

CENTRAL DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO COM ESP32

LOW-COST HOME AUTOMATION SYSTEM WITH ESP32

CENTRAL DE AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL DE BAJO COSTE CON ESP32

Donizeti Damaceno¹
Charles Way Hun Fung²
Rodrigo Vinicius Sartori³

Resumo

Pretende-se neste trabalho apresentar o desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo, controlado por meio de aplicação para *smartphones* e conexão *wireless*, utilizando plataforma de prototipagem eletrônica ESP32 Devkit V1. O principal propósito foi desenvolver um sistema simples e amigável que abrangesse as mais comuns necessidades dentro dos lares, oferecendo ao usuário a capacidade de controlar alguns circuitos elétricos da sua residência, como tomadas, lâmpadas e portões, visando a esse um maior conforto com custos reduzidos em relação aos preços de mercado, que além de caros tem sua instalação pouco atrativa aos usuários comuns. O ESP32 é uma excelente opção para projetos de automação, pois atende a proposta de ser um microcontrolador barato e acessível, ideal para várias finalidades. Verificou-se que a solução adotada tem um custo de mercado menor se comparado a outros produtos similares. O sistema foi avaliado em relação ao custo de produção e ao impacto energético e mostrou ser uma solução acessível e eficiente.

Palavras-chave: automação residencial; domótica; ESP32.

Abstract

The objective of this study is to present the development of a low-cost home automation system, controlled via a smartphone application and wireless connection, using the ESP32 Devkit V1 electronic prototyping platform. The principal objective was to develop a straightforward and user-friendly system that would address the most prevalent needs in residential settings. The system was designed to provide users with the ability to control select electrical circuits in their homes, including outlets, lighting, and gates. This was done with the aim of enhancing comfort while reducing costs compared to market prices. Market prices for such systems are often high and may not align with the financial capabilities of the average user, making their installation a challenging proposition. The ESP32 is an optimal choice for automation projects, as it fulfills the criteria of being a cost-effective and accessible microcontroller, suitable for diverse applications. It was determined that the selected solution has a lower market cost in comparison to other analogous products. The system was evaluated in terms of production cost and energy impact, and it was demonstrated to be an economical and efficient solution.

Keywords: home automation; home automation; ESP32.

Resumen

El objetivo de ese trabajo es presentar el desarrollo de un sistema domótico de bajo coste, controlado por medio de una aplicación para móvil y conexión *wireless*, utilizando la plataforma de prototipado electrónico ESP32 Devkit V1. El objetivo principal ha sido desarrollar un sistema sencillo y de fácil manejo que cubra las necesidades más comunes dentro de los hogares, ofreciendo al usuario la posibilidad de controlar algunos de los circuitos eléctricos de su casa, como enchufes, bombillas y portones, con el fin de proporcionar un mayor confort a un coste reducido en comparación con los precios de mercado, que además de caros son poco atractivos de instalar para el usuario común. El ES32 es una excelente opción para proyectos de automatización, ya que cumple con la propuesta de ser un microcontrolador barato y accesible, ideal para diversos fines. Se comprobó que la solución

¹Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Internacional – UNINTER. E-mail: donizeti-damaceno@outlook.com

²Professor, Mestre e Orientador do Centro Universitário Internacional – UNINTER. E-mail: charles.f@uninter.com

³Doutor em Administração pela Universidade Positivo. E-mail: rvsartori@gmail.com

adoptada tiene un coste de mercado inferior en comparación con otros productos similares. El sistema fue evaluado en términos de coste de producción e impacto energético y demostró ser una solución asequible y eficiente.

Palabras clave: domótica; automatización del hogar; ESP32.

1 Introdução

A automação residencial baseia-se em sistemas tecnológicos integrados que visam a melhor maneira de satisfazer necessidades básicas em conforto, segurança, gestão energética e controle residencial de um indivíduo. A esses sistemas se dá o nome de domótica (Muratori; Bó, 2016).

A domótica é a automatização e o controle aplicados às residências. Esse controle é feito por meio de equipamentos com comunicação interativa entre si e capacidade de seguir instruções de um controlador, uma central de automação, previamente programada pelo usuário da residência, podendo ter suas instruções alteradas conforme seus interesses. Consequentemente, a domótica permite uma melhor qualidade de vida, reduz esforços e trabalhos domésticos aumentando o bem-estar e a segurança de seu usuário, podendo racionalizar o consumo de energia e proporcionar uma melhor gestão do lar (Muratori; Bó, 2016).

A quantidade de funcionalidades de uma central de automação é enorme. Por celular, controle remoto ou computador é possível controlar aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, motores elétricos, tomadas, lâmpadas e equipamentos de segurança como, por exemplo, câmeras, portões e portas de acesso.

Um ambiente considerado inteligente é aquele que é capaz de gerenciar certas funções inerentes às atividades comuns de uma residência, proporcionando conforto e conveniência à pessoa responsável por gerenciar sua tecnologia. Uma casa inteligente oferece um ponto de acesso a todos os sistemas de qualquer lugar, dentro ou fora do lar, tornando mais fácil controlar luzes, tomadas e sistemas que ajudam a gerenciar a maior quantidade possível de componentes domésticos. Isso permite que o proprietário da casa tenha mais autonomia em relação a tarefas cotidianas que são simples, mas repetitivas e podem consumir tempo e energia do indivíduo (Oliveira, 2017).

1.1 Problema

No mercado atual, há diversas opções de equipamentos para a realização de um projeto de automação residencial, porém, na maioria das vezes, seus preços são muito elevados (Borge, 2019). O planejamento de um sistema simples e de baixo custo torna-se um requisito

fundamental para atender a expectativa de economia, conforto e praticidade do usuário. Outro problema está relacionado com a dificuldade de instalação, configuração e programação de aparelhos eletrônicos por pessoas que são apenas usuários e não desenvolvedores. Para esses, faz-se necessário a criação de um equipamento intuitivo, de fácil funcionamento e de baixo custo, que atenda a necessidade do seu proprietário.

1.2 Justificativa

A independência que uma casa automatizada traz ao seu usuário é muito grande. Desde um simples entusiasta da tecnologia, que gosta de ter o controle sobre seus equipamentos, a um portador de doença motora que tem sua locomoção reduzida e não alcança tomadas e interruptores, vendo na automação uma maneira de tornar sua vida mais prática. Por meio da tecnologia, a vida humana se torna cada vez mais simples e o tempo cada vez mais otimizado.

1.3 Objetivos

O seguinte trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema para automação residencial de baixo custo e que permita ao usuário ativar e desativar circuitos elétricos de sua residência, bem como as cargas ligadas a esses circuitos. O projeto baseia-se na utilização do microcontrolador ESP32 Devkit V1 para controlar o acionamento de lâmpadas e tomadas remotamente pela rede *wireless* da residência, acompanhado da implementação de uma interface que atuará no *smartphone* do usuário, auxiliando e centralizando o controle dos equipamentos.

Dentro disso, tem-se como objetivos específicos: desenvolver a estrutura de controle de periféricos (lâmpadas, tomadas, motores e circuitos em um contexto geral); desenvolver o algoritmo de controle que faça a comunicação entre o microcontrolador, o usuário e os periféricos; desenvolver a placa de prototipagem que comportará os componentes; e desenvolver uma interface de visualização e controle para o usuário.

2 Fundamentação teórica

2.1 Microcontrolador

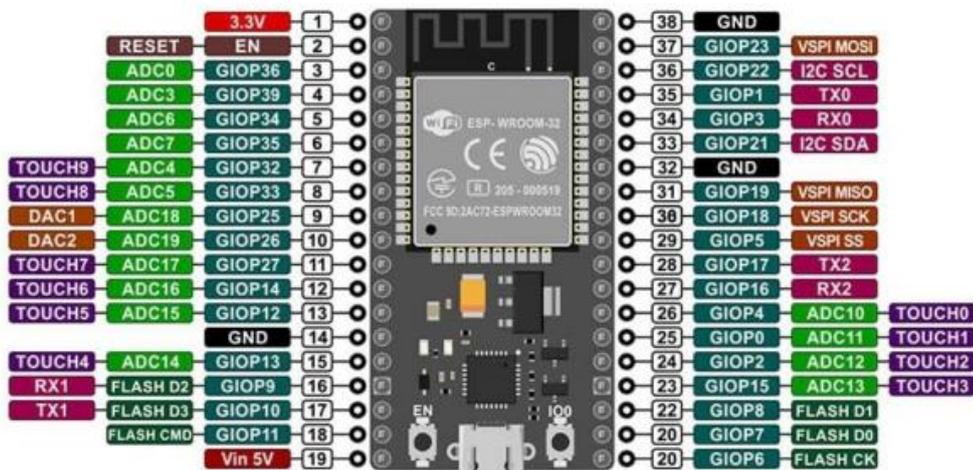
O microcontrolador é um dispositivo que reúne os meios necessários para o funcionamento de um *chip*, podendo conter periféricos que auxiliam na aplicação para qual foi destinado. Nesse trabalho foi usado o microcontrolador ESP32, que possui recursos de

comunicação *bluetooth* e *wireless*, podendo ser comercializado separado ou em placas com alguns componentes, como: reguladores de tensão, porta USB, diferentes números de portas de entrada e saída, sendo essas usadas para sensores e atuadores.

Dentre os diversos módulos, cabe ressaltar o NodeMCU, um dos mais completos e capaz de programar o *chip* por um ambiente Arduíno ou Lua. Contendo um regulador de tensão, o NodeMCU estabiliza a tensão em 3,3 volts, possui 36 pinos (GPIO) de entrada e saída e possibilita a transmissão de dados pela porta USB. Seu desenvolvimento tem como objetivo principal projetos relacionados a internet das coisas.

O ESP32 é dotado de recursos que possibilitam a economia de energia, entre eles, um módulo de hibernação que permite o desligamento do dispositivo com o objetivo de reduzir o consumo energético. Além disso, os pinos GPIO do ESP32 possuem uma precisão superior em comparação com os pinos de outros microcontroladores, permitindo a recepção de caracteres de 12 bits. Devido à sua ampla gama de funcionalidades, o ESP32 é uma escolha excelente para projetos de automação (Borge, 2019). A configuração detalhada do ESP32 pode ser visualizada na figura 1:

Figura 1 - Microcontrolador ESP32



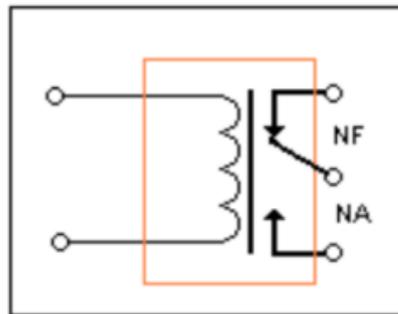
Fonte: Silva (2021).

2.2 Relés eletrônicos

O relé eletrônico é um atuador que tem por função chavear e isolar fisicamente dois circuitos, possuindo a capacidade de controlar a corrente elétrica (Borge, 2019). Ao receber um sinal elétrico em um dos lados do circuito, uma bobina é energizada gerando uma indução, que por sua vez chaveia o outro circuito (Borge, 2019). O relé possui dois terminais: um normalmente fechado (NF) e outro normalmente aberto (NA). O terminal normalmente fechado

sempre estará ativo, caso a bobina não esteja energizada, enquanto o terminal normalmente aberto estará desconectado, conforme apresentado na figura 2. A função básica do relé na automação é controlar a passagem de corrente para as cargas, tomadas e iluminação (Borge, 2019).

Figura 2 - Relé eletrônico



Fonte: Borges (2019).

2.3 Linguagem de programação

As linguagens de programação são maneiras de enviar instruções para um computador. Com elas um programador pode especificar, precisamente, quais dados um computador tratará e como esses dados serão armazenados e transmitidos, sendo capaz de especificar quais ações devem ser realizadas de acordo com as circunstâncias (Sartori; Molina; Lima, 2015).

Entre 1936 e 1945, o cientista alemão chamado Konrad Zuse construiu diversos computadores complexos utilizando relés eletromecânicos. Mas, em 1945, a guerra destruiu praticamente todos, restando apenas um modelo, chamado de Z4. Trabalhando sozinho, Zuse desenvolveu para seu computador a primeira linguagem de programação chamada Plankalkül. Sua linguagem era completa e possuía diversos recursos, entre eles estrutura de dados, matrizes e registros (Sartori; Molina; Lima, 2015).

Os computadores, com o passar dos anos, tornaram-se cada vez mais acessíveis, porém, suas memórias pequenas eram difíceis de programar, principalmente pelo fato de não existir *software* de apoio para tal. Sendo assim, as linguagens de programação foram surgindo com base em linguagens anteriores e algumas tiveram seu pioneirismo como FORTRAN, LISP, ALGOL-60, PASCAL, C, C++, EIFFEL, CEDAR/MESA e JAVA, dentre outras (Sartori; Molina; Lima, 2015).

2.4 Linguagem C

A linguagem de programação em C foi criada e implementada inicialmente por Dennis Ritchie em um computador DEC PDP-11, usando o sistema operacional UNIX. A linguagem em C é um subproduto de outra linguagem conhecida como BCPL, que ainda é usada em sua forma original em países da Europa (Sartori; Molina; Lima, 2015).

A linguagem BCPL foi desenvolvida por Martin Richards, que acabou resultando em outra linguagem chamada B, criada por Ken Thompson, e que resultou no desenvolvimento da linguagem C, no final da década de 1970. Essa linguagem possuía um código fonte altamente compatível, o que permitia ser compilado por outros 55 tipos de computadores. Porém, por não haver um padrão na época, existiam discrepâncias que foram corrigidas com a criação de um comitê pela ANSI (*American National Standards Institute*), em 1983, em que se estabeleceu um padrão para a linguagem em C (Sartori; Molina; Lima, 2015).

O C é considerada uma linguagem de médio nível, pois combina com elementos da linguagem Assembly, com elementos de alto nível e, ainda, elementos de níveis mais baixos que estabelece comunicação direta com o *hardware*. A linguagem em C foi criada para ter maior compactação, velocidade e legibilidade para os programadores criando, assim, bons hábitos na programação (Sartori; Molina; Lima, 2015).

2.5 Compiladores

Um computador não é capaz de entender a linguagem natural, mas uma forma de comunicação baseada em "zeros" e "uns", conhecida como linguagem de máquina. Para que o *hardware* possa compreender as instruções transmitidas pelo usuário, é necessário o uso de um compilador (Sartori; Molina; Lima, 2015).

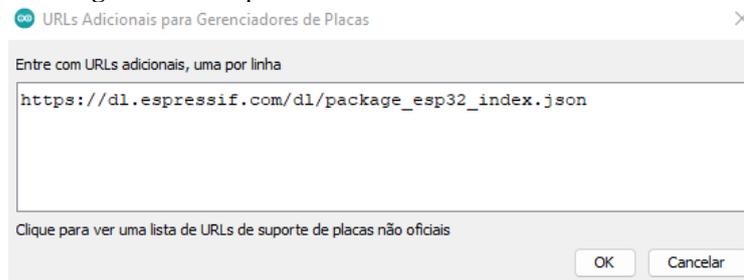
Os compiladores analisam a sintaxe das instruções de um programa e, caso não haja erros, convertem-nas em linguagem de máquina para que possam ser gravadas ou lidas pelo *hardware*. Esse processo é realizado linha por linha, sendo interrompido somente ao final da análise do código, ou quando um erro na lógica utilizada é identificado (Sartori; Molina; Lima, 2015).

Após a verificação, o compilador utiliza as bibliotecas da linguagem em questão e, com as instruções já traduzidas, gera um arquivo executável que pode ser utilizado pelo sistema operacional. No entanto, é importante ressaltar que, para a execução do programa, é fundamental que ele esteja livre de erros (Sartori; Molina; Lima, 2015).

2.6 Ambiente de desenvolvimento integrado e bibliotecas

Para gravação do código no ESP32 é necessário um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), responsável por converter e gravar o código no microcontrolador. O Arduino IDE é um *software* gratuito usado para programação em C e C++, capaz de compilar algoritmos para diversos tipos de microcontroladores, inclusive ESPs, PICs e Raspberrys (Silva, 2021). Por ser um modelo que, originalmente, não consta na lista de dispositivos do Arduino IDE, o ESP32 precisa de uma biblioteca específica para seu funcionamento correto. A instalação da biblioteca pode ser obtida por um *link* que leva ao repositório da empresa Espressif System (Borge, 2019).

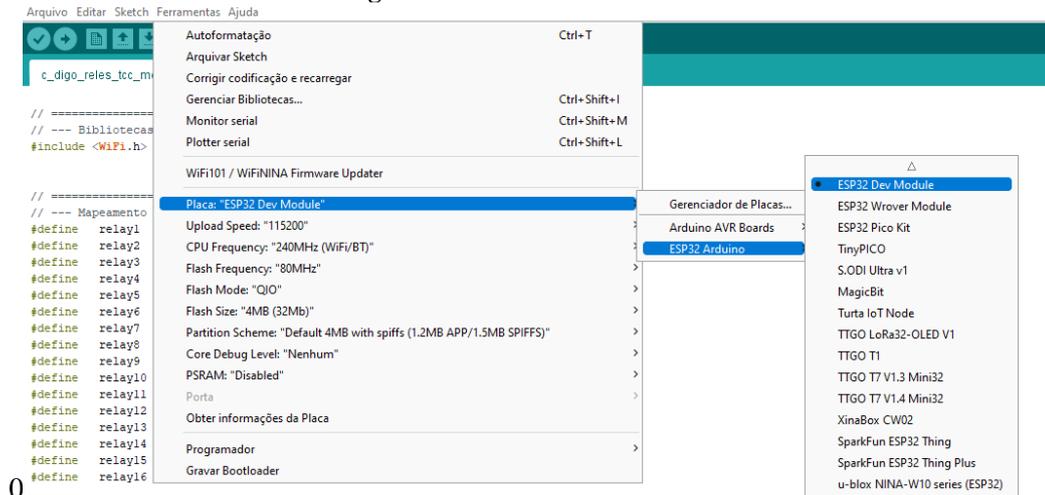
Figura 3 - Link para biblioteca do ESP32 no Arduino IDE



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Após a inserção do *link* no gerenciamento de placas do Arduino IDE, a biblioteca do ESP32 aparecerá disponível no menu “ferramentas”, sendo possível escolher o modelo do microcontrolador que o usuário possui.

Figura 4 - Biblioteca Arduino IDE

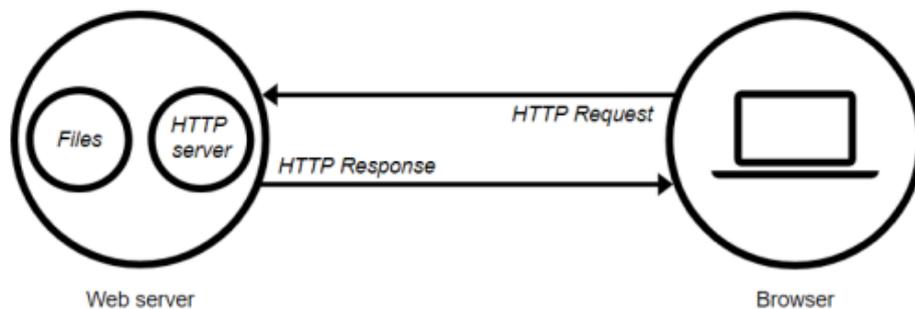


Fonte: elaborado pelos autores (2022).

2.7 Web Server

Segundo Silva (2021), um servidor é uma máquina que está continuamente ligada, funcionando sempre para o mesmo propósito. Existem diversos tipos de servidores, como servidores de arquivos, impressão, *Web*, entre outros. Um *Web Server*, também chamado de Servidor Web, é uma aplicação que processa e armazena informações e retorna esses dados como uma página *web*, podendo ser acessados, utilizando um domínio (DNS) por um navegador de internet. A comunicação entre o navegador e servidor é feita por meio de um protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), sendo necessário uma conexão com a internet (Silva, 2021).

Figura 5 - Comportamento de um Web Server



Fonte: Silva (2021).

A publicação de uma página web acontece por meio de um servidor estático ou dinâmico. Servidores estáticos são caracterizados por envios de arquivos sem alterações, enviados da maneira que foram criados e armazenados. Por sua vez, um servidor dinâmico atualiza os arquivos hospedados antes do seu envio ao navegador (Silva, 2021).

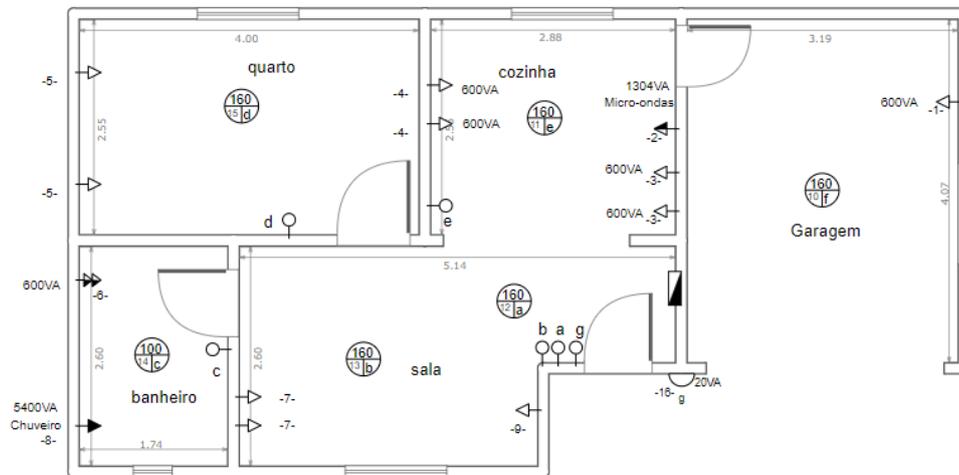
3 Metodologia

Com base na fundamentação teórica, identificou-se diversas formas de se fazer automação residencial. Nesse capítulo, serão propostas técnicas para implementar a domótica em uma residência, além de demonstrar as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. Esse, por sua vez, pode ser considerado como aplicado, pois propõe solucionar o alto custo com relação à automação residencial, partindo do princípio da eletrônica, o qual deduz que se pode automatizar uma residência com baixo custo (Borge, 2019).

3.1 Especificações da maquete

A fim de demonstrar um ambiente residencial, foi construído uma maquete contendo sala, quarto, cozinha, banheiro e garagem, ou seja, com diversos ambientes. Para representar os ambientes da residência, bem como o tamanho dessa, utilizou-se a seguinte planta baixa:

Figura 6 - Planta baixa da maquete modelo

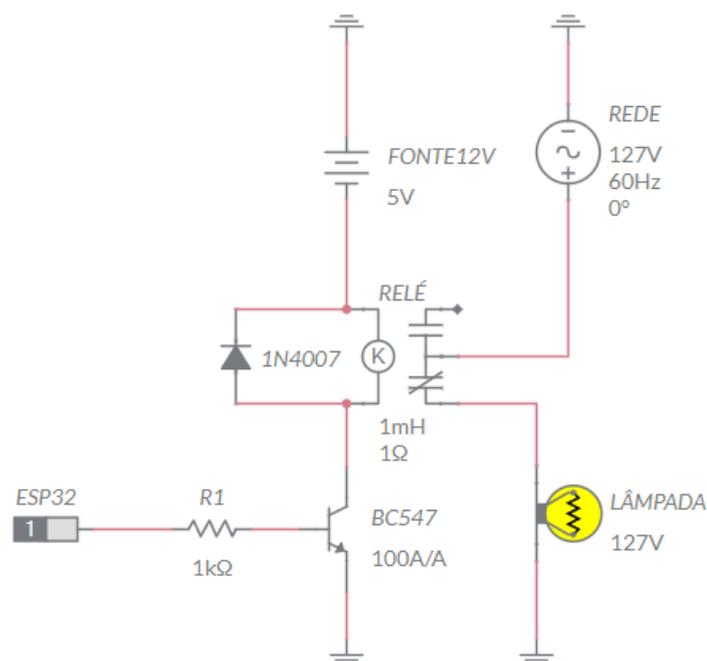


Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.2 Circuito elétrico e controle dos relés

O relé é um dos principais elementos para controle de cargas e equipamentos, permitindo a passagem de corrente quando acionado por um sinal elétrico. O microcontrolador ESP32 emite um sinal na sua GPIO de 3,3 volts, o qual não tem tensão ou corrente suficiente para ativar os relés de 12 V, que foi usado no projeto. Sendo assim, a alimentação desses foi feita por uma fonte externa de 12 V, e para isolar o sinal do microcontrolador da fonte foi utilizado um circuito com um transistor BC547, conforme apresentado na figura 2:

Figura 7 - Circuito de chaveamento dos relés



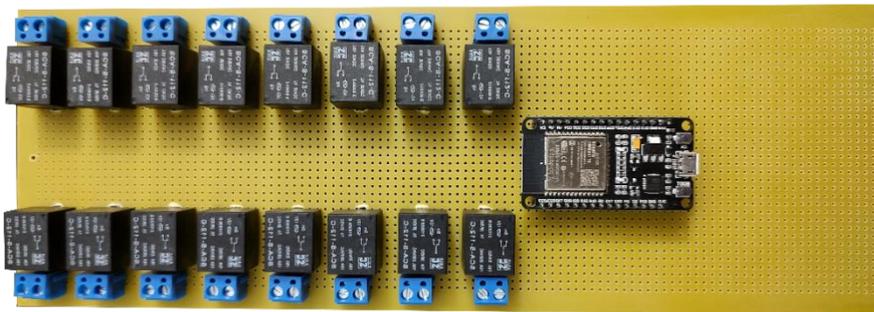
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O transistor recebe um sinal de nível lógico alto na sua base vindo do microcontrolador. Como esse está em série com o relé, ao ser ativado fecha-se o circuito de 12 V da fonte ligando o sistema. Um resistor de 1 K é utilizado entre a base do transistor e o microcontrolador para limitar a corrente, evitando a queima desse. Também foi utilizado um diodo 1N4007 em paralelo com o relé para evitar corrente de retorno, pois ao ser desligado pode gerar uma corrente inversa e causar danos ao ESP32 (Borge, 2019). O mesmo circuito foi repetido para os 16 relés.

3.3 Placa de circuito impresso

Para que o microcontrolador possa realizar os comandos aos relés, foi necessário agrupá-los em uma placa, de modo que o projeto tornasse compacto e evitasse o uso excessivo de fio e gerasse um aumento no custo com materiais. A placa escolhida para alocar os componentes eletrônicos foi uma placa de Fenolite Ihada de 30 centímetros de comprimento por 10 centímetros de largura. Por ser previamente perfurada, as placas de Fenolite acomodam de maneira fácil os componentes, necessitando apenas do uso de solda de estanho para fazer as trilhas.

Figura 8 - Placa de Fenolite e disposição dos componentes



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.4 Fonte de alimentação

Como dito anteriormente, o ESP32 funciona com tensão de 5 V e os relés com tensão de 12 V, sendo assim, ambos precisam de fontes independentes e que os isolem da rede residencial, principalmente o ESP32, que é responsável pelo controle da central, sendo um dos componentes mais caros do projeto e um dos mais sensíveis a variação de energia.

Para alimentar o circuito da central foi utilizado duas fontes chaveadas, uma de 5 V e corrente de 1 A para o ESP32 e outra de 12 V e corrente de 2 A para os 16 relés. As fontes são

facilmente encontradas no mercado e já vêm encapsuladas, então, para facilitar a disposição delas na placa PCB, foi retirado o encapsulamento e reorganizadas em um estojo de plástico maior, já com o devido circuito montado. Ambas as placas então em paralelo e recebem a mesma tensão proveniente da rede, e para que todo o circuito esteja equilibrado, utilizou-se o mesmo “ground” de saída para ambas as fontes. O fato de as fontes terem o mesmo “ground” na saída é um fator importante, pois o circuito não funcionará se todos os componentes não tiverem a mesma referência.

Figura 9 - Alocação dos componentes de alimentação

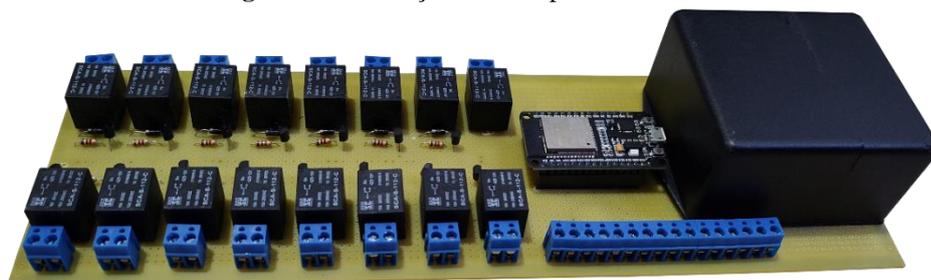


Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.5 Alocação de componentes e trilhas

O modelo de placa de Fenolite utilizado tem um tamanho de 30 centímetros de comprimento por 10 centímetros de largura, proporcionando um espaço bom para os componentes, permitindo compactação e um visual estético mais interessante, como mostrado na figura 8:

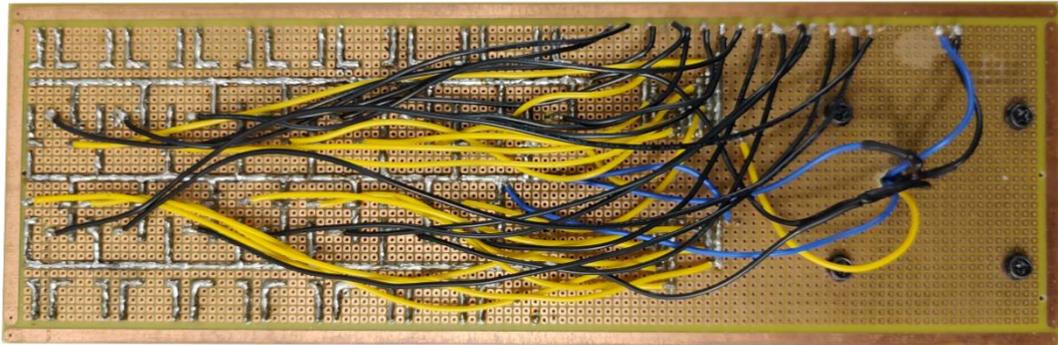
Figura 10 - Alocação dos componentes na PCB



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

As conexões dos componentes foram feitas por trilhas e cabos, como mostrado na figura 9:

Figura 11 - Conexão dos componentes



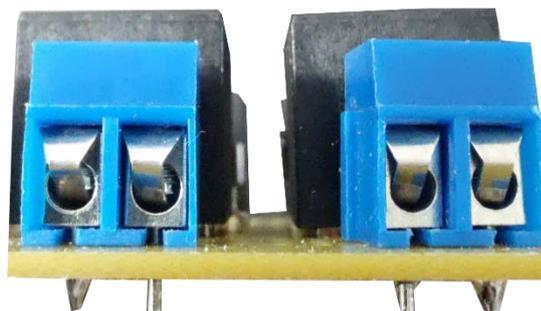
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Os cabos pretos são as entradas de rede e são controlados pelos relés, são eles os responsáveis por levar energia para os periféricos (lâmpadas, tomadas e cargas). Junto deles estão as saídas positivas das fontes que também foram colocadas na coloração preta. Já os cabos amarelos são conexões da GPIO do ESP32, os quais conectam o microcontrolador ao circuito de chaveamento. Cabos azuis são conexões de “ground” de saída das fontes, ambos então ligados um com os outros.

3.6 Conectores de entrada

Os conectores são componentes que ligam uma ou mais partes do circuito que necessitam de sinal. Nesse projeto, foram utilizados conectores de caixa, Modelo KF-301, facilmente encontrados no mercado. São 16 conectores que recebem a entrada de rede e distribui para os relés e 16 conectores que são responsáveis pela saída dos relés. Existe também um conector que faz a ligação da fonte do projeto a rede residencial.

Figura 12 - Conexão dos componentes



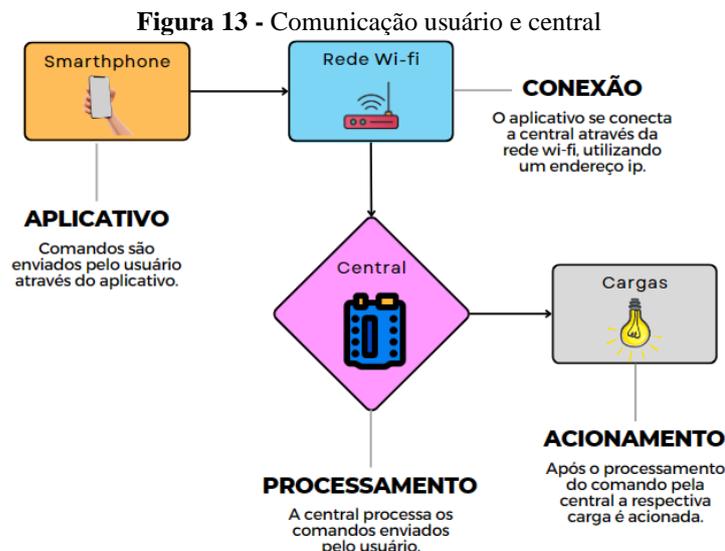
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.7 Interface do usuário

A página web é responsável por receber todos os comandos dados ao ESP32. Quando carregada é possível ver os *links* gerados dando acesso as GPIO's que vão ser ligadas ou desligadas. Existe um *link* para ligar a GPIO e outro para desligar. Para gerar esses acessos, a página envia um comando *GET* para o servidor do ESP32 e carrega a página correspondente, por meio desse comando *GET* o usuário determina qual porta será acionada (Oliveira, 2017).

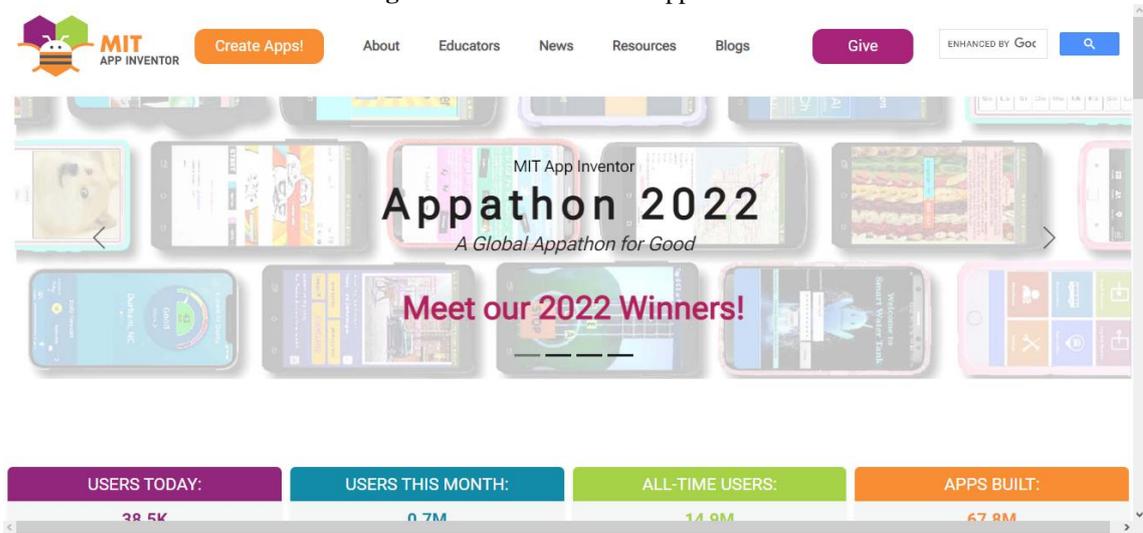
Para facilitar a interação entre o dispositivo e o usuário, um aplicativo de *smartphone* foi desenvolvido. Criado no site do *M.I.T App Inventor*, uma plataforma do *Massachusetts Institute of Technology* (Instituto de tecnologia de Massachusetts), que permite criar aplicativos para *smartphones* totalmente funcionais. A plataforma trabalha com programação em bloco, podendo ser acessada gratuitamente por qualquer pessoa. O site da plataforma pode ser observado na figura 14.

A aplicação acessa a página Web gerada pelo microcontrolador como se fosse um navegador de internet. Quando um botão é pressionado no aplicativo, um navegador, que está rodando em segundo plano, acessa um *link* correspondente no servidor do ESP32, ativando ou desativando a porta relacionada. Um comando de voz também foi inserido no aplicativo, assim, quando o botão de voz é pressionado, é possível chamar o “assistente de voz do Google” e enviar comandos previamente estabelecidos. Esses comandos funcionam como se fossem um clique de botão e acessam os mesmos endereços que fazem o sistema funcionar. A comunicação entre o usuário e a central pode ser observada na figura 13:



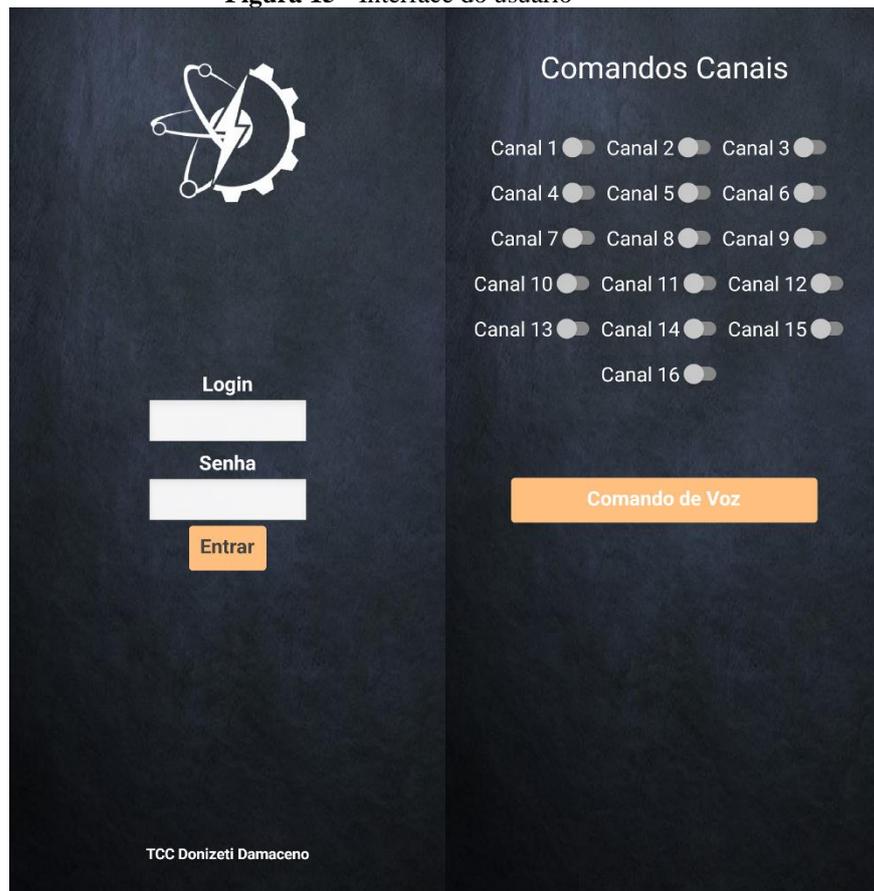
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Figura 14 - Site do M.I.T App inventor



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Figura 15 - Interface do usuário



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.8 Materiais e custos

Uma das principais propostas do projeto é ter um valor acessível para qualquer pessoa que deseje replicá-lo em sua residência. Para tal, foi feito o levantamento dos materiais e de seus respectivos valores, apresentados na tabela abaixo:

Tabela 1 – Levantamento de materiais e valores

Quantidade	Material	Valor Unitário
1	ESP32	R\$ 36,00
1	Placa de Fenolite 10 x 30 cm	R\$ 29,00
16	Resistores 1 4 W 1K Ohms	R\$ 0,20
16	Transistor BC547	R\$ 0,25
16	Diodos 1N4007 1A 800 V	R\$ 0,15
1	Fonte Chaveada 12 V 2 A	R\$ 29,16
1	Fonte Chaveada 5 V 1A	R\$ 24,00
16	Relés 12 V 10 ^a 250 VAC	R\$ 5,22
32	Borne KRE2 KF300	R\$ 1,30
1	Caixa Patola PB107	R\$ 8,90
Valor Total:		R\$ 261,78

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Sendo assim, para automatizar a maquete residencial do projeto, controlando 6 lâmpadas, obteve-se um valor de R\$ 261,78.

3.9 Consumo de energia

Segundo Paula, 2013, a energia de um sistema pode ser definida como seu potencial em realizar trabalho. A energia elétrica é uma forma de energia dentro de um sistema, a qual corresponde de um potencial (Volts) por uma corrente elétrica (Amperes) pelo tempo que ela é fornecida. Energia elétrica ativa é aquela capaz de ser convertida em outras formas de energia e é expressa em quilowatts-hora (kWh).

Foi utilizado um multímetro, em modo de leitura de corrente, conectado em série com a central de automação para medir o consumo de energia. Com todos os relés desligados, a corrente registrada foi de 0,10 A, enquanto com todos os relés ligados, o consumo total de corrente foi de 0,94 A, conforme indicado nas figuras 15 e 16. No entanto, vale ressaltar que, durante os testes, não foi possível obter todos os dados completos devido ao mau funcionamento de três relés.

Figura 16 – Corrente com todos os relés desligados



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Figura 17 - Corrente relés ligados



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

O consumo em Watts/hora pode ser alcançado da seguinte forma: potência em Watts/1000 = total em kWh. O valor do kWh no estado do Paraná, segundo a Companhia Paranaense de Energia – COPEL, é de R\$ 0,80. Esse dado é facilmente obtido na fatura da companhia. Assim, a potência é a grandeza física com relação entre a corrente e a tensão (Paula, 2013), podendo ser obtida conforme a equação 1:

$$(1) \quad P = V.I$$

Substituindo os valores na equação 1, obtém-se:

$$P = 127 * 0,94$$

$$P = 119,38 \text{ W}$$

Ou seja, a potência da central é de 119,38 W. Para obter o valor em kWh, divide-se a potência por 1000 e multiplica-se pelo valor de custo da companhia de energia, dessa forma obtém-se:

$$\frac{119,98}{1000} * 0,80 = 0,095$$

O custo por hora de funcionamento da central é de R\$ 0,095 centavos. Para obter o custo mensal, multiplica-se pela quantidade de horas no dia e pela quantidade de dias no mês. Levando em consideração que o mês tenha 30 dias, o custo total será de:

$$0,095 * 24 * 30 = 68,78$$

Pode-se observar que o custo de operação aproximado da central é de aproximadamente R\$ 68,76 por mês.

3.10 Consumo central com carga

A central conta com 16 canais de entrada de energia, cada um controlado por um relé que suporta tensões de até 250 V e correntes de 10 A, o que permite conectar qualquer equipamento ou fonte dentro desses parâmetros. Para o experimento em questão, esses 16 canais foram conectados à mesma fonte, possibilitando a medição da corrente da central com as cargas, como ilustrado na figura 18:

Figura 18 – Corrente da central com as cargas



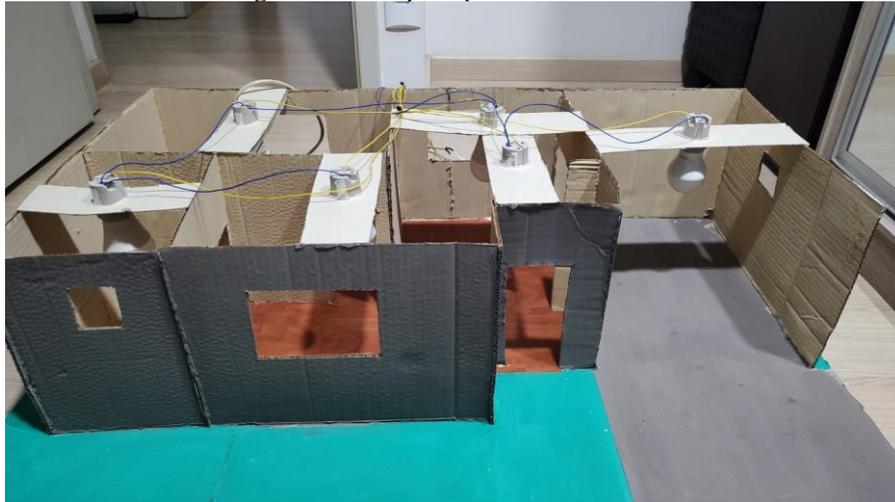
Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Segundo o fabricante, as lâmpadas LEDs utilizadas no experimento consomem uma corrente de 0,75 A. Foram utilizadas 6 lâmpadas na maquete e a soma de corrente delas ligadas ao mesmo tempo é de aproximadamente 4,5 A, muito próximo dos valores medidos.

3.11 Construção da maquete

Para avaliar os resultados, construiu-se uma maquete 100 vezes menor do que a planta baixa da figura 6, seguindo os parâmetros para obter um bom resultado. A maquete foi feita de papelão e conta com 6 lâmpadas LEDs como periféricos, conforme mostrado na figura 18. Nessa representação, os cabos amarelos representam as fases e os cabos azuis, os neutros. Como mencionado anteriormente, os canais de entrada de tensão estão conectados à mesma fonte, o que significa que o neutro é compartilhado por todas as lâmpadas, enquanto as fases, que estão em paralelo, são controladas pela central.

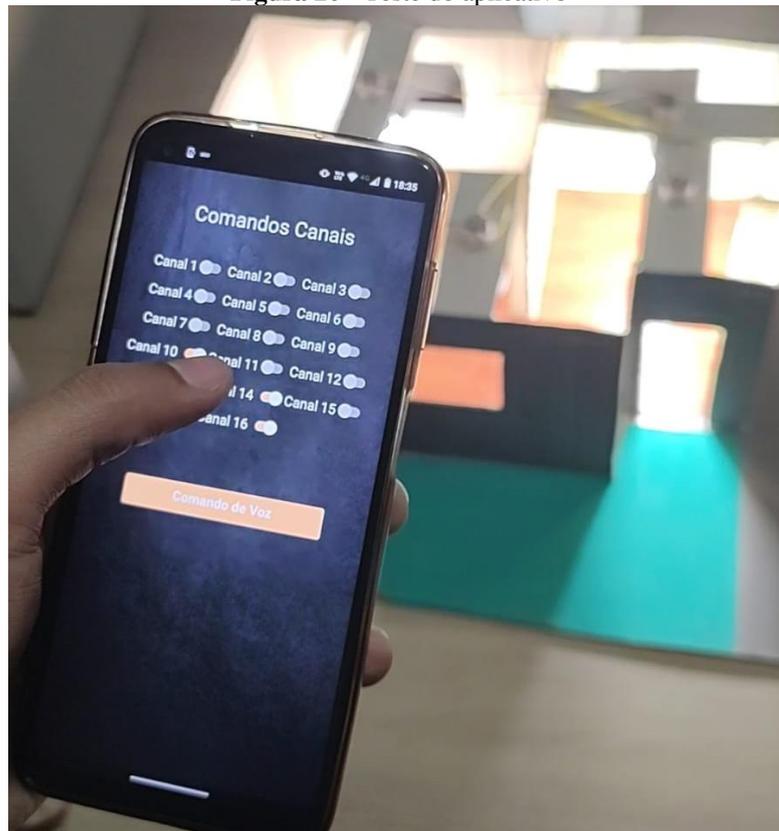
Figura 19 - Maquete para teste final



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

A central respondeu bem aos comandos do aplicativo, tanto os comandos nos botões quanto os comandos de voz. Como apresentado na figura 19:

Figura 20 - Teste do aplicativo

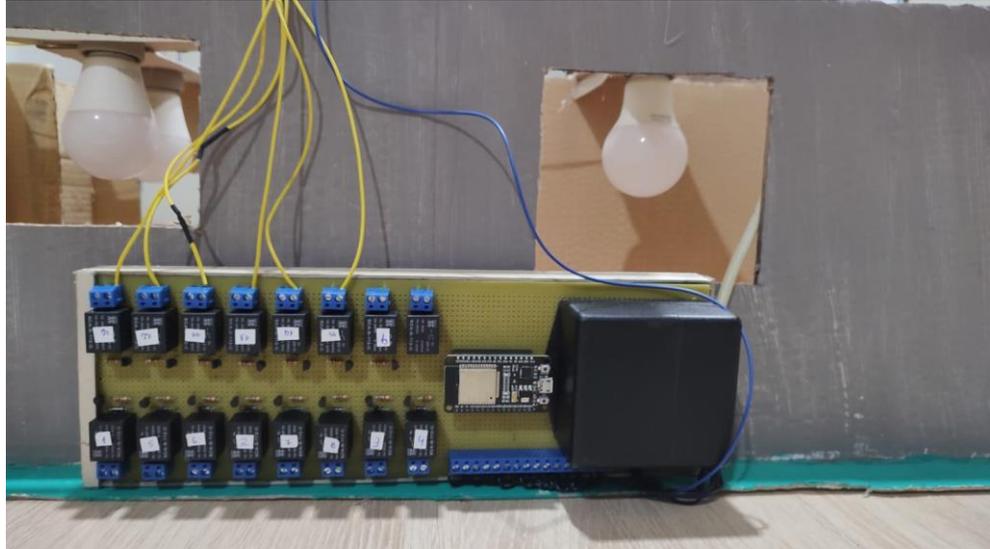


Fonte: elaborado pelos autores (2023).

A central possui uma entrada de fase para cada relé, mas durante o teste, todas as entradas foram conectadas em paralelo. Cada relé controla a saída de uma lâmpada, agindo como um interruptor para a respectiva lâmpada. O neutro do circuito é compartilhado entre

todas as lâmpadas e conectado em paralelo. Embora seja semelhante a um circuito residencial com interruptor, a diferença é que, na central, o relé desempenha esse papel. Isso pode ser observado nas figuras 20 e 21.

Figura 21 - Conexão dos cabos da central



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Figura 22 - Circuito lâmpadas



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

4 Resultado e discussões

Plataformas de origem *Open Source* são excelentes para criação de projetos e novas tecnologias. A Arduíno IDE possibilita a construção de uma vasta gama de algoritmos para diversas aplicações, de modo que essa diversidade pode ser facilmente explorada por qualquer entusiasta em tecnologia com conhecimento prévio em programação.

No que tange à perspectiva social do trabalho, o ESP32 é uma excelente opção para projetos de automação, pois atende a proposta de ser um microcontrolador barato e acessível, ideal para várias finalidades. Verificou-se que a solução adotada possui um custo de mercado menor se comparado a outros produtos similares, com um valor de produção de R\$ 261,78. Com relação ao gasto energético, o projeto apresenta impacto mínimo na fatura de energia do usuário, tendo impacto considerável somente se seu funcionamento for de 24h por dia, nessa situação o custo seria de R\$ 68,76 por mês.

Em trabalhos futuros, espera-se desenvolver uma melhor interface gráfica, melhorando as formas de comunicação com o usuário, que apesar de ser interativa, não apresenta muitas funções de configurações. Pretende-se também adicionar mais componentes e sensores para serem controlados, como o sensor LDR e sensores de presença. Essas melhorias visam tornar o sistema ainda mais completo e acessível.

5 Considerações finais

A automação residencial ainda é uma novidade no país, mas o mercado está crescendo cada vez mais, tornando-se mais popular em residências de todo o mundo. Essas tecnologias permitem que as pessoas controlem diversos aspectos de suas casas com o simples toque de um botão, ou por meio de comandos de voz, melhorando a eficiência energética, a segurança e a comodidade dos moradores.

Ao longo desse artigo, foi possível explorar as principais funcionalidades de uma central de automação residencial, bem como seus benefícios para o dia a dia dos usuários. Verificou-se que, além de permitir o controle remoto de dispositivos eletrônicos, como iluminação, ar-condicionado e televisores, essas centrais também podem ser programadas para agir de forma autônoma, garantindo economia de energia e maior segurança. Por fim, conclui-se que, apesar dos desafios, as centrais de automação residencial são uma tendência crescente e uma excelente opção para quem busca mais praticidade, eficiência e segurança em sua casa.

Referências

BORGES, E. A. O. **Sistema de automação residencial utilizando a tecnologia ESP32 como alternativa de baixo custo**. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) — Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí, 2019. Disponível em: <https://repositorio.bambui.ifmg.edu.br/index.php/ec/article/download/77/70>. Acesso em: 22 out. 2022.

MURATORI, J. R.; BÓ, P. H. D. **Automação residencial: Histórico, definições e conceitos.** São Paulo: Educere, 2016.

OLIVEIRA, R. R. **Uso do microcontrolador ESP8266 para automação residencial.** 2017. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019583.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

PAULA, G. J. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto.** 2013. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) — Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/3857>. Acesso em: 22 out. 2022.

SARTORI, G.; MOLINA, L. A.; LIMA, W. C. G. **Desenvolvimento de um sistema microcontrolado de baixo custo utilizando smartphone para aplicações de automação residencial.** 2015. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9868/2/CT_COELE_2014_2_09.pdf. Acesso em: 22 out. 2022.

SILVA, S. R. C. **Sistema de monitoramento e controle de energia utilizando o microcontrolador ESP32.** 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29084/4/monitoramentocontroleenergiamicrocontrolador.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.