

CONTROLE INTELIGENTE DA ILUMINAÇÃO, COMO RECURSO DA DOMÓTICA, PARA PROMOVER ACESSIBILIDADE DAS PESSOAS COM ALGUMA DEFICIÊNCIA DE LOCOMOÇÃO EM AMBIENTES RESIDENCIAIS.

Alexandre Alves¹, Ênio José Peruchi²

Resumo: O avanço da internet e a popularização dos *smartphones* têm favorecido a automação residencial, antes restrita a ambientes industriais ou residências de alto padrão. Nesse contexto, este estudo apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de iluminação baseado em ESP32, com interface acessível em dispositivos móveis. A solução foi elaborada para diminuir a necessidade de deslocamentos físicos, ampliando a autonomia de pessoas com dificuldades de locomoção e aumentando a segurança no ambiente doméstico. Os resultados obtidos com o protótipo evidenciam a viabilidade técnica e o baixo custo da proposta, demonstrando que a combinação entre domótica e acessibilidade pode promover eficiência energética e inclusão social.

Palavras-chave: domótica, automação residencial, acessibilidade, ESP32, controle de iluminação, internet das coisas (IoT).

ABSTRACT: The advancement of the internet and the popularization of smartphones have favored home automation, which was previously restricted to industrial settings or high-end residences. In this context, this study presents the development of a lighting control system based on ESP32, with an accessible interface on mobile devices. The solution was designed to reduce the need for physical movements, enhancing the autonomy of people with mobility difficulties and increasing safety in the home environment. The results obtained with the prototype highlight the technical feasibility and low cost of the proposal, demonstrating that the combination of home automation and accessibility can promote energy efficiency and social inclusion.

Keywords: home automation, residential automation, accessibility, ESP32, smart lighting control, Internet of Things (IoT).

¹Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), alexandrevc4@gmail.com

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

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia está mudando rapidamente a maneira como interagimos com o mundo ao nosso redor, trazendo inovações e mais comodidade em diversos aspectos da nossa vida. Atualmente, mais de 80% das residências no Brasil possuem acesso à internet (Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (NIC.br), 2023), sendo que esse crescimento vem acompanhado da expansão de novas tecnologias de conectividade, como a fibra óptica, que alcança cada vez mais regiões, oferecendo conexões de alta qualidade a preços acessíveis, superando as limitações de tecnologias anteriores, como a ADSL, e aproximadamente 167,77 milhões de pessoas com 10 anos ou mais utilizam dispositivos móveis (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023). Esses dispositivos estão em alta, devido a modelos mais acessíveis de baixo custo, e por sua gama de aplicações. Com a popularização da internet, dos dispositivos móveis e da automação, que antes era voltada apenas para a indústria, surge o termo Domótica, termo originado da palavra latina *domus* (casa) e da robótica.

A domótica visa facilitar as tarefas domésticas, proporcionar o bem-estar das pessoas, eficiência energética e maior autonomia no dia a dia (Alves Rafael Florian, 2022). O problema que conduz este estudo diz respeito às dificuldades enfrentadas por indivíduos com deficiência de locomoção em tarefas simples, como acender luzes ou usar aparelhos domésticos. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), aproximadamente 45,6 milhões de brasileiros afirmaram ter algum tipo de deficiência, sendo 23,9% da população brasileira. Deste total, 13,2 milhões (7%) declaram ter mobilidade reduzida, sendo a segunda deficiência mais relatada pela população brasileira.

Segundo o decreto de nº 5.296 (2004, p.2), a deficiência física é caracterizada por uma alteração total ou parcial, em um ou mais segmentos do corpo humano, resultando no comprometimento de sua função. A hipótese proposta é que a integração da domótica, especificamente no controle de iluminação, pode aumentar a acessibilidade, diminuir os riscos de acidentes e melhorar a qualidade de vida dessas pessoas.

O objetivo principal desta pesquisa é desenvolver e testar um sistema de controle de iluminação, utilizando microcontroladores de baixo custo, que pode ser acessado por meio de uma interface móvel. Para atingir esse objetivo, pretende-se analisar as demandas de pessoas com deficiência em contextos residenciais, apresentar as tecnologias mais recentes

voltadas à automação, desenvolver um protótipo funcional para controle de iluminação e, por último, avaliar os efeitos desse protótipo na autonomia, segurança e eficiência energética.

A razão para a realização deste trabalho reside na importância social e tecnológica da automação residencial. Segundo o ponto de vista técnico, os sistemas de domótica possibilitam a combinação de sensores, atuadores e controladores utilizando protocolos como Zigbee, Z-Wave, KNX e MQTT, que garantem confiabilidade, interoperabilidade e eficiência energética (Medeiros, 2020; Somerlate et al., 2023). O uso de microcontroladores como Arduino e ESP32, que são amplamente acessíveis e de fácil programação, possibilita a realização de projetos econômicos com conectividade por meio de Wi-Fi e Bluetooth, tornando sua implementação mais simples (Cardozo; Ferreira, 2023; Kato, 2024). No âmbito social, a automação ajuda a diminuir obstáculos físicos, favorecendo a inclusão, a autonomia e a dignidade das pessoas com mobilidade reduzida (Sampaio; Vinícius, 2022).

A fundamentação teórica mostra que a eficiência energética é uma vantagem significativa da automação, pois sistemas inteligentes possibilitam o acompanhamento e a otimização do consumo (Duarte, 2021; Meneses et al., 2021). Ademais, pesquisas indicam que a aplicação de domótica voltada à acessibilidade pode tanto aumentar a autonomia dos usuários quanto diminuir o isolamento social, fortalecendo a autoestima e promovendo a interação familiar (Vigouroux et al., 2022). Trabalhos relacionados, como os de Harper (2003), Silva e Lima (2023), Feitosa (2022), ressaltam que, apesar dos avanços consideráveis, muitos sistemas ainda necessitam de validação prática em ambientes residenciais, além de apresentarem interfaces que não atendem de forma adequada às necessidades dos usuários.

Nesse cenário, este estudo apresenta um protótipo funcional de controle de iluminação que integra baixo custo, facilidade de uso e relevância social. O projeto busca promover a convergência entre tecnologia e inclusão, evidenciando o potencial da automação residencial acessível como instrumento de transformação social. Além de contribuir para a autonomia e segurança de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, a proposta reafirma o papel da engenharia e da computação como áreas essenciais na promoção da acessibilidade tecnológica. O sistema desenvolvido demonstra que soluções tecnológicas de baixo custo podem ser efetivas e escaláveis, oferecendo resultados concretos em contextos reais

de aplicação. Assim, este trabalho não apenas valida a viabilidade técnica da domótica assistiva, mas também ressalta sua importância como vetor de equidade social, sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto proposto foi implementado utilizando como unidade central de processamento o microcontrolador ESP32, que é um microcontrolador de baixo custo e alto desempenho desenvolvido pela Espressif Systems, amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua integração de Wi-Fi (802.11 b/g/n) e *Bluetooth (Classic e BLE)*, além de recursos periféricos avançados. Baseado em núcleos Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits, o ESP32 opera em frequências de até 240 MHz, oferecendo desempenho computacional robusto com consumo energético otimizado. O chip integra memória flash externa (via SPI), até 520 KB de SRAM, conversores analógico-digitais (ADCs) de 12 bits, interfaces de comunicação (UART, I²C, SPI, I²S, CAN), PWM, sensor de toque capacitivo e até mesmo um co-processador ULP (Ultra Low Power) para operações em modo de baixo consumo (Systems, 2024).

Sua arquitetura dual-core permite a execução simultânea de tarefas críticas e de comunicação, sendo ideal para aplicações embarcadas complexas. O suporte a múltiplos frameworks de desenvolvimento (como ESP-IDF, Arduino, MicroPython) facilita a prototipagem rápida e a portabilidade de código.

A placa de relés utilizada para o controle das cargas do sistema. Trata-se de um módulo composto por oito relés eletromecânicos independentes. Cada relé funciona como um interruptor controlado eletronicamente, permitindo a comutação de circuitos de corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC) a partir de sinais de baixa tensão enviados pelo microcontrolador Esp32. O módulo é projetado para operar com sinais de controle em nível lógico de 3,3 V ou 5 V, isolando eletricamente a parte de potência da parte de comando por meio de optoacopladores, garantindo maior segurança ao sistema. Os contatos de cada relé suportam correntes de até 10 A em 250 V (CA) ou 30 V (CC), possibilitando o acionamento de lâmpadas, sirenes e outros dispositivos residenciais de baixa e média potência. No projeto, seis dos oito relés foram utilizados para o controle da iluminação dos diferentes cômodos da residência, enquanto um relé adicional foi destinado ao acionamento de um alerta sonoro e luminoso, a fim de indicar situações de emergência, como vazamentos de gás detectados

pelo sensor. O oitavo relé permaneceu disponível para futuras expansões do sistema.

Para a alimentação dos dispositivos do sistema, foi utilizada uma fonte de 5 Vcc, responsável por fornecer energia ao microcontrolador ESP32, ao módulo de relés, ao sensor de gás MQ-05 e ao sensor de temperatura e umidade DHT22. A escolha de uma fonte única visou simplificar o circuito e garantir a estabilidade da tensão de operação, assegurando o correto funcionamento dos componentes conectados.

O sensor DHT22, é um dispositivo digital utilizado para a medição de temperatura e umidade relativa do ar, amplamente empregado em aplicações de automação residencial e monitoramento ambiental devido ao seu baixo custo e boa precisão. O componente é baseado em um termistor de resistência variável para a medição da temperatura e em um sensor capacitivo para a detecção da umidade. As informações coletadas são processadas por um microcontrolador interno e transmitidas em formato digital por meio de um único pino de comunicação, tendo mais dois pinos para alimentação 5V, o que simplifica sua integração com sistemas embarcados, como o ESP32.

Em termos de desempenho, o DHT22 apresenta faixa de medição de umidade relativa entre 0 e 100%, com precisão de ± 2 a 5%, e faixa de temperatura entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, com precisão de aproximadamente $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Essas características o tornam adequado para o monitoramento das condições ambientais em ambientes residenciais, permitindo tanto o controle automático de cargas quanto a coleta de dados para análise. No presente trabalho, o sensor foi empregado para fornecer informações de temperatura e umidade do ambiente, integrando-se ao sistema domótico proposto.

O sensor MQ-5, é um dispositivo semicondutor destinado à detecção de gases combustíveis, sendo particularmente sensível ao gás liquefeito de petróleo (GLP), ao metano e ao hidrogênio. Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica de um material sensível (dióxido de estanho) quando exposto a determinados gases. Na presença de concentrações elevadas de gases inflamáveis, a resistência do material diminui, o que permite a geração de um sinal elétrico proporcional à concentração detectada.

O MQ-5 opera com tensão de alimentação de 5 V e fornece saída analógica e digital, possibilitando tanto medições aproximadas da concentração de gás (ppm) quanto a detecção de níveis configurados por meio de

um comparador interno. Por essas características, o sensor é amplamente utilizado em sistemas de monitoramento ambiental e segurança residencial. No presente trabalho, o MQ-5 foi empregado para a detecção de vazamentos de gás no ambiente doméstico, sendo integrado ao microcontrolador ESP32 e ao sistema de alerta sonoro e luminoso acionado pelo módulo de relés.

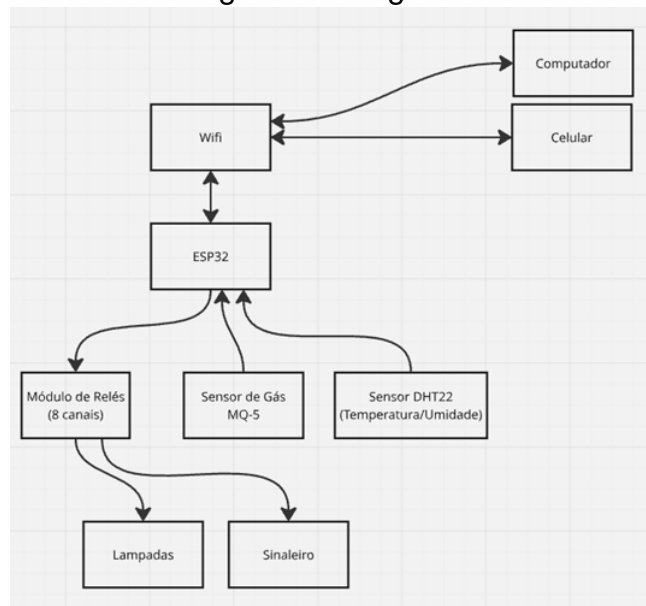
Para a sinalização visual em situações de risco, foi empregado um sinaleiro luminoso de 220V na cor vermelha. O dispositivo foi configurado para ser acionado automaticamente quando o sensor de gás MQ-5 detectar concentração superior a 1.000 ppm no ambiente. A escolha da cor vermelha se justifica por seu caráter universal de alerta, facilitando a identificação imediata da condição de perigo. O acionamento do sinaleiro foi realizado por meio de um dos canais do módulo de relés, garantindo o isolamento elétrico entre o microcontrolador e a carga de alta tensão. Dessa forma, o sistema proporciona um recurso adicional de segurança, emitindo aviso visual complementar ao alerta sonoro, visando aumentar a eficiência da notificação ao usuário.

Na Figura 1 é apresentado o diagrama de funcionamento do sistema de automação residencial. O microcontrolador ESP32 atua como unidade central de controle, recebendo os sinais provenientes dos sensores de gás (MQ-5) e de temperatura e umidade (DHT22), e enviando comandos de acionamento às lâmpadas e ao sinaleiro por meio do módulo de relés de oito canais. A interface web foi configurada para ser acessada por dispositivos conectados à mesma rede Wi-Fi, permitindo o acionamento remoto dos dispositivos e a leitura das variáveis monitoradas. Essa estrutura foi adotada com o objetivo de possibilitar a integração entre os módulos de hardware e o software embarcado de forma simples e funcional.

Para o desenvolvimento do programa que controla o sistema doméstico, foi utilizada a Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), versão 2.3.6. Essa plataforma foi escolhida por sua ampla compatibilidade com microcontroladores como o ESP32, pela facilidade de integração com bibliotecas específicas como WiFi.h e DHT.h, e por oferecer um ambiente unificado para escrita, compilação e *upload* do código. O código-fonte desenvolvido implementa as seguintes funcionalidades principais.

Mapeamento e controle das cargas, definição dos pinos digitais para os relés responsáveis pela iluminação, além do relé destinado ao acionamento da sirene de alerta. Monitoramento de segurança, leitura contínua do sensor MQ-5 para detectar concentrações de gás no ambiente. Quando

Figura 1 - Diagrama.



Fonte: Do autor

o valor ultrapassa o limite de 1000 ppm, o sistema aciona automaticamente a sirene e envia um aviso visual pela interface web. Monitoramento de temperatura e umidade, utilização do sensor DHT22 para leitura de temperatura e umidade relativa, com atualização dos valores. Conectividade, conexão do ESP32 a uma rede Wi-Fi local e inicialização de um servidor web embarcado.

Interface de usuário, geração dinâmica de páginas HTML, permitindo ao usuário interagir com o sistema por meio de botões para ligar e desligar cada lâmpada individualmente, acionar todas simultaneamente, verificar o status de gás no ambiente e acompanhar as medições de temperatura e umidade em tempo real.

Esse conjunto de rotinas possibilitou a integração entre *hardware* e *software*, assegurando que o sistema seja capaz de realizar tanto o controle remoto da iluminação quanto o monitoramento de temperatura e de segurança da residência.

A interface web desenvolvida para o projeto foi projetada com foco em acessibilidade, simplicidade e responsividade, permitindo que o usuário controle todo o sistema diretamente de um navegador, seja em computadores ou dispositivos móveis.

Conforme ilustrado na Figura 2, a interface apresenta os seguintes recursos principais. Controle individual de iluminação, cada ambiente da residência (Quarto 1, Quarto 2, Banheiro, Sala, Cozinha e Área Externa) possui um botão específico de ligar/desligar. O estado atual da lâmpada é

exibido visualmente por meio de ícones e por cores nos botões, verde para ligar, vermelho para desligar. Controle geral de iluminação, botões adicionais permitem ligar todas ou desligar todas as lâmpadas simultaneamente, facilitando a operação em situações de entrada ou saída da residência.

Figura 2 - Interface WEB.



Fonte: Do autor

Monitoramento da qualidade do ar, o sistema exibe o status do ambiente conforme as leituras do sensor de gás MQ-5. Quando o ambiente está seguro, o status é indicado por um círculo verde acompanhado da mensagem "Ambiente Seguro". Caso haja concentração perigosa de gás, a interface muda para alerta. Monitoramento climático, o sensor DHT22 fornece em tempo real os valores de temperatura (°C) e umidade relativa (%), apresentados com ícones intuitivos de termômetro e gota d'água, facilitando a compreensão dos dados.

Design acessível e responsivo, a interface foi projetada para ser simples, clara e inclusiva, com foco em acessibilidade para pessoas com deficiência motora ou mobilidade reduzida. Cada botão identifica claramente o cômodo correspondente (Quarto, Sala, Banheiro, Cozinha e Área Externa) e apresenta ícones e cores contrastantes que indicam o estado atual da iluminação, verde para desligada e vermelho para ligada, acom-

panhado da palavra ligada ou desligada, conforme o status da lâmpada no momento, tendo a real situação da lâmpada. Os elementos são grandes e bem espaçados, facilitando o toque em telas sensíveis. O *layout* responsivo adapta-se automaticamente a diferentes tamanhos de tela, mantendo boa legibilidade e usabilidade tanto em dispositivos móveis quanto em computadores.

Além disso, a interface foi inicialmente projetada para funcionar como um *Progressive Web App* (PWA), permitindo instalação em *smartphones* e oferecendo uma experiência semelhante à de um aplicativo nativo. No entanto, para que os recursos de instalação e atualização automática sejam habilitados, é necessário o uso do protocolo HTTPS, o que não foi possível implementar neste projeto por se tratar de um servidor web embarcado no próprio ESP32, sem certificado digital. Assim, a interface foi mantida em modo web convencional, acessada diretamente pelo endereço IP atribuído ao microcontrolador na rede Wi-Fi local.

Para utilizar o sistema, é necessário identificar o IP do ESP32 após sua conexão à rede e inseri-lo no navegador, podendo o acesso ser realizado tanto por *smartphones* quanto por computadores conectados à mesma rede. Em ambos os casos, a interface apresenta o mesmo comportamento, permitindo o controle das lâmpadas, o monitoramento dos sensores e a visualização dos alertas em tempo real.

Durante o desenvolvimento do sistema, foram analisadas diferentes plataformas de integração IoT, com o objetivo de disponibilizar o controle do ESP32 em nuvem. Entre as opções estudadas, destacaram-se o Blynk IoT, o IoT Remote e o Sirinc Pro.

O Blynk IoT apresenta versão gratuita, mas limitada ao controle de poucos dispositivos, exigindo a assinatura de um plano pago de aproximadamente US\$ 99,00 mensais para suportar até 50 dispositivos. O IoT Remote oferece plano gratuito para até 5 dispositivos e o plano básico de US\$ 72,00 anuais para até 10 dispositivos. Já o Sirinc Pro disponibiliza versão gratuita para até 3 dispositivos, sendo necessário migrar para o plano pago de US\$ 30,00 anuais para até 10 dispositivos.

Embora essas plataformas forneçam soluções robustas e com infraestrutura consolidada, observou-se que suas versões gratuitas são insuficientes para contemplar as necessidades mínimas de uma residência básica. No caso deste projeto, o sistema prevê o controle de seis lâmpadas, além de sensores de temperatura e umidade (DHT22), sensor de gás (MQ-5) e sinalizadores de alerta (sirene e sinaleiro), ultrapassando rapida-

mente os limites dos planos gratuitos.

Considerando que o público-alvo inclui pessoas com deficiência física e mobilidade reduzida, em sua maioria pertencentes a famílias de baixa renda, a adoção de planos pagos em dólar tornaria o sistema financeiramente inviável. Por essa razão, optou-se pelo desenvolvimento de uma interface web própria e gratuita, hospedada diretamente no ESP32, sem necessidade de serviços externos ou custos adicionais, assegurando assim a eficiência, acessibilidade e baixo custo do protótipo.

Um dos objetivos do projeto foi desenvolver uma solução de baixo custo, de forma a torná-la acessível a pessoas com deficiência física e mobilidade reduzida. Para isso, foram selecionados componentes eletrônicos de ampla disponibilidade no mercado nacional, adquiridos em lojas online.

A Tabela 1 apresenta a estimativa de custos médios de cada componente utilizado no protótipo. Todos os itens foram adquiridos facilmente pela internet, com ampla disponibilidade em lojas de componentes eletrônicos. O custo total de aproximadamente R\$ 185,00 demonstra a viabilidade econômica do protótipo, especialmente quando comparado a soluções comerciais de automação residencial, que geralmente apresentam preços significativamente mais elevados.

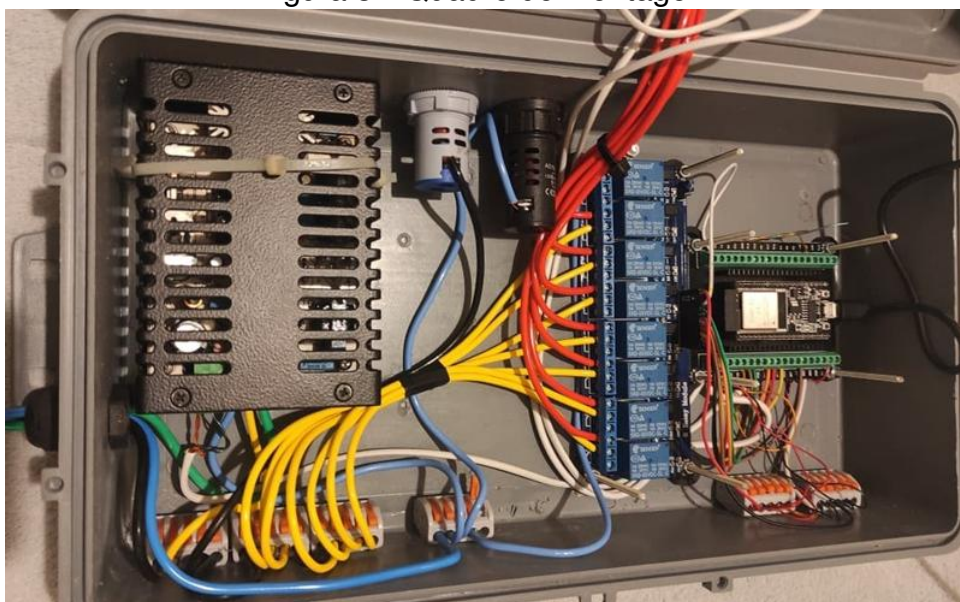
Tabela 1 - Valores médios dos componentes

Componentes	Valor médio (R\$)	Observação
ESP32	38	Unidade central de processamento e conectividade Wi-Fi.
Módulo relé 8 canais	35	Controle das cargas (iluminação e sinalizadores).
Sinaleiro 220V	19	Alerta visual e sonoro em caso de detecção de gás.
Caixa PVC	38	Proteção e organização dos equipamentos.
Sensor de gás MQ-5	18	Detecção de GLP, metano e hidrogênio.
Fonte 5V	19	Alimentação do ESP32, MQ-5 e DHT22.
Sensor DHT22	18	Monitoramento de temperatura e umidade.
Custo total	185	Protótipo completo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a etapa de montagem e testes do sistema, todos os componentes descritos foram acomodados em uma caixa de proteção em PVC Figura 3, garantindo a organização dos módulos eletrônicos e a segurança no manuseio. A caixa abriga o ESP32, o módulo relé de 8 canais, a fonte de 5 V, o sinaleiro, um sensor de tensão elétrica utilizado apenas para demonstração da voltagem, além de conectores de energia e cabeamento elétrico de 1,5 mm. Para padronização e segurança, foi adotada a seguinte codificação de cores, azul para o condutor neutro, amarelo para a fase e vermelho para o retorno das lâmpadas e do sinaleiro.

Figura 3 - Quadro de montagem.



Fonte: Do autor

A fim de validar o funcionamento do sistema em um ambiente próximo da realidade, foi montada uma maquete em MDF Figura 4 representando uma residência. Nela foram instaladas lâmpadas de 220V, acionadas pelo módulo de relés, simulando os diferentes cômodos da casa. Essa abordagem possibilitou avaliar a resposta do sistema em condições práticas de uso, assegurando tanto a confiabilidade do acionamento quanto a integração entre controle, sensores e interface web.

A utilização da maquete permitiu representar, de forma didática e organizada, um ambiente residencial em escala reduzida, facilitando a montagem dos componentes e a visualização do funcionamento do sistema. Essa estrutura simulou uma residência real, possibilitando compreender de maneira clara como cada parte do projeto se integrava desde o acionamento das lâmpadas até a disposição dos sensores, oferecendo uma

percepção mais concreta do comportamento do sistema em um cenário doméstico.

Figura 4 - Maquete.



Fonte: Do autor

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados com o protótipo confirmaram a viabilidade técnica da proposta desenvolvida. O sistema, baseado no microcontrolador ESP32, apresentou desempenho estável e coerente com os objetivos projetados, respondendo adequadamente a todas as funcionalidades implementadas. O acionamento das lâmpadas, tanto de forma individual quanto coletiva, ocorreu com baixo tempo de resposta, garantindo eficiência operacional. Além disso, a interface web embarcada demonstrou bom nível de responsividade e acessibilidade em diferentes dispositivos móveis, sem a necessidade de instalação de aplicativos adicionais ou integração com plataformas externas.

Na etapa de validação, realizada em maquete confeccionada em MDF e equipada com lâmpadas de 220 V, observou-se que os relés executaram corretamente o acionamento das cargas, simulando condições reais de operação. O sensor de gás MQ-5 apresentou sensibilidade adequada para detectar concentrações superiores ao limite estabelecido de 1000 ppm, acionando automaticamente o sinaleiro e a sirene do sistema. De forma complementar, o sensor DHT22 forneceu medições consistentes de temperatura e umidade relativa, as quais foram exibidas em tempo real na interface web. Esses resultados indicam a adequada integração entre os módulos de *hardware* e o *software* embarcado, comprovando a estabilidade funcional do sistema durante os testes experimentais.

Medição do tempo de inicialização do ESP32 Para avaliar o tempo

de resposta do sistema, foi realizada uma medição do intervalo entre a aplicação da energia ao ESP32 e o momento em que o dispositivo estava totalmente inicializado, conectado à rede Wi-Fi e disponível para interação. Foram realizadas 20 medições, conforme Tabela 2, cronometrando em cada caso o tempo de inicialização do dispositivo. Todas as medições foram bem-sucedidas, o ESP32 sempre conseguiu conectar à rede e ficar pronto para uso, sem falhas de *boot* ou conexão. Os tempos obtidos variaram entre 2,42 segundos e 9,99 segundos, com tempo médio de 5,22 segundos. Este procedimento também simula situações de interrupção de energia, mostrando que o dispositivo consegue se recuperar rapidamente e manter a disponibilidade na rede.

Tabela 2 - Medições do tempo de inicialização do ESP32

Medição	Tempo (s)	Inicialização e conexão Wi-Fi
1	2,87	Bem-sucedida
2	4,38	Bem-sucedida
3	3,96	Bem-sucedida
4	9,99	Bem-sucedida
5	4,12	Bem-sucedida
6	7,01	Bem-sucedida
7	6,62	Bem-sucedida
8	3,59	Bem-sucedida
9	6,07	Bem-sucedida
10	9,81	Bem-sucedida
11	5,59	Bem-sucedida
12	3,04	Bem-sucedida
13	8,67	Bem-sucedida
14	2,42	Bem-sucedida
15	2,53	Bem-sucedida
16	4,54	Bem-sucedida
17	5,17	Bem-sucedida
18	4,09	Bem-sucedida
19	5,75	Bem-sucedida
20	4,18	Bem-sucedida
Tempo mínimo	2,42	—
Tempo máximo	9,99	—
Tempo médio	5,22	Média das 20 medições

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para complementar a análise de desempenho, também foi avaliado o tempo de resposta entre o comando emitido pela interface e o aci-

onamento físico da lâmpada, utilizando um vídeo de teste gravado a 240 quadros por segundo (fps), obtendo os resultados conforme Tabela 3 . O vídeo foi reproduzido a 0,5× da velocidade, permitindo a contagem precisa dos quadros correspondentes ao instante do clique e ao momento em que a lâmpada acendia ou apagava.

Tabela 3 - Medições do tempo de resposta entre comando e ação da lâmpada

Evento de acio- namento	Tempo do clique (s)	Tempo de resposta (s)	Intervalo (s)	Intervalo (ms)
Acionamento 1	4,52	4,68	0,16	160
Desligamento 1	11,73	12,12	0,39	390
Acionamento 2	16,78	17,55	0,77	770
Desligamento 2	24,26	25,19	0,93	930
Acionamento 3	31,42	31,95	0,53	530
Desligamento 3	39,17	39,84	0,67	670
Acionamento 4	46,03	46,51	0,48	480
Desligamento 4	53,82	54,51	0,69	690
Acionamento 5	61,23	61,74	0,51	510
Desligamento 5	68,44	69,12	0,68	680
Acionamento 6	76,02	76,63	0,61	610
Desligamento 6	83,47	84,18	0,71	710
Acionamento 7	91,26	91,89	0,63	630
Desligamento 7	98,57	99,32	0,75	750
Acionamento 8	106,05	106,66	0,61	610
Desligamento 8	113,44	114,15	0,71	710
Acionamento 9	121,12	121,73	0,61	610
Desligamento 9	128,46	129,17	0,71	710
Acionamento 10	136,03	136,69	0,66	660
Desligamento 10	143,52	144,23	0,71	710
Tempo mínimo	—	—	0,16	160
Tempo máximo	—	—	0,93	930
Tempo médio	—	—	0,65	650

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos indicaram um tempo médio de resposta de aproximadamente 0,64 s (640 ms), apresentando variação mínima entre os eventos de acionamento e desligamento das lâmpadas. As medições foram realizadas com base em vídeos capturados a uma taxa de amostragem de 240 quadros por segundo (fps), permitindo a determinação precisa dos intervalos temporais entre o comando e a resposta física do sistema. Esses

valores evidenciam que o protótipo apresenta comportamento praticamente instantâneo, confirmando sua eficiência operacional e confiabilidade para aplicações de controle em tempo real.

Além dos testes de desempenho e tempo de inicialização, foi avaliada a estabilidade da conexão do sistema. O protótipo permaneceu ligado continuamente por sete dias consecutivos, conectado à rede Wi-Fi e à alimentação elétrica. Durante esse período, foram realizados testes periódicos de funcionamento, acessando a interface web em diferentes momentos, ligando e desligando as lâmpadas individualmente e em conjunto. Em todos os testes, o sistema respondeu de forma imediata e estável, sem apresentar falhas, travamentos ou perda de conexão. Mesmo diante de uma interrupção temporária da conexão com a internet, o dispositivo manteve o funcionamento normal dentro da rede local, demonstrando a robustez da comunicação entre o ESP32 e a interface web embarcada. Durante todo o período de observação, não houve qualquer acionamento indevido das lâmpadas, tampouco detecção de gás ou disparo não intencional do circuito de sinalização, confirmando a confiabilidade e segurança do sistema em operação contínua em ambiente residencial.

Quando comparado com o estudo de Silva e Lima (2023), que utilizou o ESP8266 associado à plataforma Sinric Pro e integrado ao assistente virtual Alexa, o presente protótipo apresenta uma vantagem econômica significativa. O trabalho de Silva e Lima depende do uso de equipamentos adicionais, como o *Echo Dot*, que possui alto custo de aquisição, além das limitações da versão gratuita do Sinric Pro, restrita a apenas três dispositivos. Para ampliar o sistema, o usuário precisa contratar pacotes pagos, o que se torna inviável em residências que geralmente possuem ao menos seis pontos de iluminação e outros dispositivos agregados. Em contrapartida, a solução aqui proposta opera de forma independente, sem a necessidade de plataformas externas ou dispositivos adicionais, reduzindo custos e barreiras de adoção em residências de baixa renda.

Os trabalhos de Medeiros (2020), intitulado “Automação Residencial”, e de Alves Rafael Florian (2022), “Domótica: Estudo da Contribuição da Automação Residencial para a Acessibilidade”, apresentam revisões de literatura que exploram os conceitos, benefícios e tecnologias da domótica, com foco na inclusão e na melhoria da acessibilidade em ambientes residenciais. Ambos discutem o estado da arte da automação, abordando tecnologias como Wi-Fi, radiofrequência, Internet das Coisas (IoT) e o uso de assistentes virtuais, como Alexa e Google Home, destacando suas apli-

cações em contextos de acessibilidade.

No entanto, enquanto os estudos se limitam à abordagem teórica e conceitual, o presente projeto avança para a aplicação prática e validação experimental desses conceitos. O sistema desenvolvido não apenas discute a viabilidade da automação residencial acessível, mas a demonstra empiricamente por meio de um protótipo funcional, com interface web embarcada no microcontrolador ESP32 e resultados concretos de desempenho e estabilidade.

A principal diferença entre os trabalhos está na natureza e na profundidade da aplicação. Enquanto Medeiros (2020), Alves Rafael Florian (2022) apresentam o “porquê” e o “o quê” da automação assistiva, o presente projeto oferece o “como” descreve detalhadamente a arquitetura do sistema, os componentes utilizados e os resultados dos testes práticos, comprovando o funcionamento e confiabilidade.

Outro ponto de destaque está relacionado ao custo e à viabilidade econômica. Medeiros (2020) aponta corretamente que o alto custo é uma das principais barreiras para a popularização da automação residencial, tornando-a acessível apenas a grupos de maior poder aquisitivo. O presente projeto responde diretamente a essa limitação ao demonstrar que é possível desenvolver uma solução completa com investimento aproximado de R\$185,00, tornando a tecnologia acessível a uma parcela muito mais ampla da população. Essa democratização da automação representa um avanço significativo na direção da inclusão tecnológica.

Todos os estudos convergem quanto ao impacto positivo da automação na melhoria da qualidade de vida, especialmente para idosos e pessoas com deficiência. Contudo, o diferencial do presente projeto está na quantificação e validação desses benefícios por meio de medições objetivas. A análise de tempo de resposta, estabilidade e funcionamento contínuo fornece dados concretos sobre a usabilidade e a confiabilidade do sistema, o que o diferencia dos estudos puramente conceituais. O fato de o sistema manter seu funcionamento mesmo diante da perda temporária de conexão com a internet evidencia sua autonomia e robustez, características essenciais para aplicações voltadas à acessibilidade e segurança doméstica. Assim, o projeto não apenas confirma as conclusões teóricas de Medeiros (2020), Alves Rafael Florian (2022), mas também as expande, demonstrando que a automação acessível pode ser tecnicamente viável, economicamente sustentável e socialmente transformadora.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de controle da iluminação baseado no microcontrolador ESP32, visando promover acessibilidade e autonomia a pessoas com deficiência de locomoção em ambientes residenciais. O problema central identificado foi a dificuldade enfrentada por esses indivíduos na realização de tarefas simples do cotidiano, como acender ou apagar luzes. A solução proposta consiste em um sistema de baixo custo, com interface web acessível, que permite o controle remoto das lâmpadas e o monitoramento de sensores de gás, temperatura e umidade em tempo real, proporcionando segurança, praticidade e eficiência no uso da energia.

Além disso, o monitoramento contínuo da presença de gás no ambiente contribui para a prevenção de acidentes domésticos, emitindo alertas imediatos em caso de vazamentos. No âmbito da segurança do usuário, o sistema reduz a necessidade de deslocamentos, evitando esforços físicos desnecessários e diminuindo o risco de quedas ou colisões com obstáculos presentes no ambiente.

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema atende aos objetivos traçados. O protótipo apresentou resposta rápida e estável, operando continuamente por sete dias sem falhas ou desconexões. Esses resultados comprovam a viabilidade técnica e funcional do projeto, validando a hipótese de que é possível unir domótica e inclusão social por meio de soluções acessíveis e eficazes. Além disso, ao permitir que o usuário gereencie a iluminação diretamente da palma da mão, o sistema contribui para a economia de energia, uma vez que evita o desperdício causado por lâmpadas acesas desnecessariamente.

As principais contribuições deste trabalho estão na autonomia da arquitetura proposta, que dispensa o uso de plataformas pagas e na redução de custos, tornando o sistema acessível a famílias de baixa renda. Além disso, o projeto avança em relação aos estudos anteriores ao oferecer uma validação prática e mensurável dos conceitos de automação assistiva, comprovando sua aplicação real no cotidiano de pessoas com mobilidade reduzida. Dessa forma, este trabalho representa um avanço concreto na democratização da tecnologia assistiva, reforçando o papel social da computação e da Internet das Coisas (IoT).

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação completa do modo *Progressive Web App* (PWA) para facilitar o uso em *smartpho-*

nes, a inclusão de interruptores físicos para as lâmpadas, e a integração com sistemas de notificação via *Telegram* ou *WhatsApp* para alertar familiares em caso de disparo de alarmes. Recomenda-se também o acréscimo de um módulo para análise do consumo energético, permitindo ao usuário monitorar o gasto elétrico em tempo real e otimizar ainda mais o uso da iluminação. Essas melhorias poderão ampliar a usabilidade, eficiência energética e impacto social da proposta, consolidando a automação residencial acessível como uma ferramenta essencial para a autonomia, segurança e qualidade de vida das pessoas com deficiência.

REFERÊNCIAS

ALVES RAFAEL FLORIAN, F. F. R. M. C. **Domótica: Estudo da contribuição da automação residencial para a acessibilidade de portadores de deficiência física**. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, 2022.

CARDOZO, L. F.; FERREIRA, A. F. **Automação residencial com arduino**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 2023.

DUARTE, P. J. **Sistema de Controle e Automação de Iluminação via Smartphone com Ênfase em Eficiência Energética**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

FEITOSA, M. E. de C. **Uma análise de implantação de projetos de automação residencial no mercado de São Luis-MA**. Universidade Federal do Maranhão, 2022.

HARPER, R. **Inside the Smart Home**. London: Springer-Verlag, 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE - Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pessoas de 10 anos ou mais de idade que tinham telefone móvel celular para uso pessoal, por sexo e acesso à Internet por telefone móvel celular para uso pessoal**. 2023. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual - 4º trimestre. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2024.

KATO, C. V. D. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial com microcontrolador ESP32 e protocolo MQTT**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2024.

MEDEIROS, M. A. de. **Automação residencial**. Anhanguera, 2020.

MENESES, Y. P. G. et al. **Gestión energética mediante la aplicación de la domótica en instalaciones eléctricas**. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021.

Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (NIC.br). **Uma análise de implantação de projeto de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: pesquisa TIC Domicílios, ano 2022**. 2023. Acessado em: 15 mar. 2025. Disponível em: <<https://cetic.br/pt/arquivos/domicilios/2022/domicilios/>>.

SAMPAIO, C. F.; VINÍCIUS, R. **Automação residencial via smartphone**. Centro Universitário Internacional Uninter, Imperatriz - MA, 2022.

SILVA, F. H.; LIMA, P. **Automação residencial com ESP8266 NodeMCU e Assistente Virtual**. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de Goiás - Câmpus Jatai departamento de áreas acadêmicas curso de tecnologia em análise e desenvolvimento de sistemas, 2023.

SOMERLATE, D. et al. **Automação residencial para pessoas com necessidades especiais**. Centro Universitário Doctum, 2023.

SYSTEMS, E. **ESP32 Technical Reference Manual**. 2024. Acessado em: 15 set. 2025. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf>.

VIGOUROUX, N. et al. **Usability study of tactile and voice interaction modes by people with disabilities for home automation controls**. Université de Toulouse, 2022.