
  }
}

```

```

pinMode(RELE1, OUTPUT);
pinMode(RELE2, OUTPUT);
pinMode(LED_RELE1, OUTPUT);
pinMode(LED_RELE2, OUTPUT);
pinMode(LED_FALHA1, OUTPUT);
pinMode(LED_FALHA2, OUTPUT);
pinMode(BUZZER, OUTPUT);

digitalWrite(RELE1, HIGH);
digitalWrite(RELE2, HIGH);
digitalWrite(LED_RELE1, HIGH);
digitalWrite(LED_RELE2, HIGH);
digitalWrite(LED_FALHA1, LOW);
digitalWrite(LED_FALHA2, LOW);
digitalWrite(BUZZER, LOW);

// Tela inicial - PFC / IEPTEC centralizados
display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

int16_t x1, y1;
uint16_t w, h;

display.getTextBounds("PFC", 0, 0, &x1, &y1, &w, &h);
display.setCursor((SCREEN_WIDTH - w) / 2, 10);
display.println("PFC");

display.getTextBounds("IEPTEC", 0, 0, &x1, &y1, &w, &h);
display.setCursor((SCREEN_WIDTH - w) / 2, 35);
display.println("IEPTEC");

display.display();
delay(2000);

// Nomes sem acento
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.println("Carlos Augusto");
display.println("Cristiano Silva");
display.println("Kaua da Silva");
display.println("Raimundo Nonato");
display.display();
delay(4000);

// Mensagem de monitoramento
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);

```

```

display.println("Monitorando...");
display.display();
delay(1000);
}

float calcularCorrente(int pino) {
  float media = 0;
  for (int i = 0; i < NUM_AMOSTRAS; i++) {
    media += analogRead(pino);
  }
  media /= NUM_AMOSTRAS;

  float soma = 0;
  for (int i = 0; i < NUM_AMOSTRAS; i++) {
    float leitura = analogRead(pino);
    float tensao = (leitura - media) * (3.3 / 4095.0);
    soma += tensao * tensao;
  }

  float tensaoRMS = sqrt(soma / NUM_AMOSTRAS);
  float correnteRMS = tensaoRMS / FATOR_SENSIBILIDADE;

  if (correnteRMS < 0.05) correnteRMS = 0.0;
  return correnteRMS;
}

float calcularTensao(int pino) {
  float media = 0;
  for (int i = 0; i < NUM_AMOSTRAS; i++) {
    media += analogRead(pino);
  }
  media /= NUM_AMOSTRAS;

  float soma = 0;
  for (int i = 0; i < NUM_AMOSTRAS; i++) {
    float leitura = analogRead(pino);
    float tensao = (leitura - media) * (3.3 / 4095.0);
    soma += tensao * tensao;
  }

  float tensaoRMS = sqrt(soma / NUM_AMOSTRAS);
  if (tensaoRMS < 0.2) return 0.0;

  return tensaoRMS * FATOR_TENSAO;
}

void loop() {
  float corrente1 = calcularCorrente(SENSOR_CORRENTE1);
  float corrente2 = calcularCorrente(SENSOR_CORRENTE2);
  float tensao = calcularTensao(SENSOR_TENSAO);

```

```

unsigned long agora = millis();

// Verifica sobrecarga corrente 1
if (!sobrecarga1) {
  if (corrente1 > LIMITE_CORRENTE) {
    if (tempoCorrenteAlta1 == 0) tempoCorrenteAlta1 = agora;
    if (agora - tempoCorrenteAlta1 > TEMPO_SOBRECARGA) {
      sobrecarga1 = true;
      digitalWrite(RELE1, LOW);
      digitalWrite(LED_RELE1, LOW);
      digitalWrite(LED_FALHA1, HIGH);
      digitalWrite(BUZZER, HIGH); // Alerta sonoro
    }
  } else {
    tempoCorrenteAlta1 = 0;
  }
}

// Verifica sobrecarga corrente 2
if (!sobrecarga2) {
  if (corrente2 > LIMITE_CORRENTE) {
    if (tempoCorrenteAlta2 == 0) tempoCorrenteAlta2 = agora;
    if (agora - tempoCorrenteAlta2 > TEMPO_SOBRECARGA) {
      sobrecarga2 = true;
      digitalWrite(RELE2, LOW);
      digitalWrite(LED_RELE2, LOW);
      digitalWrite(LED_FALHA2, HIGH);
      digitalWrite(BUZZER, HIGH); // Alerta sonoro
    }
  } else {
    tempoCorrenteAlta2 = 0;
  }
}

// Desliga buzzer se nenhuma sobrecarga
if (!sobrecarga1 && !sobrecarga2) {
  digitalWrite(BUZZER, LOW);
}

// Serial Monitor
Serial.print("Tensao: ");
Serial.print(tensao, 1);
Serial.print(" V | Corrente 1: ");
Serial.print(corrente1, 2);
Serial.print(" A | Corrente 2: ");
Serial.print(corrente2, 2);
Serial.println(" A");

// Display OLED
display.clearDisplay();

```

```
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.print("Tensao: ");
display.print(tensao, 1);
display.println(" V");

display.setCursor(0, 20);
if (sobrecarga1) {
  display.println("Corrente 1: Sobrecarga!");
} else {
  display.print("Corrente 1: ");
  display.print(corrente1, 2);
  display.println(" A");
}

display.setCursor(0, 40);
if (sobrecarga2) {
  display.println("Corrente 2: Sobrecarga!");
} else {
  display.print("Corrente 2: ");
  display.print(corrente2, 2);
  display.println(" A");
}

display.display();
delay(500);
}
```