

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

Ricardo Felix Kramer

Samuel Silva Lopes

TOMADA COM CONTROLE E MONITORAMENTO IOT

São Paulo

2022

Ricardo Felix Kramer

Samuel Silva Lopes

TOMADA COM CONTROLE E MONITORAMENTO IOT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade São Judas Tadeu, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César da Silva Emanuel

São Paulo

2022

RESUMO

Este trabalho apresenta conceitos e soluções relacionados à segurança na rede elétrica doméstica mesmo com a adoção de diversos protocolos previstos em manuais ou normas, existem muitas residências que não tem dimensionamento correto da rede elétrica ou até mesmo sistema de aterramento consequentemente gerando falhas nos equipamentos ou nos circuitos elétricos decorrentes de sobrecargas, curto-circuito ou fugas de corrente. Em busca de soluções que diminua a possibilidade de choque elétrico e sobrecarga na rede com base em dispositivos já existentes no mercado foi desenvolvido um dispositivo com uso do ESP32 para embarcar funcionalidades em conjunto com outros dispositivos usados no projeto que conectado a uma tomada, sua função principal limitar a corrente daquele circuito e o monitoramento caso tenha alguma anomalia no circuito atuando automaticamente desligando o dispositivo enviando aviso via aplicativo e plataforma ‘web’. O trabalho atingiu seus objetivos, resultando no desenvolvimento de um protótipo funcional que permite ao usuário controlar e monitorar atuando de modo automático quando houver qualquer fuga de corrente ou curto-circuito de aparelhos ligados na rede elétrica com alerta na plataforma e aplicativo com isso, entrando em modo proteção e também ligar ou desligar dispositivos de forma imediata, através de um portal *Web* com ‘*design*’ responsivo e compatível com dispositivos móveis, podendo habilitar o circuito novamente sendo feita nos dois polos da tomada através da energização dos (relés) e todo o monitoramento da condição de funcionamento é reiniciado de forma a atuar em caso de ocorrência de uma nova anomalia.

Palavras-chave: Choque elétrico; Sobrecarga; Segurança; Monitoramento; *IOT*

ABSTRACT

This work presents concepts and solutions related to safety in the domestic power grid even with the adoption of various protocols provided in manuals or standards, there are many homes that do not have proper sizing of the power grid or even grounding system consequently generating failures in equipment or electrical circuits due to overloads, short circuits or current leaks. In search of solutions that reduce the possibility of electric shock and overload in the network based on devices already on the market, a device was developed using the ESP32 to ship features in conjunction with other devices used in the project that connected to an outlet, its main function is to limit the current of that circuit and monitoring if there is any anomaly in the circuit acting automatically turning off the device sent warning via application and 'web' platform. The work achieved its objectives, resulting in the development of a functional prototype that allows the user to control and monitor acting automatically when there is any current leakage or short circuit of appliances connected to the power grid with an alert on the platform and application with this entering and protection mode, and also connect or disconnect devices immediately, through a portal, Web with 'responsive design' compatible with mobile devices, and can enable the circuit again being made in the two poles of the socket through the energization of (relays) and all the monitoring of the operating condition is reset in order to act in case of occurrence of a new anomaly.

Keywords: *Electric Shock; Overload; Safety; Monitoring; IoT*

1. Introdução

Com a evolução da tecnologia os tempos mudaram assim como a quantidade de equipamentos conectados à rede elétrica 24 horas nas tomadas de milhares de residências espalhadas pelo Brasil, precisamos estar atentos em relação a sobrecargas elétricas, problema silencioso, mas que pode trazer graves consequências, a sobrecarga elétrica é o excesso de equipamentos conectados a uma rede elétrica ao mesmo tempo (COSTA; UESUGUI; MANTOVANI; DANIEL *et al.*, 2018).

Apesar da ABNT NBR 5410 exigir, desde 1997, o uso do Disjuntor Diferencial Residual (DR) em áreas molhadas (cozinha, banheiro, lavanderia), sabe-se que, em especial nas instalações antigas (prediais, domésticas e comerciais) e nas de áreas mais carentes, o (DR) ainda são dispositivos de proteção ausentes. Uma pesquisa realizada em 2008 pelo Programa Casa Segura constatou que de 30 edifícios com mais de 15 anos, nenhum contava com o dispositivo (OLIVEIRA; KHOURY, 2016).

Imóveis antigos, que não foram planejados para receber essas cargas extra ou na maioria dos casos têm instalações precárias fora de normas de segurança. Para piorar o cenário se torna comum encontrar vários equipamentos em uma mesma tomada, com uso de benjamins, extensões entre outros (TECNOLOGIA-UFRRJ, 2021).

O uso inadequado desses itens compromete a fiação, ocasionando desgaste dos fios, curto-circuito, desperdício de energia, queima de equipamentos, choques elétricos e até incêndios. A eletricidade é silenciosa, invisível e perigosa, apresenta um grande potencial de acidentes quase sempre deixam sequelas, sendo todo cuidado é pouco precisamos que as pessoas tenham consciência sobre isso (ABRACOPEL, 2022; FARIAS; ALVES, 2013).

O valor mínimo de corrente que uma pessoa pode perceber é 1,0 mA. Com uma corrente de 10 mA, a pessoa perde o controle dos músculos, sendo difícil abrir as mãos para se livrar do contato, o valor mortal está compreendido entre 10 mA e 3,0 A (COSTA; UESUGUI; MANTOVANI; DANIEL *et al.*, 2018; MOREIRA; CORRÊA; ALMEIDA; CORIÁ *et al.*, 2008).

A Figura 1 apresenta os efeitos da corrente elétrica no corpo humano, relacionando a intensidade da corrente com o tempo de duração da mesma conforme a IEC 60479-1.

Figura 1 - Zonas de tempo x corrente e os efeitos sobre as pessoas

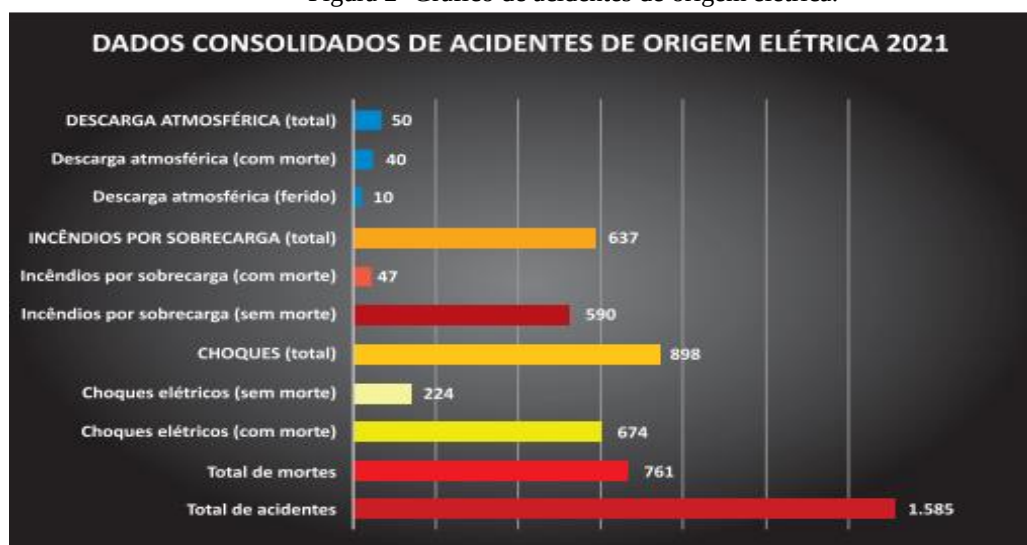


Segundo o levantamento feito pela Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (ABRACOPEL), mais da metade das instalações elétricas no Brasil não possuem qualquer tipo de aterramento, e o uso de Dispositivo Diferencial Residual (DR) nas instalações em construções antigas ou que não passaram por adequações ainda não é uma realidade para muitas residências, sendo considerado um dos grandes aliados à segurança, pois evita choques elétricos na maioria dos casos. É fato que a pandemia intensificou o trabalho em *home office* e, com isso, a preocupação das pessoas em adequar a instalação elétrica (ABRACOPEL, 2022; LIMA; STEPHANES, 2018).

Mesmo com as mais diversas medidas de segurança para instalações elétricas, uso de disjuntores, dimensionamento de cabos com diâmetros apropriados, dispositivo Diferencial Residual (DR) dentre outros, ainda temos alto índice de acidentes. De acordo com pesquisas feitas do site (ABRACOPEL) em 2021 trazem uma peculiaridade com o aumento de acidentes em relação à 2020, entretanto, os números de fatalidades com choque elétrico, que representam a maioria dos acidentes de origem elétrica, diminuíram, não sendo motivo de comemoração, mas oferecendo pontos de esperança (ABRACOPEL, 2022).

A Figura 2 são mostrados os números obtidos e acidentes pela ABRACOPEL ao pesquisar notícias usando palavras chave como: Choque elétrico, Eletrocutado, Eletroplessão (morte causada por descarga elétrica), Curto Circuito, Incêndio, dentre outros.

Figura 2- Gráfico de acidentes de origem elétrica.



Fonte: ABRACOPEL (2022)

Mediante a este cenário, o propósito deste trabalho é trazer uma solução em que o usuário tenha um dispositivo de segurança e eficiente com baixo custo, onde o usuário não necessita de adequação de sua rede elétrica, sendo possível escolher em qual tomada usar o dispositivo.

Seu uso poderá ser realizado em moradias alugadas, pousadas, salas comerciais e ambientes externos. Em sua interface, o usuário pode definir qual a corrente em que o dispositivo vai trabalhar; deste modo, mesmo que tenha mais de um aparelho ligado no dispositivo, não interfere no seu funcionamento.

A praticidade na instalação e no uso, assim como a portabilidade, tendem a ser fatores para motivar a aceitação deste dispositivo, sendo uma das funções principais que esse dispositivo vai trabalhar em conjunto com sistemas de proteção já existente em sua instalação não precisando alterar a rede elétrica, assim protegendo seus equipamentos e evitando acidentes, a função no dispositivo foi implementada para seccionar à alimentação da carga sempre que ocorrer desvio nos valores da corrente instantânea em relação à corrente nominal.

Eletrodomésticos que usam motores elétricos para seu funcionamento são os que têm uma maior tendência em acidentes domésticos principalmente em áreas molhadas, durante o uso pode ocorrer queima do motor ou até mesmo curto nas suas espiras, parte interna do motor, como grande parte desses aparelhos são construídos com suas carcaças de ferro induzindo um choque elétrico por contato indireto (ABRACOPEL, 2022).

Grande parte dos usuários pensam que os dispositivos de segurança existentes no mercado, empregados nos projetos elétricos ou adequados pela norma (NBR5410, 2004), nas

residencial foram instalados para proteção de seus aparelhos, mas na verdade estão instalados para proteção do usuário e sua rede elétrica de forma que quando um aparelho apresenta sobrecarga temos um aumento na corrente desta forma os disjuntores instalados na rede irão atuar dentro de sua faixa de dimensionamento da rede (LIMA; STEPHANES, 2018).

O termo ‘Dispositivo’ não deve ser entendido como um sistema específico, mas sim qualquer forma possível de se implementar a proteção diferencial-residual. São exemplos de tais formas: o interruptor, disjuntor ou tomada com proteção diferencial-residual incorporada, os blocos e módulos de proteção diferencial-residual acopláveis a disjuntores, os relés e transformadores de corrente que se podem associar a disjuntores, etc. (LIMA, 2018; NBR5410, 2004).

1.1. Justificativa

Desenvolvemos um dispositivo capaz de proteger contra choque elétrico e também monitorar os aparelhos conectados a ele, sendo de fácil instalação e se mostrando uma alternativa para diminuir esse grande número de acidentes envolvido com o uso da rede elétrica.

Além disso, o uso desse dispositivo pode ser um aliado sendo a energia uma peça tão importante no cotidiano de um mundo globalizado, o acesso universal a ela de maneira que não degrade o meio ambiente, com a redução do descarte prematuro de aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos e se adequando com o desenvolvimento sustentável, o presente trabalho preocupa-se em atingir um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, nosso projeto se enquadra no objetivo 7 trata-se do acesso às diferentes fontes de energia, e principalmente às renováveis, eficiente e não poluentes.(ODS, 2013).

Com dispositivo conectado na rede o usuário tem todo controle das cargas, sendo assim, possível monitorar o consumo dos aparelhos, ou até mesmo desligar, caso não esteja em uso assim fazendo um uso consciente da energia, em seus aparelhos ligados a rede elétrica e com toda segurança necessária.

O presente trabalho tem como objetivo, proteção para o usuário, atuando em conjunto com os sistemas de proteção já existentes no local nosso dispositivo não substitui o uso desses sendo um complemento, mantendo todos os equipamentos de proteção exigidos pela norma (NBR5410, 2004).

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema com controle e monitoramento IOT de tomadas para que se torne mais uma alternativa de proteção para aparelhos conectados nesse dispositivo, e detecção de fuga de corrente que pode ser ocasionada por um choque elétrico ou falha de isolamento em algum equipamento conectado na tomada monitorada.

1.2.1. Objetivos Específicos

Para avaliar a efetivação do objetivo geral descrito acima foi estipulado os seguintes objetivos específicos descritos abaixo:

- Desenvolver um sistema de monitoramento e controle para tomadas que adicione recursos IOT para este componente elétrico;
- Desenvolver um *dashboard* para que o usuário possa controlar e visualizar as informações do circuito de tomadas remotamente;
- Comparar as leituras apresentadas ao usuário com um instrumento de medição e determinar se a precisão está dentro dos valores especificados pelo fabricante do módulo medidor de energia PZEM-004T;
- Aplicação do módulo medidor de energia PZEM-004T como monitor de corrente residual.

2. Revisão bibliográfica

Diante da atenção que o tema tem recebido, diversos projetos foram escritos com objetivos semelhantes e, a seguir, sendo abordados alguns deles, a fim de entender a estratégia utilizada, bem como equipamentos e dificuldades encontradas.

2.1. Medidor de grandezas elétricas com acesso remoto.

NASCIMENTO e DIÓGENES (2020), neste artigo apresenta um dos objetivos deste trabalho, utilizando o módulo multimedidor PZEM sendo o responsável na aquisição dos dados, e o microcontrolador ESP32 com a função de envio. Segundo Nascimento et al. (2020), os dados serão enviados ao servidor via internet com acesso em computadores ou smartphones, dificuldade encontrada é possível citar a plataforma de acesso utilizada para acessar essas informações, que possuía alto *delay* e a necessidade de uma conexão constante para visualizar os dados.

2.2. Desenvolvimento de um interruptor eletrônico residual de baixo custo.

PIMENTEL e ALEXANDER (2020), artigo apresenta implementação adicionada nesse trabalho e objetivos almejados, possibilitando uma grande contribuição para o desenvolvimento, principalmente com relação monitoramento e estudo dos interruptores eletrônicos.

Desenvolvimento de um protótipo para produção de um interruptor eletrônico residual de baixo custo, um dos pontos fundamentais do projeto refere-se à determinação do valor de corrente de fuga a terra que dá condições ao amplificador operacional acionar o gatilho com uso de tiristor, alimentando o rele a fim de que interrompa a energia a carga. Não havendo corrente de fuga, a corrente elétrica que entra será igual a corrente que sai da carga, logo a diferença de corrente será zero, e por consequência, não haverá tensão gerada no secundário do transformador operacional 741 responsável pelo processamento deste sinal.

Dificuldades encontradas ao alimentar o protótipo ocorria invariavelmente o disparo da proteção de forma indevida, mesmo sem inclusão de carga ou presença de corrente de fuga fluindo a terra, optou-se pela inclusão de varistores nos terminais de alimentação do circuito,

visto que possuem a propriedade de agir como isolantes dentro da sua faixa de operação, não interferindo no circuito.

2.3. Protótipo de plugue para tomada elétrica controlado remotamente.

MAAS e ALEKSSANDER (2017), este artigo caminha em paralelo com sistema de medição e monitoramento por meio de recursos web e mobile com diferentes ferramentas na programação e metodologia de trabalho, buscando uma maior eficiência energética.

Desenvolvimento de um protótipo de plugue para tomada elétrica controlado remotamente, permitindo ao usuário ligar e desligar remotamente com acompanhamento de consumo de energia elétrica, protótipo foi desenvolvido com base no módulo ESP8266, o plugue faz uso do padrão arquitetural *Event Sourcing* e da biblioteca *Marten* para registrar todos os eventos lógicos do plugue, aproveitando os recursos de armazenamento não-relacional do banco de dados *PostgreSQL*. Permite, assim, a execução de consultas temporais do estado lógico do plugue em qualquer momento do tempo desde a sua primeira ativação, e a geração de uma linha do tempo consistente que inclui todos os eventos significativos.

Dificuldades durante projeto, houve problemas ao descarregar algumas versões do firmware que já faziam uso do Wi-Fi, nas quais o software descarregado para o módulo e não conectava à rede Wi-Fi estabelecida. A partir de então, foi utilizada a IDE do Arduino para o desenvolvimento do firmware.

2.4. Desenvolvimento de um dispositivo IOT para monitorar o consumo de energia elétrica.

WASOONTARAJAROEN; PAWASAN; CHAMNANPHRAI e VITHAYA (2017), Monografia com grande material teórico, apresenta um sistema de monitoramento de energia elétrica integrado ao conceito *IOT*, para ser usado em um edifício. No presente trabalho, utilizaram o módulo sensor PZEM-004t, microcontrolador Arduino Nano, Microcontrolador ESP8266.

O uso do módulo PZEM-004t foi utilizado para medir a tensão, corrente, potência e energia de um sistema trifásico. O Arduino nano ficou com a função de coletar os resultados medidos pelo módulo e salvar a cada 15 segundos.

O modulo ESP8266, recebe a cada um minuto esses dados, por meio de comunicação serial, para então serem enviados para nuvem *ThingSpeak*, o sistema ficou em teste durante uma semana com resultados satisfatórios, uma vez que produziram resultados confiáveis.

Apesar do projeto apresentar resultados satisfatórios para o monitoramento energético, talvez com a utilização de apenas um microcontrolador tornaria mais eficiente a comunicação, além de diminuir o custo do projeto.

Não sendo mencionado se foi preciso algum ajuste no modulo PZEM-004t, que pode afetar na exatidão da aquisição dos dados.

2.5. Dispositivo de plug-in inteligente baseado em IOT para sistema de gerenciamento de energia doméstica.

NGUYEN; DAT; TRAN; KHANG *et al.* (2018), este artigo contribui para o entendimento de algumas funcionalidades de nosso projeto, o trabalho segue em paralelo em alguns conceitos empregado. Nesse protótipo de um dispositivo que possa reconhecer o tipo de eletrodoméstico conectado a ele de acordo com a tensão, corrente e fator de potência.

Com utilização do módulo PZEM-Z004T, para detectar a tensão, corrente, potência ativa, energia e fator de potência do dispositivo no qual se encontra conectado. Na parte de automação utilizaram, microcontrolador ESP8266 sendo responsável para a realização aquisição dos dados e enviá-los para nuvem.

Durante os testes realizados com multímetro comercial foi possível comparar com os valores gerados pelo sistema, chegando à conclusão que apresentava erros abaixo de 1%.

Porém, para aparelhos de baixa corrente, o erro encontrado sendo de 10%, chegando à conclusão que o protótipo desenvolvido pode auxiliar no consumo eficiente de energia elétrica, mas apresenta dificuldades para aparelhos que ficam operando no modo *stand-by*, normalmente apresenta uma baixa corrente.

Como o protótipo exposto, apresenta um alto erro para esses dispositivos, isso pode interferir na aquisição dos dados de consumo elétrico para esses aparelhos, conforme o artigo anterior, WASOONTARAJAROEN; PAWASAN; CHAMNANPHRAI e VITHAYA (2017), não citaram no trabalho se foi feita alguma alteração para uma melhor leitura do módulo PZEM-Z004T.

2.6. Monitoramento Remoto De Consumo Energético Residencial: uso de IoT's para auxiliar no consumo consciente de energia.

FREITAS (2018), nesse projeto foi utilizado a placa de desenvolvimento *IoT* (Internet das coisas) os hardwares utilizados no projeto foram o *NodeMCU* esp8266-12E (*wifi*), a base do *NodeMCU* e o modulo de medição de tensão, corrente e potência PZEM-004T e o banco de dados na nuvem *FIREBASE*, e para a construção do aplicativo móvel, foi usado a IDE Android Studio.

Uma das dificuldades encontradas durante esse projeto, foi referente manipulação do código, para o funcionamento do modulo PZEM-004T, materiais e documentação de difícil acesso sobre o dispositivo, limitando as formas como ele pode ser utilizado.

Após análise dos *datasheets* dos dispositivos, foi verificado uma divergência quanto a tensão de trabalho entre o *NodeMCU* e o PZEM-004t, pois, enquanto o *NodeMCU* opera com 3.3v o PZEM-004t utiliza 5v, desta forma, quando o módulo PZEM-004T envia informação através do pino TX da placa, a tensão de trabalho é 5 v, e caso fosse utilizado a ligação direta entre os dispositivos, seria possível, em algum momento o comprometimento da operação normal do *NodeMCU*, uma forma que encontraram, foi desenvolver um divisor de tensão, reduzindo a tensão de 5v para 3.3 v, gerando uma estrutura de proteção para o sistema.

Durante teste em relação a precisão de leitura da rede elétrica, usando o modulo PZEM-004T, e para isso foi utilizado o alicate amperímetro *THOMPSON* e um aspirador de pó da *Back+Decker* de 750w. Ao ligar o aspirador de pó o alicate amperímetro registrou 3,4 amperes as 20horas e 38 minutos e ao comparar com o que foi registrado pelo sistema no mesmo horário, verificou-se uma amperagem igual 3,69 (A) Ampère, demonstrando a precisão do modulo PZEM-004T.

3. Materiais e Métodos

Neste tópico serão apresentados os recursos e materiais utilizados no desenvolvimento do projeto, segmentar o projeto em etapas para a execução do trabalho.

3.1 Conceito de energia elétrica

Energia é a capacidade de realizar trabalho. Ao se tratar de energia elétrica, é a capacidade de uma corrente elétrica realizar esse trabalho. Quando se aplica uma diferença de potencial entre dois pontos de um material condutor, implica-se na geração de uma corrente elétrica entre seus terminais, originando a energia elétrica, que tem como sua unidade de medida o *Joule* (J), (ASSIS; TEIXEIRA; BAIERL, 2003).

Segundo (ALEXANDER; SADIKU, 2013), potência elétrica é o trabalho realizado pela corrente elétrica em um determinado intervalo de tempo. Essa grandeza é medida em watts (W) e a partir dela obtém-se a seguinte expressão 3.1:

$$W = P \cdot t \quad (3.1)$$

Onde;

- **W** = energia (W.h);
- **P** = potência (W);
- **t** = tempo em segundos (s).

Para a fórmula da potência, tem-se expressão 3.2:

$$P = V \cdot I \quad (3.2)$$

Onde;

- **P** = potência (watt);
- **V** = tensão (volt);
- **I** = corrente (ampère).

Por convenção, utiliza-se o Wh (watt-hora) e o kWh (quilowatt-hora) para calcular o consumo de energia elétrica, logo, tem-se que a energia consumida é expressão 3.3:

$$\text{energia (Wh)} = \text{potência (W)} \cdot \text{tempo (h)} \quad (3.3)$$

Ou também se pode utilizar a expressão 3.4:

$$\text{energia(kWh)} = \frac{\text{potência(W)} \cdot \text{tempo(h)}}{1000} \quad (3.4)$$

3.2 Servidor WEB

Em busca de uma solução robusta que fosse capaz de gerenciar os dados coletados e exibi-los de maneira gráfica e intuitiva aos usuários foi escolhida a plataforma *Blynk.cloud*.

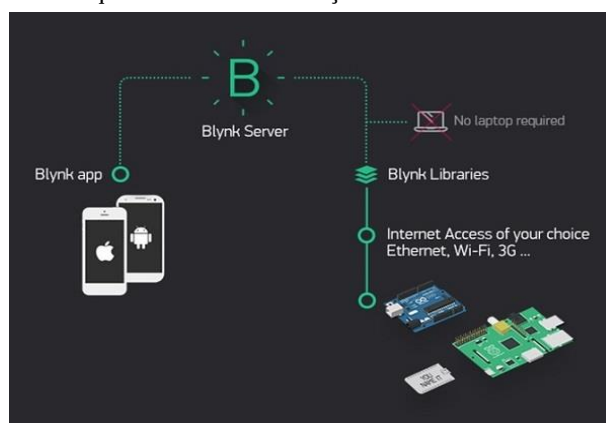
A empresa *Blynk Inc.*, proprietária da plataforma utilizada neste projeto é uma empresa de *software* que surgiu com foco em soluções *IOT* com abordagem *no-code* (BLYNK.IO, 2022).

De maneira simplificada, a abordagem *no-code* permite desenvolver soluções *web* e *mobile* sem programação (ZEEV, 2022). Utilizando somente de blocos visuais é possível elaborar uma interface de usuário complexa sem escrever uma só linha de código.

Utilizando dessa abordagem e recursos tecnológicos se torna veloz a prototipação de soluções *IOT*, focando nas funcionalidades do produto invés de demandar tempo implementando soluções tradicionais que envolvem servidores, infraestruturas de rede, etc.

Não obstante em oferecer toda infraestrutura e solução para criação e personalização de *dashboards*, a plataforma *blynk* disponibiliza biblioteca para integração com os principais *hardwares* / *softwares* do mercado. (BLYNK.IO, 2022). Com uma documentação bem detalhada, a integração *hardware* – *software* exige uma curva de aprendizado extremamente reduzida com exemplos reais que podem ser adaptados para um novo produto, a figura 3 demonstra a estrutura de comunicação com o servidor.

Figura 3 - arquitetura de comunicação entre o *hardware* e o *Blynk*.



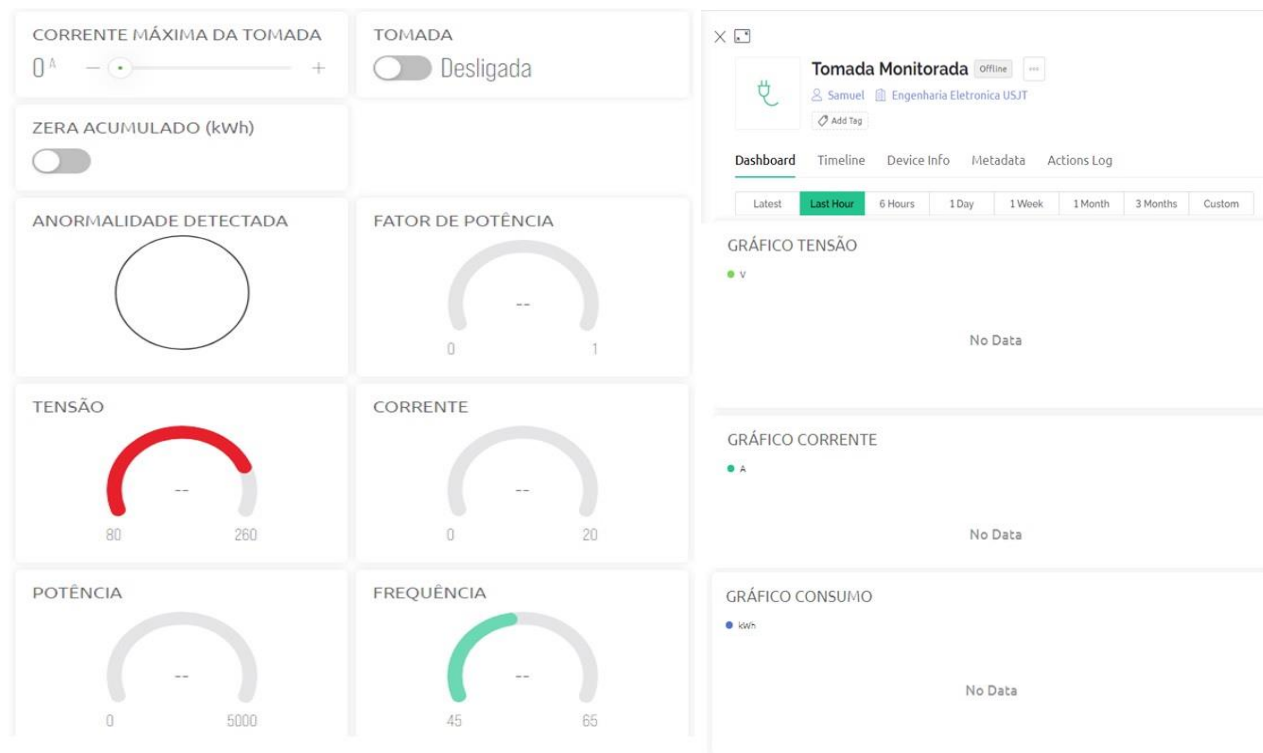
Fonte: OLIVEIRA (2017)

3.2.1 Interface do usuário

De acordo com DigitalHouse (2022) “O dashboard é uma ferramenta que, em português, significa painel de controle, ou seja, a partir dela é possível realizar toda a gestão de

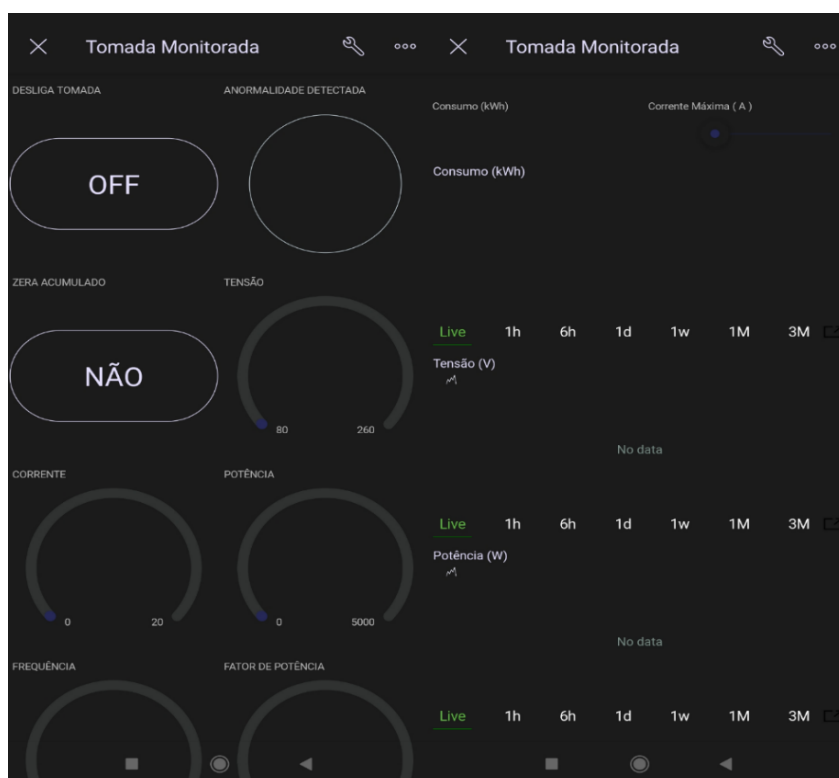
dados de um projeto”. Com isso foi escolhida a opção de *dashboard* para interação entre o usuário e o protótipo. As interfaces do usuário podem ser vistas nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - *Dashboard* versão *web*



Fonte: Própria dos autores

Figura 5 - *Dashboard* versão *mobile*



Fonte: Própria dos autores

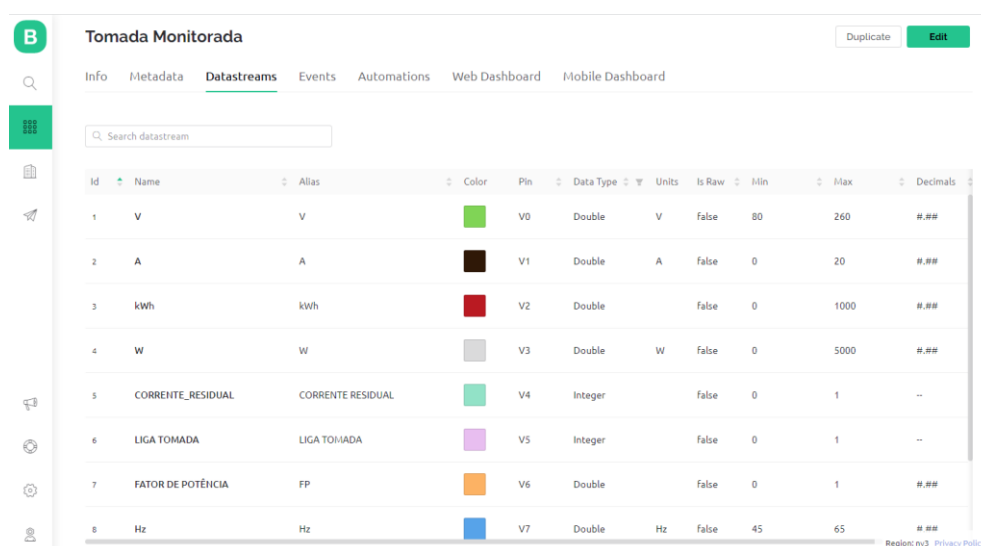
Através dos *dashboards* o usuário controla a tomada de qualquer lugar que possua *Internet* utilizando computador ou *smartphone*. O usuário possui três funções de controle: ligar e desligar a tomada garantindo autonomia até mesmo para pessoas com mobilidade reduzida, zerar o consumo acumulado podendo comparar através do gráfico a variação de consumo em um determinado período e limitar a corrente máxima que o circuito monitorado pode utilizar, essa opção é útil em redes que possuem limitação de consumo por exemplo gerador, inversor solar ou fonte de energia ininterrupta, mais conhecida como *no-break*

A gestão da tomada é realizada de maneira 100% remota e intuitiva, através de usuário e senha com privilégios especificados pelo usuário mestre, trazendo maior confiabilidade e garantindo que somente pessoas autorizadas tenham acesso ao controle e aos dados monitorados.

3.2.2 Configuração do *Dashboard*

Para que o microcontrolador possa disponibilizar os dados ao usuário foi necessário criar um fluxo de dados com uma variável para cada informação disponível bem como seus valores máximos e mínimos. A figura 6 ilustra o fluxo de dados disponível para o *dashboard*

Figura 6 - Fluxo de dados do Dashboard



Id	Name	Alias	Color	Pin	Data Type	Units	Is Raw	Min	Max	Decimals
1	V	V	Green	V0	Double	V	False	80	260	###
2	A	A	Black	V1	Double	A	False	0	20	###
3	kWh	kWh	Red	V2	Double		False	0	1000	###
4	W	W	Grey	V3	Double	W	False	0	5000	###
5	CORRENTE_RESIDUAL	CORRENTE RESIDUAL	Light Green	V4	Integer		False	0	1	--
6	LIGA TOMADA	LIGA TOMADA	Purple	V5	Integer		False	0	1	--
7	FATOR DE POTÊNCIA	FP	Orange	V6	Double		False	0	1	###
8	Hz	Hz	Blue	V7	Double	Hz	False	45	65	###

Fonte: Própria dos autores

De modo semelhante ao fluxo de dados também é necessário configurar os alertas que estão disponíveis e suas prioridades de acordo com as cores definidas. A figura 7 ilustra o fluxo de notificações cadastrados no *dashboard*.

Figura 7 - fluxo de notificações do *dashboard*.

Tomada Monitorada						
Info Metadata Datastreams Events Automations Web Dashboard Mobile Dashboard						
Search event						
Id	Name	Code	Color	Type	Description	
1	Online	ONLINE		Online		
2	Offline	OFFLINE		Offline		
3	TIMEOUT 0	timeout_0		Warning	PERDA DE CONEXÃO COM O PZEM PRINCIPAL	
4	TIMEOUT 1	timeout_1		Warning	PERDA DE CONEXÃO COM O PEM RESIDUAL	
5	WI-FI RECONECTADO	wifi_timeout		Warning	PERDA DE CONEXÃO COM O WI-FI	
6	FUGA DETECTADA	fuga_detectada		Critical	FUGA DE CORRENTE DETECTADA	
7	SOBRECORRENTE	sobrecorrente		Critical		

Fonte: Própria dos autores

3.3 Hardware

Para compor o hardware do projeto foi escolhido módulos comerciais que são difundidos no mercado, possuem uma ampla documentação e exemplos para iniciar a implementação de maneira objetiva e prática.

3.3.1 Módulo Pzem-004T

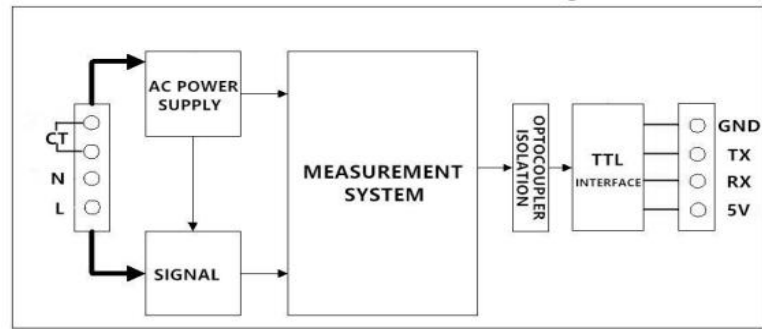
Para medição das grandezas elétricas foram utilizados dois módulos Pzem-004T V3.0 conforme identificado na figura 8. Um módulo foi dedicado a monitorar o consumo elétrico do circuito de tomadas e um para monitorar a corrente residual e detectar uma eventual fuga de corrente entre massa e terra de equipamentos ou fuga de corrente ocasionado por choque elétrico.

Figura 8 - Pzem-004T V3.0



Fonte:(TTL, 2022)

Figura 9 – Diagrama em blocos do funcionamento do módulo



Fonte:(PZEM-004T-V3.0, 2019)

O módulo Pzem oferece uma ampla faixa de leitura de tensão e corrente com alta precisão nos parâmetros mensurados. O módulo Pzem-004T possui interface TTL com protocolo de comunicação *Modbus*. Na tabela 1 é apresentado os parâmetros elétricos e no quadro 1 os registradores da comunicação *Modbus*.

Tabela 1 - Parâmetros Pzem

Grandeza	Intervalo de operação	Resolução	Precisão
Tensão	80~260Vac	0,1V	0,5%
Corrente	0,02~100A	0,001A	0,5%
Potência ativa	0,4~23Kw	0,1W	0,5%
Frequência de operação	45~65Hz	0,1Hz	0,5%
Fator de potência	0~1	0,01	1%

Dados compilados da Fonte: (TTL, 2022)

Quadro 1 - Parâmetros comunicação *Modbus*

Endereço do registrador	Descrição	Resolução
0x0000	Valor de Tensão	1LSB corresponde a 0.1V
0x0001	Valor de corrente 16bits inferiores	1LSB corresponde a 0,001A
0x0002	Valor de corrente 16bits superiores	
0x0003	Valor de Potência 16bits inferiores	1LSB corresponde a 0,1W
0x0004	Valor de Potência 16bits superiores	
0x0005	Valor de Energia 16bits inferiores	1LSB corresponde a 1Wh
0x0006	Valor de Energia 16bits superiores	
0x0007	Valor de frequência	1LSB corresponde a 0.1Hz
0x0008	Valor do fator de potência	1LSB corresponde a 0.01
0x0009	Status de alarme	0xFFFF alarme ativo 0x0000 alarme inativo

Fonte: PZEM-004T-V3.0 (2019)

3.3.2 Microcontrolador

O dispositivo responsável por tratar todos os dados recebidos, compartilhar com o servidor do *Blynk* e tomar as decisões de controle é o ESP32 DEV KIT V1, uma placa que integra o *System on Chip (SoC)* da *Espressif System*, esse microcontrolador possui integrado todos componentes necessários para utilização de redes *Wi-Fi* e *Bluetooth* sem nenhum periférico externo, além de ser um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia (ELECTRONICSHUB, 2022).

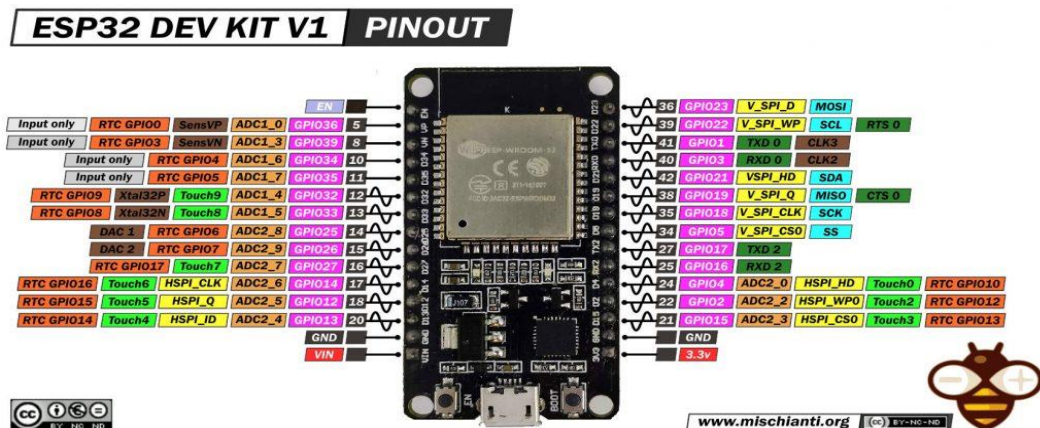
No Quadro 2 é demonstrado as especificações do microcontrolador e na figura 10 a descrição das portas de entrada e saída da placa ESP32 DEV KIT V1.

Quadro 2 - Especificações ESP32

MCU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 4.2
SRAM	512kBytes
Flash	SPI Flash, up tp 16.Mbytes
GPIO	36
Hardware / Software PWM	1 /16 Channels
SPI / I2C / I2S / UART	4 / 2 / 2 / 2
ADC	12-bit
CAN	1
Ethernet MAC Interface	1
Touch Sensor	Yes
Temperature Sensor	Yes
Working Temperature	-40°C ~ 125°C

Fonte: ROVAI (2022)

Figura 10 - Descrição das portas de entrada e saída



Fonte: MISCHIANTI (2021)

3.3.3 Módulo relé

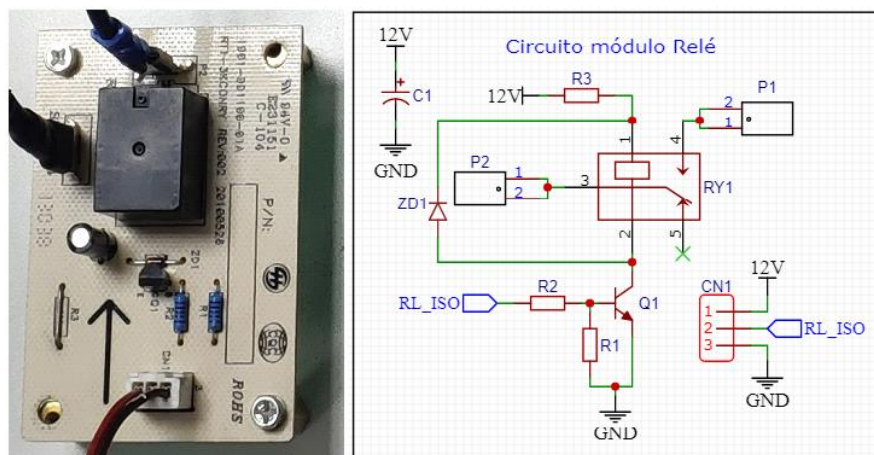
O módulo relé permite o controle do circuito de tomadas, o módulo recebe o comando do microcontrolador que determina se o circuito deve ser ligado ou desligado. No Quadro 3 consta a especificação do módulo e na figura 11 o modelo do módulo utilizado.

Quadro 3 - Especificação do módulo relé

Especificações	Valores
Modelo do relé	812H-1C-C
Tensão da bobina	12Vdc
Corrente nominal da bobina	30mA
Corrente máxima do relé	20 ^a
Tempo de fechamento do contato	15ms
Tempo de abertura do contato	5ms

Fonte: CHUAN (2022).

Figura 11 - Módulo relé e seu esquema elétrico

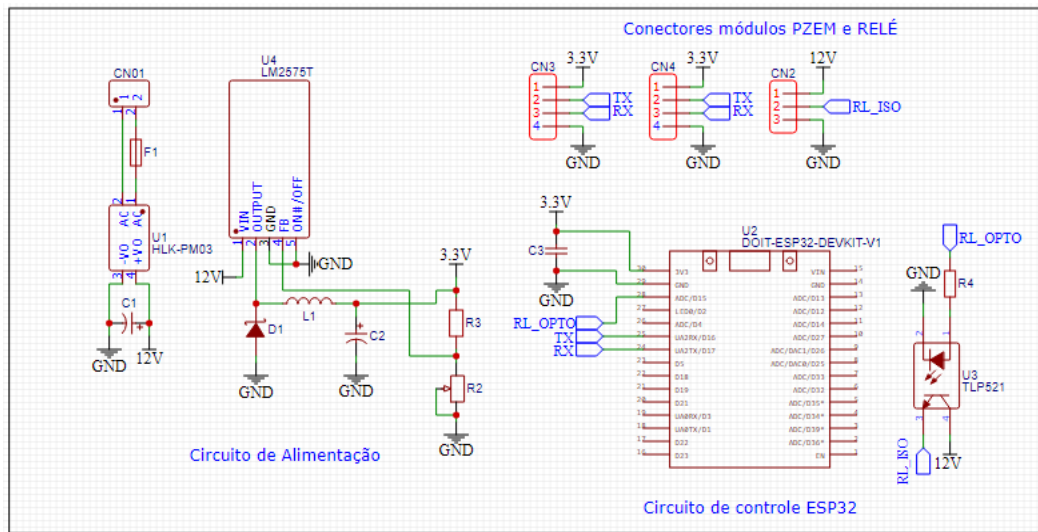


Fonte: Própria dos autores

3.3.4 Integração dos componentes e circuito de alimentação

Para integrar os componentes do projeto e implementar o circuito de alimentação foi utilizado uma placa de fenolite ilhada de 10cm x 10cm.

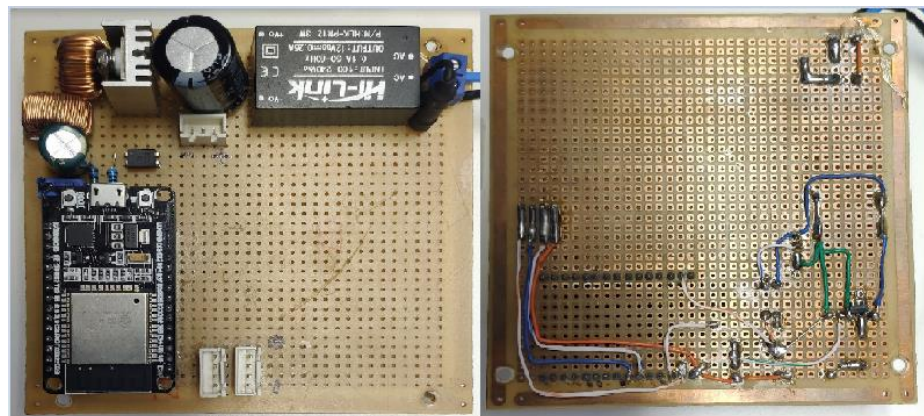
Figura 12 – Esquema elétrico da placa ilhada



Fonte: Própria dos autores

Na figura 13 é demonstrado a face superior e inferior da placa ilhada.

Figura 13 - face superior e inferior da placa ilhada



Fonte: Própria dos autores

3.4 Firmware

Sobre o firmware e sua finalidade:

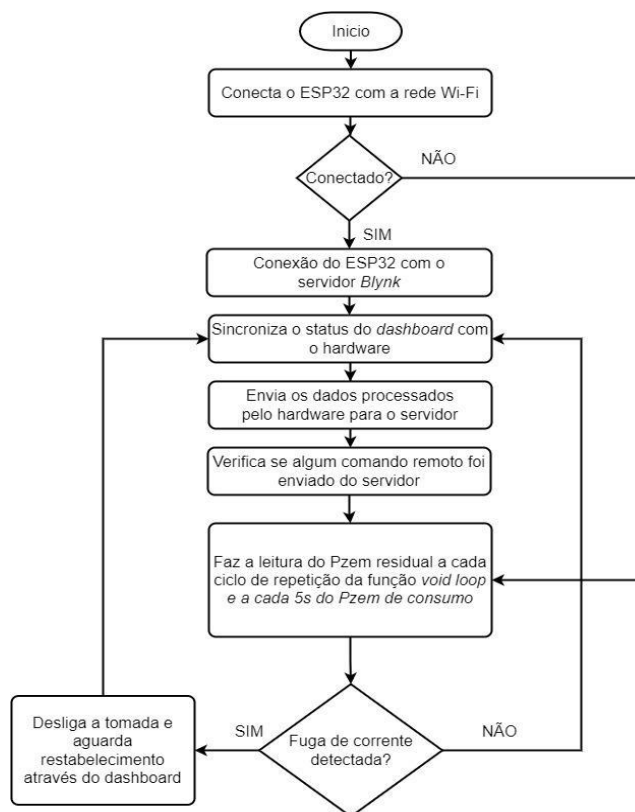
“O *firmware* é um pequeno pedaço de *software* que faz o hardware funcionar e fazer o que seu fabricante pretendia. Dessa forma, ele consiste em programas escritos por desenvolvedores de software para fazer com que os dispositivos de *hardware* “funcionem”. Sem ele, a maioria dos dispositivos eletrônicos que usamos diariamente não seria capaz de funcionar” (PIMENTA, 2022).

Com essa definição pode-se dizer que para que o microcontrolador execute suas funções e viabilize o funcionamento deste projeto é necessário escrever rotinas de *software* que permitam a interação entre o mundo real ou analógico e o digital no qual o microcontrolador trabalha.

Em busca de uma ferramenta que fosse capaz de integrar os componentes do projeto utilizando os blocos de software disponibilizados pelos fabricantes ou pela comunidade de desenvolvimento eletrônico com a solução proposta por esse trabalho foi escolhido o Arduino IDE. Após adicionar as diretivas do ESP32 ao Arduino IDE é possível programar o microcontrolador utilizando os mesmos comandos que são utilizados nas placas Arduino.

Para atender o objetivo proposto pelo projeto foi inicialmente elaborado um fluxograma que permitisse entender qual seria as etapas necessárias para implementar o software de controle do microcontrolador, a figura 14 demonstra essas etapas.

Figura 14 - Fluxograma inicial de operação do protótipo.



Fonte: Própria dos autores

Definida uma rotina de operação para o protótipo, iniciou-se de fato o desenvolvimento do firmware, na figura 15 são apresentadas as definições de *hardware* como portas de entrada e saída bem como mnemônicos que facilitam a sua utilização ao longo da programação.

Figura 15 - Definição das portas de E/S

```
#define PZEM_RX_PIN 16 //Porta RX que comunica com o Pzem
#define PZEM_TX_PIN 17 //Porta TX que comunica com o Pzem
#define PZEM_SERIAL Serial2 // Utiliza a Serial2 do ESP32 para comunicação com o Pzem
#define LED_STATUS 2 // Indica que o hardware está conectado ao Wi-Fi
#define RELAY 15 // Porta que controla o Relé de acionamento da tomada
#define BLYNK_PRINT Serial // Define a interface Serial como depuração do código
#define CONSOLE_SERIAL Serial // Define a interface Serial como depuração do código
```

Fonte: Própria dos autores

A figura 16 demonstra as informações necessárias para conexão com a rede *Wi-Fi*, a chave de conexão com o servidor e o nome do *dashboard* que recebe os dados processados pelo *hardware*.

Figura 16 - Parâmetros de conexão do servidor *Blynk*.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLrTPoo8zc" // Identifica em qual Dashboard os dados devem ser atualizados
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Tomada Monitorada"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "lvZh-Fzz26Yb5aokoc0YszV2OXjUG8lw" // Chave de autenticação com o servidor blynk
const char* ssid = "PhD"; // Nome da rede Wi-Fi
const char* password = "qlQ!qlQ!"; // Senha da rede Wi-Fi
char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
```

Fonte: Própria dos autores

A figura 17 descreve as bibliotecas utilizadas para a integração do ESP32 com o Pzem e com o servidor, todas as bibliotecas estão disponíveis na comunidade do Arduino.

Figura 17 - Bibliotecas utilizadas na programação

```
#include <PZEM004Tv30.h> //Biblioteca de comunicação com o módulo Pzem
#include <BlynkSimpleEsp32.h> // Biblioteca de comunicação com o servidor Blynk
#include <Preferences.h> //Biblioteca que armazena dados na memória flash do ESP32
```

Fonte: Própria dos autores

A figura 18 demonstra a função void setup que é responsável por inicializar todos os periféricos, variáveis e a comunicação do ESP32 com o Pzem e com o servidor *Blynk*.

Figura 18 - Inicialização dos periféricos.

```
void setup() {
  preferences.begin("Current-max", false); //Verifica qual a corrente maxima estava ajustada antes de
  max_current = preferences.getFloat("current", 20); //desligar o prototipo e restaura para o valor anterior
  preferences.end();
  pinMode(RELAY, OUTPUT); // Inicializa a porta do rele como saída
  pinMode(LED_STATUS, OUTPUT); // Inicializa a porta do led de conexão com o Wi-Fi como saída
  Serial.begin(115200); // Inicializa a Serial de depuração com taxa de 115200bps
  connect_wifi(); // Chama a função para conexão com Wi-Fi
  Blynk.config(auth); // Faz a conexão com o servidor Blynk
  timer.setInterval(5000L, myTimerEvent); //Intervalo de atualização do dashboard = 5s
  pzem1 = PZEM004Tv30(PZEM_SERIAL, PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN, 0x10); // Endereço do Pzem de consumo
  pzem0 = PZEM004Tv30(PZEM_SERIAL, PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN, 0x11); // Endereço do Pzem residual
  state_relay = 1; // Define o estado do rele para 1 = ligado
  digitalWrite(RELAY, state_relay); // Liga o rele para alimentar as tomadas
  delay(5000); // aguarda 5s até a inicialização de todos os perifericos
}
```

Fonte: Própria dos autores

Os próximos blocos de código descrevem uma rotina sequencial de operação do protótipo. A figura 19 evidencia a função void loop, responsável por fazer a leitura do Pzem monitor de corrente residual no menor intervalo de tempo possível devido a sua prioridade sobre os demais eventos. A função void loop também envia uma informação periódica ao servidor para que ele identifique que o hardware está online através do comando *Blynk.run()*.

A função void myTimerEvent que é demonstrada na figura 20 tem a função de obter os dados do Pzem monitor de consumo e atualizar o dashboard com os dados processados a cada 5 segundos, essas informações não precisam ser atualizadas em tempo real visto que pode haver sobrecarga no servidor Blynk com tantas requisições em um curto intervalo de tempo.

Figura 19 - Função void loop

```
void loop() {
  Blynk.run(); //Habilita os processos do Blynk
  timer.run(); //Timer de disparo das atualizações
  current0 = pzem0.current();
  if (current0 >= 0.03) {
    state_relay = 0;
    digitalWrite(RELAY, state_relay);
    Blynk.virtualWrite(V5, state_relay);
    Blynk.virtualWrite(V4, 1);
    Serial.println("CORRENTE RESIDUAL");
    //Blynk.logEvent("fuga_detectada", "FUGA DE CORRENTE DETECTADA");
  }
}
```

Fonte: Própria dos autores

Figura 20 - Função myTimerEvent

```
void myTimerEvent() { // Executa os comandos abaixo a cada intervalo definido no setup
  Blynk.syncVirtual(V5);
  // Blynk.virtualWrite(V5, state_relay); // Atualiza o botão de desligar a tomada
  float voltage1 = pzem1.voltage(); // Aquisição dos dados do Pzem
  float current1 = pzem1.current(); // Aquisição dos dados do Pzem
  float power1 = pzem1.power(); // Aquisição dos dados do Pzem
  float energy1 = pzem1.energy(); // Aquisição dos dados do Pzem
  float frequency1 = pzem1.frequency(); // Aquisição dos dados do Pzem
  float pf1 = pzem1.pf(); // Aquisição dos dados do Pzem

  //Envia os valores obtidos para o Dashboard
  Blynk.virtualWrite(V0, voltage1);
  Blynk.virtualWrite(V1, current1);
  Blynk.virtualWrite(V2, energy1);
  Blynk.virtualWrite(V3, power1);
  Blynk.virtualWrite(V6, pf1);
  Blynk.virtualWrite(V7, frequency1);
  Blynk.virtualWrite(V8, reseta);
  Blynk.virtualWrite(V9, max_current);
}
```

Fonte: Própria dos autores

Sempre que um comando é disparado no dashboard web ou mobile uma rotina chamada BLYNK_WRITE é executada, a figura 21 demonstra essa rotina.

Figura 21 - Rotina BLYNK_WRITE

```
BLYNK_WRITE(V5) { // Desliga a tomada remotamente e religa caso nao esteja em protecao
  if (!isnan(current0) && current0 < 0.03) {
    state_relay = param.asInt(); //
    digitalWrite(RELAY, state_relay);
    Blynk.virtualWrite(V4, 0); // V4 = Corrente Residual
  }
}

BLYNK_WRITE(V8) { // reseta acumulador de consumo
  reseta = param.asInt();
  if (reseta == 1) {
    pzem1.resetEnergy();
    reseta = 0;
  }
  Blynk.virtualWrite(V8, reseta);
}

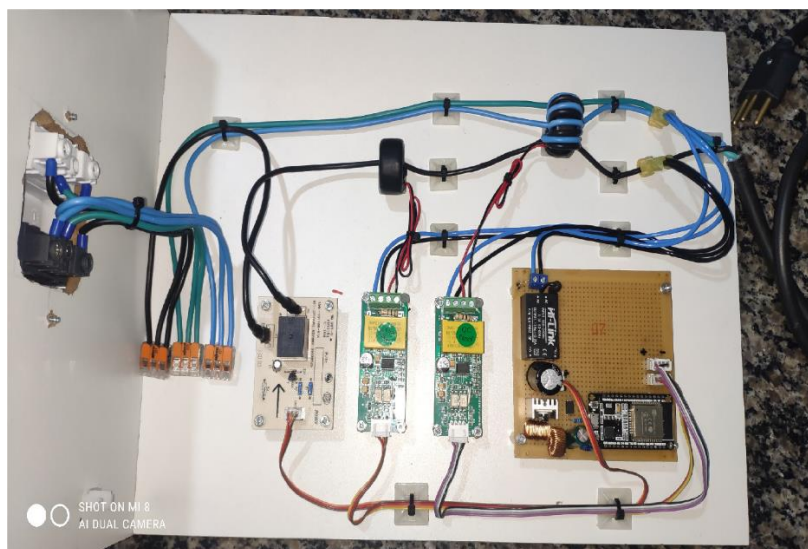
BLYNK_WRITE(V9) { // recebe o valor maximo de corrente da tomada
  max_current = param.asInt();
  preferences.begin("Current-max", false);
  preferences.putFloat("current", max_current);
  preferences.end();
}
```

Fonte: Própria dos autores

3.5 Protótipo

A montagem do protótipo e a integração dos componentes descritos anteriormente foi realizada sobre uma base de MDF, garantindo estabilidade física e segurança nos testes, tendo melhor visualização do circuito desenvolvido e seus componentes. O protótipo montado pode ser visto nas figuras 22 e 23.

Figura 22 – Protótipo finalizado - componentes



Fonte: Própria dos autores

Figura 23 – Protótipo finalizado – tomadas



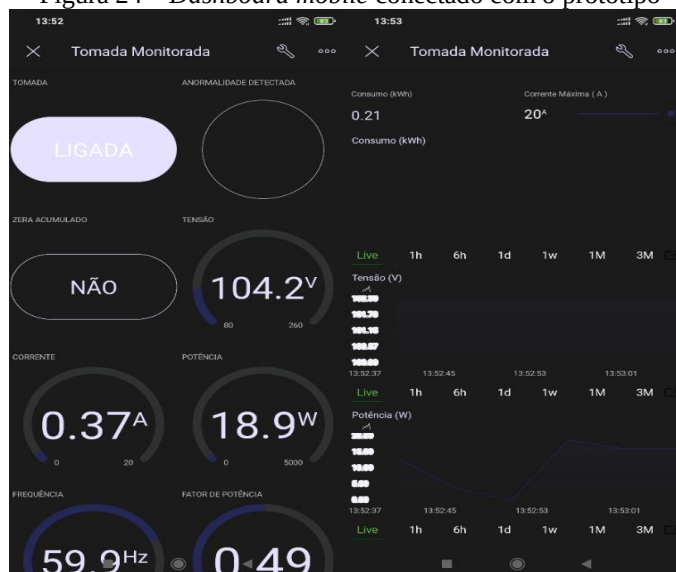
Fonte: Própria dos autores

4. Resultados e discussão

A criação do *dashboard* utilizando as ferramentas do *Blynk* abstraiu toda parte de servidor, banco de dados, aplicação web, entre outros recursos que pertencem a camada web.

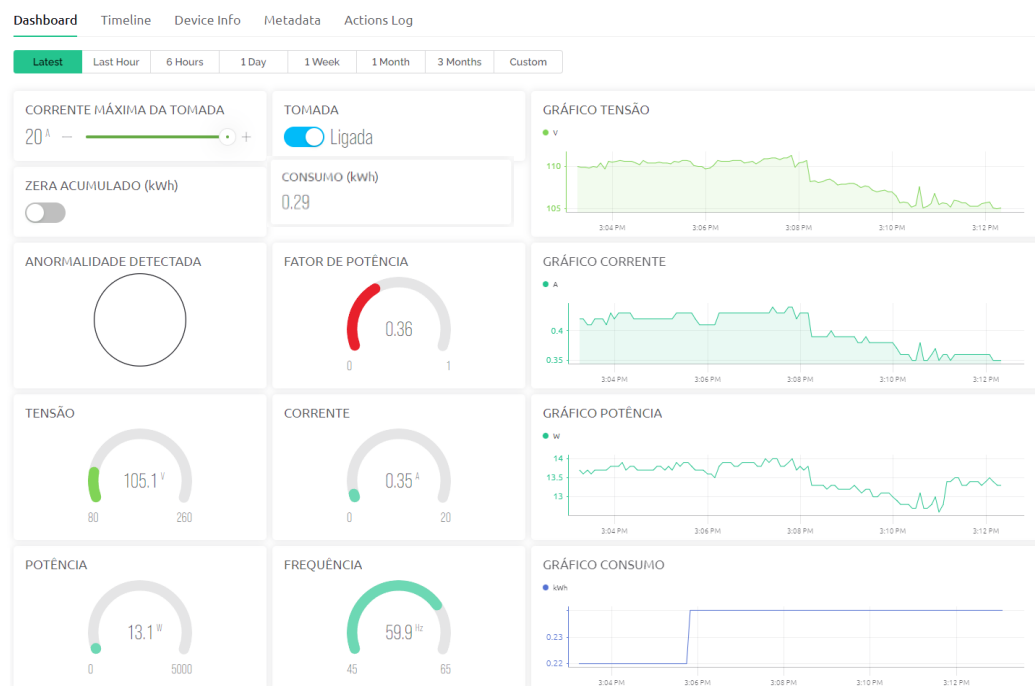
Com esse alto nível de abstração foi reduzido consideravelmente a curva de aprendizado necessária para disponibilizar os dados processados pelo *hardware*; Através de uma interface visual simples e intuitiva, montada com blocos de funções, o usuário possui acesso as informações e ferramentas de controle para o circuito monitorado. Nas figuras 24 e 25 é possível ver o *dashboard* com os dados obtidos através do *hardware* desenvolvido.

Figura 24 – *Dashboard mobile* conectado com o protótipo



Fonte: Própria dos autores

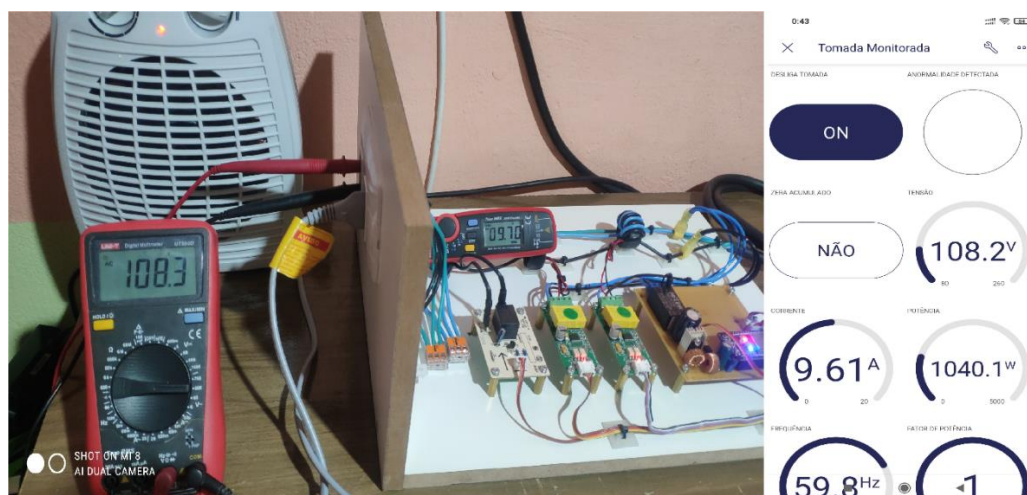
Figura 25 – *Dashboard web* conectado com o protótipo



Fonte: Própria dos autores

Para analisar os dados obtidos pelo projeto foi utilizado duas cargas puramente resistivas sendo a primeira um aquecedor da marca Mondial modelo A-08 de 1500W à 127V, teste demonstrado na figura 26 e 27. A segunda carga utilizada foi um ferro de solda Hikari plus SC-60 de 60W à 127V conforme figura 28, e para comparar os valores obtidos foi utilizado multímetro e amperímetro da marca UNI-T modelo UT890D e UT210E respectivamente. O resultado é demonstrado a seguir.

Figura 26 - Teste com aquecedor de ar



Fonte: Própria dos autores

Segundo CHAPRA (2013), o erro relativo, também chamado de erro real é dado pela soma dos erros de arredondamento com os erros de truncamento. A equação utilizada para cálculo do erro relativo pode ser observado na expressão 4.1.

Para calcular o erro de leitura da tensão e corrente em porcentagem foi utilizado a equação de erro relativo multiplicado por 100% conforme expressão 4.2.

- Erro relativo = $\left| \frac{\text{valor medido 1} - \text{valor medido 2}}{\text{valor medido 2}} \right|$ (4.1)

- Erro relativo percentual = $\left| \frac{\text{valor medido 1} - \text{valor medido 2}}{\text{valor medido 2}} \right| * 100\%$ (4.2)

O valor medido 1 é o valor obtido no multímetro e o valor medido 2 é o valor exibido no dashboard.

Com base na expressão 4.2 foi encontrado os seguintes erros:

- Erro calculado para tensão: $\left(\frac{108,3 - 108,2}{108,2} \right) * 100\% = 0,0924\%$. (4.3)

- Erro calculado para corrente: $\left(\frac{9,70 - 9,61}{9,61} \right) * 100\% = 0,9365\%$. (4.4)

Figura 27 - Teste 2 com aquecedor de ar

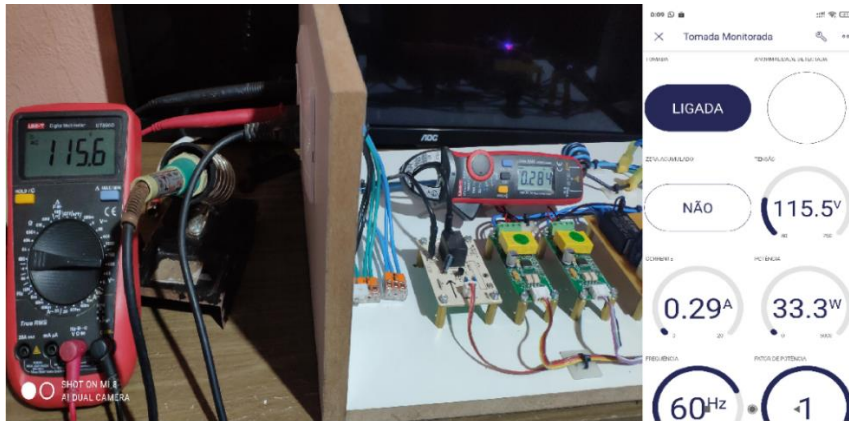


Fonte: Própria dos autores

- Erro calculado para tensão: $\left(\frac{105,8 - 105,3}{105,3} \right) * 100\% = 0,4748\%$. (4.5)

- Erro calculado para corrente: $\left(\frac{9,52 - 9,36}{9,36} \right) * 100\% = 1,7094\%$. (4.6)

Figura 28 - Teste com ferro de solda



Fonte: Própria dos autores

- Erro calculado para tensão: $\left(\frac{115,6-115,5}{115,5}\right) * 100\% = 0,0865\%.$ (4.7)

- Erro calculado para corrente: $\left(\frac{0,29-0,284}{0,284}\right) * 100\% = 2,1127\%.$ (4.8)

Os erros observados na leitura dos valores de corrente através das expressões 4.4, 4.6 e 4.8 podem ser justificados devido a precisão do alicate amperímetro utilizado ser de 2% e também devido ao arredondamento utilizado pelo dashboard que exibe somente duas casas decimais enquanto o alicate amperímetro mostra três casas decimais na escala menor de leitura.

As tensões observadas através das expressões 4.3, 4.5 e 4.7 estão dentro da tolerância estipulada pelo fabricante do PZEM.

A detecção de corrente residual foi realizada utilizando uma associação de resistores ligados entre a fase e a terra da tomada, verificando se a tomada ativa a proteção e exibe o alerta no *dashboard*. Foi utilizado dois resistores de $2K7\Omega$ em série, um interruptor faz a seleção da associação, com a chave na posição I a resistência é $2,67k\Omega$ e na posição O é $5k3\Omega$. A figura 29 demonstra o equipamento desenvolvido para teste da corrente residual

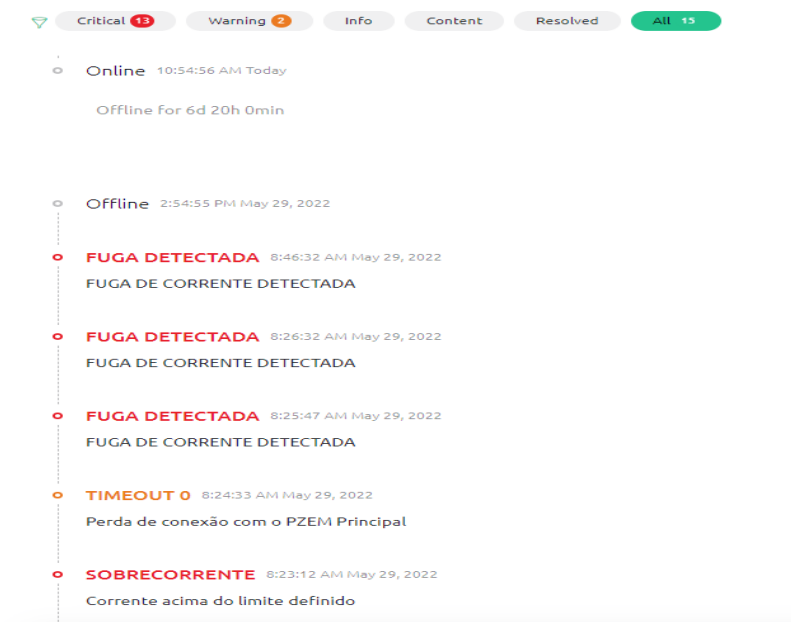
Figura 29 – Associação de resistores para teste de corrente residual



Fonte: Própria dos autores

A seguir será avaliado a medição da corrente residual, o funcionamento do sistema de proteção e o sistema de alerta das proteções acionadas. Além de registrar os dados processados pelo protótipo o *dashboard* registra um histórico de eventos, na figura 30 é demonstrado um histórico de alertas e alarmes registrados.

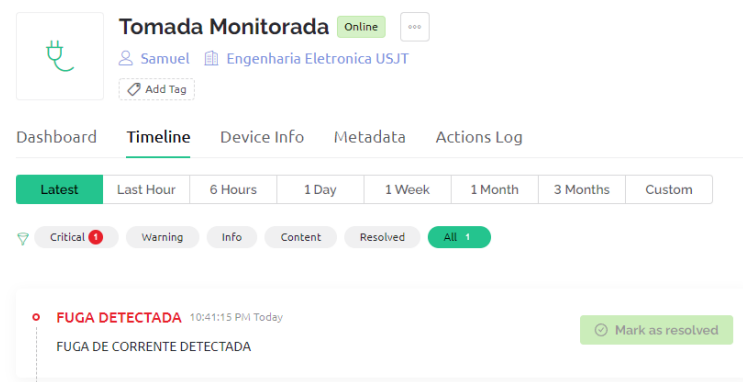
Figura 30 – Histórico de alertas e alarmes



Fonte: Própria dos autores

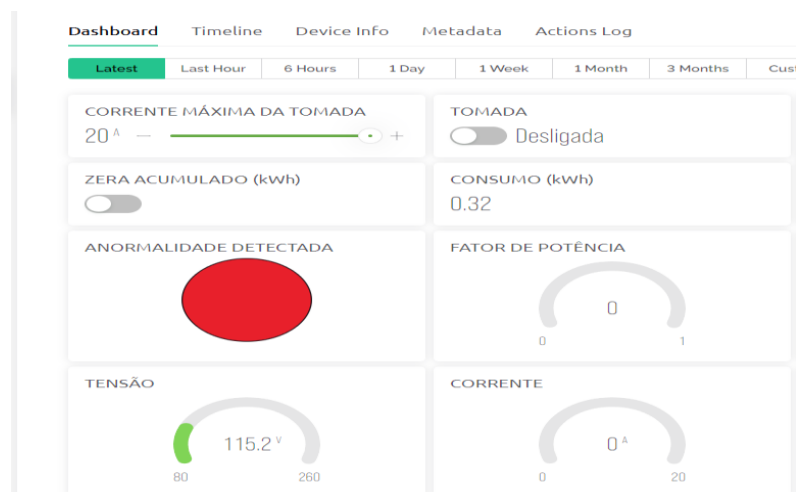
Executado teste de fuga de corrente a tomada ativa a proteção, sinaliza uma anormalidade detectada conforme figura 32 e emite um alerta para o usuário identificar qual problema ativou a proteção do circuito de tomadas conforme figura 31.

Figura 31 – Registro do evento que ativou a proteção



Fonte: Própria dos autores

Figura 32 – Indicador de anormalidade detectada



Fonte: Própria dos autores

4.1. Materiais e preços

No quadro 4 é listado todo material utilizado para a montagem do projeto, bem como o custo do material adquirido. O custo apresentado não contempla mão de obra de montagem e instalação do projeto. Os valores abaixo foram obtidos através de cotação na internet no dia 30/05/2022.

Quadro 4 – Custo de materiais

Item	Quantidade	Valor unitário	Valor Total
Abraçadeira de nylon	1	R\$ 13,90	R\$ 13,90
Cabo PP 3x2,5mm ²	3m	R\$ 8,63	R\$ 25,89
Conector borne KRE	1	R\$ 1,40	R\$ 1,40
Conector derivação T-Type	2	R\$ 0,89	R\$ 1,78
Conector Wago 221	1	R\$ 11,90	R\$ 11,90
Tomada Tramontina Aria	1	R\$ 14,16	R\$ 14,16
Conversor DC-DC	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
ESP32	1	R\$ 41,90	R\$ 41,90
Fixador auto adesivo	1	R\$ 10,36	R\$ 10,36
Fonte Hi-Link PM12 3W	1	R\$ 34,19	R\$ 34,19
Painel MDF	1	R\$ 31,90	R\$ 31,90
Placa ilhada 10x10cm	1	R\$ 15,19	R\$ 15,19
Módulo PZEM	2	R\$ 56,00	R\$ 112,00
Módulo Relé	1	R\$ 31,26	R\$ 31,26
Total Geral			R\$ 358,73

Fonte: Própria dos autores

5. Considerações Finais

A criação de um *dashboard* que permite ao usuário verificar o funcionamento de seus equipamentos, o consumo e até mesmo o controle remoto tem se tornado comum com a chegada da Internet das coisas, os equipamentos elétricos que até então apresentavam uma funcionalidade estática tem ganhando funções dinâmicas e até mesmo autônomas para que atenda uma determinada necessidade, por exemplo, economia de energia, segurança, praticidade e até mesmo acessibilidade.

Através dos experimentos realizados foi possível comparar os valores reais dos dados monitorados e compará-los com os dados exibidos ao usuário, o erro observado na comparação das leituras não estão discrepantes e podem ser justificados pela precisão do equipamento utilizado juntamente com a técnica de arredondamento adotada pelo servidor que trata os dados recebidos e exibe ao usuário de maneira gráfica.

Encontrar aplicações alternativas ao módulo PZEM-004T é relevante visto que o devido a sua enorme faixa de trabalho utilizá-lo para medir somente o consumo é subutilizar todo potencial que esse produto oferece, o módulo escolhido permite leituras até 100A mas responde muito bem com uma corrente na faixa de dezenas de mA, detectando correntes residuais na faixa de 30mA com uma precisão satisfatória.

A ideia de possuir um sistema de monitoramento de um determinado agrupamento de tomadas e que permite avaliar possíveis fugas de corrente que como consequência trazem um elevado consumo e até mesmo desperdício de energia elétrica, associado ao controle remoto e monitoramento contínuo do consumo desse circuito permite o uso consciente de energia elétrica, além de permitir desligar esse grupo de equipamentos que não estejam sendo utilizados de maneira crítica, contribuindo para uma sociedade cada vez mais sustentável na utilização dos recursos naturais.

6. Referências

ABRACOPEL, 2022, **Anuário Estatístico de Acidentes de origem elétrica 2022** Disponível em: <https://abracopel.org/blog/lancado-anuario-estatistico-de-acidentes-de-origem-eletrica-2022-ano-base-2021/>. Acesso em: 18/Dez/2021.

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. Fundamentos de circuitos elétricos. : AMGH Editora 2013.

ASSIS; TEIXEIRA, A.; BAIERL, O. P. Algumas considerações sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de energia. 9: 41-52 p. 2003.

BLYNK.IO, 2022, **Internet of Things. Businesses** Disponível em: <https://blynk.io/about/https://static.tildacdn.com/tild3434-6230-4236-b065-326665383230/blynk-iot-business-b.png>. Acesso em: 10/Fev/2022.

CHAPRA, S. C. Métodos Numéricos Aplicados com MATLAB® para Engenheiros e Cientistas-3. : AMGH Editora 2013.

CHUAN, S., 2022, **Mouser Electronics**. Disponível em: <https://br.mouser.com/datasheet/2/378/201711289352054337-2307008.pdf>. Acesso em: 15/Maio/2022.

COSTA; UESUGUI, V. A.; MANTOVANI; DANIEL *et al.* IMPORTÂNCIA DO USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA CORRENTES RESIDUAIS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS. 2018.

DIGITALHOUSE, 2022, **soft skills**. Disponível em: <https://www.digitalhouse.com/br>. Acesso em: 12/fev/2022.

ELECTRONICSHUB, 2022, **Specifications, ESP32 DevKit Board, Layout - Electronics Hub**. Disponível em: <https://www.electronicshub.org/getting-started-with-esp32/>. Acesso em: 13/Maio/2022.

FARIAS; ALVES, A., 2013, **PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E EFEITOS TÉRMICOS**. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/view/1022/0>. Acesso em: 30/Jan/2022

FERNANDES, L. P. d. F., 2016, **IDR - Interruptor Diferencial Residual (DR)**. Disponível em: <https://eletruiz.webnode.page/idr/>. Acesso em: 04/Maio/2022.

FREITAS, A. M. L. D. MONITORAMENTO REMOTO DE CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL: uso de IoT's para auxiliar no consumo consciente de energia. 2018.

LIMA; STEPHANES, L. REVISÃO DA NORMA ABNT NBR 5410: 2004 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO. 2018.

MAAS; ALEKSSANDER, D. PROTÓTIPO DE PLUGUE PARA TOMADA ELÉTRICA CONTROLADO REMOTAMENTE. 2017.

MISCHIANI, R., 2021, **DOIT ESP32 DEV KIT v1 high resolution pinout and specs**. Disponível em: <https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>. Acesso em: 15/Maio/2022.

MOREIRA; CORRÊA, B. F.; ALMEIDA; CORIÁ, P. *et al.* Fatores de risco para queimaduras e choque elétrico em crianças no ambiente domiciliar. 12: 86-91 p. 2008.

NASCIMENTO, B. d.; DIÓGENES, D. P. D. Medidor de grandezas elétricas com acesso remoto. 2: 42-53 p. 2020.

NBR5410, 2004, **ABNT NBR 5410- Instalações elétricas de baixa tensão**. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 10/Jan/2022.

NGUYEN; DAT, T.; TRAN; KHANG, V. *et al.* lot-based smart plug-in device for home energy management system. 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD). : IEEE: 734-738 p. 2018.

ODS, 2013, **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/os-ods/ods7/>. Acesso em: 20/Maio/2022.

OLIVEIRA; KHOURY, J. DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA E FUGA DE CORRENTE. 2016.

OLIVEIRA; SOARES, B. A. Desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento de energia elétrica via internet: um estudo de caso no IFMG-Campus Bambuí. 2017.

PIMENTA; RAFAEL, 2022, **geekblog**. Disponível em: <https://geekblog.com.br/o-que-e-ssid-da-rede-entenda-mais-sobre-o-assunto/>. Acesso em: 11/Maio/2022.

PIMENTEL; ALEXANDER. Desenvolvimento de um interruptor eletrônico residual de baixo custo. 2020.

PZEM-004T-V3.0, 2019, **Innovatorsguru**. Disponível em: <https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads/2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf>. Acesso em: 12/Maio/2022.

ROVAI, M. J., 2022, **IOT Made Simple: Playing With the ESP32 on Arduino IDE**. Disponível em: <https://mrobot.org/iot-made-simple-playing-with-the-esp32-on-arduino-ide/>. Acesso em: 13/Maio/2022.

TECNOLOGIA-UFRRJ, I. d., 2021, **Riscos dos choques elétrico**. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/eletric.htm>. Acesso em: 09/Fev/2022

USINAINFO, 2022, **Voltímetro AC Wattímetro Amperímetro PZEM-004T V3.0 100A 260V com Saída TTL**

Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/voltimetro-digital-analogico/voltimetro-ac-wattimetro-amperimetro-pzem-004t-v30-100a-260v-com-saida-ttl-5737.html>. Acesso em: 22/Fev/2022.

WASOONTARAJAROEN; PAWASAN, S.; CHAMNANPHRAI, K.; VITHAYA. Development of an IoT device for monitoring electrical energy consumption. 2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). : IEEE: 1-4 p. 2017.

ZEEV, 2022, **Tecnologia BPMS**

Business Process Management. Disponível em: <https://blog.zeev.it/o-que-e-no-code/>. Acesso em: 10/Maio/2022.