

# Residential Control of Infrared Devices and Lighting Using a Low-Cost Central Module

## Controle Residencial de Dispositivos Infravermelho e de Iluminação Utilizando um Módulo Central de Baixo Custo

Jorge Luiz. P. Oliveira<sup>1</sup>, Thais Reggina Kempner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia de Várzea Grande -Univers. Federal de Mato Grosso(UFMT)  
Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367 - Boa Esperança. Cuiabá MT – CEP 78060-900  
{ audin.ufmt, thaisrgk}@gmail.com

**Abstract.** Home automation aims to simplify the activities of the individual at home and provide independence for people with disabilities. However, professional equipment is expensive, limiting access to technology. To solve this problem, a low-cost module was designed to control infrared devices and lighting through smartphone apps and voice commands. In addition to the low cost, the module aims for an easy-to-use interface and uncomplicated implementation, utilizing Open Hardware control boards, an application with a good User Experience (UX), and a modular structure to facilitate installation. The goal is to make technology accessible to lower-middle-class people.

**Keywords:** Automation. Accessibility. Smart home. Internet of things. Alexa.

**Resumo.** A automação residencial tem como objetivo simplificar as atividades do indivíduo em domicílio e proporcionar independência para pessoas com deficiência. No entanto, os equipamentos profissionais são caros, o que limita o acesso à tecnologia. Para solucionar esse problema, foi projetado um módulo de baixo custo para controle de dispositivos infravermelho e iluminação por meio de aplicativos para smartphone e comandos de voz. Além do baixo custo, o módulo visa interface de fácil utilização e implementação descomplicada, para isso utiliza placas de controle Open Hardware, aplicativo com boa UX (User Experience) e estrutura modular para facilitar a instalação. O objetivo é tornar a tecnologia acessível para pessoas de classe média baixa.

**Palavras-chave:** Automação. Acessibilidade. Casa inteligente. Internet das coisas. Alexa.

### 1. Introdução

Nos últimos dez anos, houve uma mudança exponencial expressiva no desenvolvimento de novas tecnologias. Calcula-se que nos próximos cem anos nós teremos uma evolução tecnológica equivalente a 20 mil anos passados. Isso acontece porque à medida em que novas tecnologias são criadas, as mesmas passam a funcionar como base para a criação de outras [Diamandis e Kotler, 2021].

Essa rápida evolução aprimorou dispositivos como o telefone celular, que a pouco mais de dez anos era utilizado primordialmente para comunicação, enquanto hoje se transformou em uma ferramenta complexa e completa que permite acesso à informação global de forma instantânea, criação e consumo de conteúdo digital como músicas, jogos

e filmes, controle de dispositivos de casa inteligente, entre outros. Esses e outros fatores foram responsáveis por consolidar seu uso no Brasil, que atualmente possui mais smartphones do que habitantes, segundo um estudo publicado pelo Centro de Tecnologia de Informação Aplicada da Escola de Administração de Empresas de São Paulo [Meirelles, 2023].

A automação residencial também tem sido impulsionada por essa evolução, de acordo com uma pesquisa da *Fortune Business Insights* (2021), o que impulsiona esse aumento na demanda por automação residencial é o maior interesse da população por tecnologias de Internet das Coisas (IoT) como Ar Condicionados e TVs com WiFi e possibilidade de controle via aplicativo. Porém, o que mais tem se destacado é a busca por soluções de automação DIY (Do It Yourself, no português, “Faça Você Mesmo”), nas quais os usuários montam a própria casa inteligente de forma personalizada, adquirindo módulos de automação e integrando-os em um sistema de controle baseado em nuvem, o que permite o controle da casa através do smartphone e assistentes virtuais como Alexa e Google Assistant. O aumento na busca por soluções DIY, ocorreu como resultado da pandemia de Covid-19 iniciada em 2020, que manteve as pessoas mais tempo dentro de casa, fazendo com que as mesmas buscassem fazer sozinhas tarefas que antes eram delegadas a outros, como cortar o cabelo, pequenos consertos em casa, e no caso da domótica, a construção e instalação de dispositivos IoT [Fortune Business Insights, 2021].

Além de trazer conforto e segurança, a automação residencial pode se tornar imprescindível para a acessibilidade e independência de pessoas com deficiência, possibilitando a realização de tarefas cotidianas, que podem ser consideradas complexas. Uma casa inteligente pode facilmente ser denominada também como uma casa adaptada, pois a tecnologia de domótica empregada pode proporcionar às pessoas com deficiência física, ou com dificuldade de locomoção, como idosos e obesos, a realização de tarefas de forma mais fácil e até prazerosa [Dantas Filho, 2021].

Segundo o Sistema Único de Saúde (SUS), 75% das quedas de pessoas idosas acontecem dentro de casa. Além disso, de acordo com pesquisas, no Brasil cerca de 30% dos idosos caem ao menos uma vez por ano e de 5% a 10% destes sofrem lesões severas (Brasil, 2019). Nesse contexto, uma casa automatizada propicia mais conforto, segurança e funcionalidade para pessoas nessas condições, já que não é necessário se levantar ou locomover para controlar iluminação, climatização, sistema de entretenimento e muitas outras tarefas, consequentemente, diminuindo o risco de acidentes e quedas [Perracini, 200]).

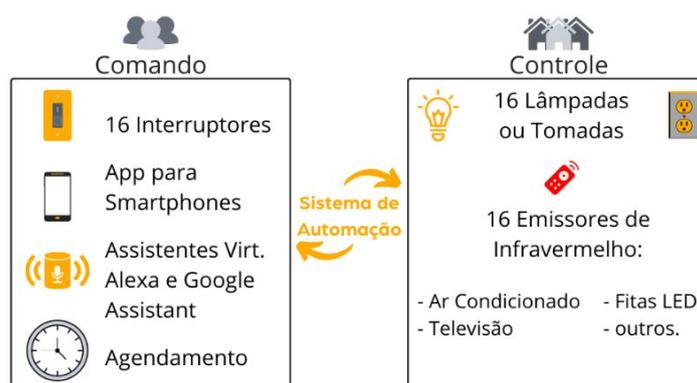
Devido ao alto custo e complexidade no desenvolvimento de tecnologias que promovem a inclusão social, os idosos e Pessoas com Deficiência (PcD) têm grandes dificuldades em suas atividades diárias e permanecem excluídos da sociedade e do trabalho. A utilização da automação permite a padronização e a flexibilização de sistemas, fazendo com que seja possível utilizá-la dentro do ambiente doméstico, promovendo a melhoria na qualidade de vida dos usuários [Batista, 2019].

No entanto, o alto custo dos equipamentos é uma barreira para a adoção desta tecnologia, especialmente para a classe média-baixa. A produção externa dos dispositivos eleva ainda mais o preço. Felizmente, nos dias atuais a automação residencial tem se tornado muito mais acessível ao consumidor comum por meio da criação de plataformas de desenvolvimento em código aberto, como a Arduino IDE, e o ESP8266 da Espressif Systems que proporcionaram a popularização do desenvolvimento de dispositivos IoT.

Diante do contexto apresentado, o sistema apresentado nesse artigo oferece benefícios significativos, como o controle remoto de dispositivos e iluminação, segurança e economia de energia, além de ser um projeto economicamente acessível para estudantes e entusiastas da tecnologia.

## 2. Materiais e Métodos

Visando a criação de um sistema de automação que atenda a uma casa padrão classe média-baixa, foi desenvolvido o diagrama da Fig. 1 onde é estabelecido a quantidade de entradas de comando e pontos de controle, além dos tipos de dispositivos que podem ser integrados através do sistema.

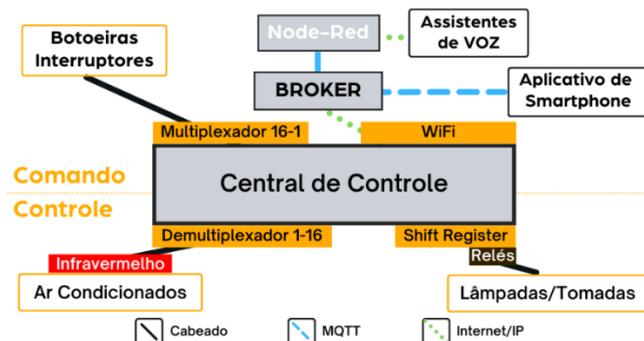


**Figura 1 Diagrama de demanda e funcionamento geral do projeto.**

Os requisitos que devem ser atendidos são: O sistema deve ter um custo final de materiais acessível comparado às soluções profissionais oferecidas no mercado, mantendo as mesmas funções primárias; Deve ser possível fazer o controle dos dispositivos via smartphone; O sistema deve ser integrado a algum assistente de voz; Deverá ter no mínimo 16 entradas de comandos de interruptor; Deve ser possível controlar pelo menos 16 relés (tomadas ou lâmpadas); O sistema deve ser capaz de controlar aparelhos de ar condicionado via infravermelho; e deverá ser possível ligar e desligar os dispositivos via agendamento.

### 2.1. Hardware

Para atender aos requisitos definidos para o projeto, optou-se por um sistema de automação cabeado, onde o controle dos dispositivos é processado de forma centralizada. O diagrama da Fig. 2 descreve a estrutura geral do sistema.



**Figura 2 Diagrama simplificado de Hardware e Software.**

O componente principal do sistema, denominado Central de Controle, é composto por um conjunto de dispositivos eletrônicos que são responsáveis por receber os sinais de comando, processar dados e acionar os pontos de controle. A estrutura de comando é composta pelos interruptores, que ficarão nos quartos da casa permitindo o usuário continuar controlando a iluminação na forma tradicional, com um clique. Além disso, temos os assistentes virtuais, que serão integrados ao sistema, sendo esses Alexa e Google Assistant, que estarão conectados ao controlador central via software. A estrutura de controle é composta por um circuito com atuadores que permitem acionar relés para o controle de tomadas e iluminação, além de permitir enviar comandos via infravermelho para equipamentos como Ar Condicionados e TVs.

### 2.1.1. NodeMCU ESP32

O componente principal do sistema é o NodeMCU ESP32, que é um microcontrolador com conexão Wi-Fi integrada, além de ser uma plataforma de desenvolvimento de hardware que permite criar projetos de IoT de forma fácil e acessível, utilizando a linguagem de programação Lua ou o ambiente de desenvolvimento do Arduino.

Este microcontrolador, apesar de muito robusto, possui uma quantidade limitada de 25 GPIOs, o que pode limitar o seu uso em alguns projetos. Entretanto, a estratégia abordada no projeto do hardware consiste em utilizar multiplexadores e *shift registers*, para multiplicar a quantidade de entradas e saídas do NodeMCU. Com a utilização de apenas 12 GPIOs do microcontrolador será possível: Coletar dados de 16 pulsadores de comando; acionar 16 relés, que podem ser conectados a lâmpadas ou tomadas; e acionar 16 pontos de ar condicionado.

### 2.1.2. Circuito de Comando e Controle

O microcontrolador está diretamente conectado aos chips 74HC595 (Shift Register) e 74HC4067 (Multiplexador e Demultiplexador), além de um LED que informa se o sistema está conectado corretamente. Os chips por sua vez estarão conectados aos elementos de comando e controle.

Para o sistema de comando, a central estará conectada a um multiplexador, que possibilitará a leitura de sinal digital de 16 interruptores, utilizando apenas 5 GPIOs do NodeMCU ESP32. Um chip 74HC4067 (Multiplexador e Demultiplexador) também está conectado ao ESP32 para permitir a execução do sub circuito de acionamento via infravermelho de dispositivos de ar condicionado e TVs, conforme a Fig. 3 O sistema é capaz de controlar até 16 ambientes com equipamentos controlados via infravermelho, sendo assim, se um ambiente possui uma TV e um ar condicionado, será possível controlar ambos com apenas um emissor de infravermelho.

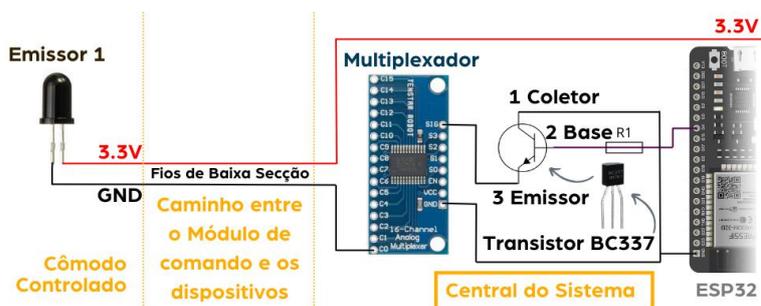


Figura 3 Sub Circuito de comando infravermelho.

Para o sub circuito de comando de iluminação e tomadas, foram utilizados 2 Shift Registers, que permitem controlar 16 relés utilizando apenas 3 portas GPIO do NodeMCU ESP32, conforme a Fig. 4.

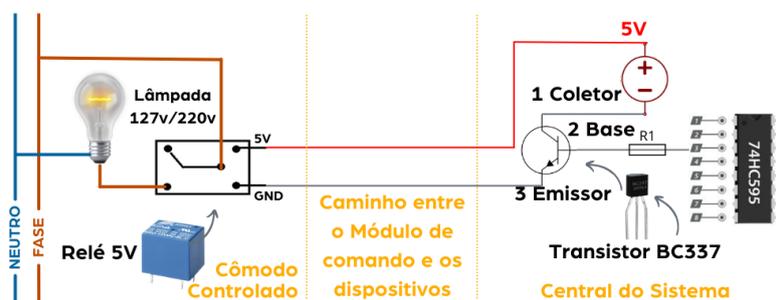


Figura 4 Sub Circuito de comando de iluminação.

Os relés por sua vez podem ser conectados tanto em lâmpadas quanto em tomadas, permitindo uma gama maior de dispositivos a serem controlados, como cafeteiras, aquecedores, umidificadores entre outros.

## 2.2. Software

A camada de software do sistema é responsável por permitir que o usuário faça o controle dos dispositivos de forma remota, utilizando o smartphone ou assistentes de voz. Para a implementação do software, foram utilizadas ferramentas gratuitas como Arduino IDE, Node RED e Hive MQTT Broker. O Sistema proposto utiliza softwares diversos para criar uma integração completa do usuário e sua residência, permitindo controle por comandos de voz e agendamento dentre outras funcionalidades. O diagrama a seguir (Fig. 5) descreve de forma visual a camada de software do módulo de automação residencial de baixo custo, demonstrando os diferentes protocolos de comunicação IOT utilizados para sua implementação.

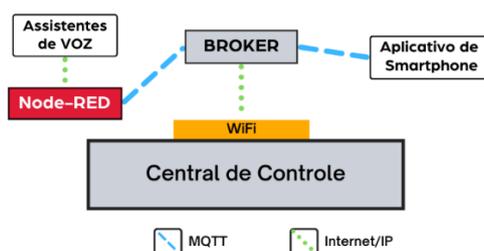


Figura 5 Estrutura de software.

Na automação residencial, o NodeMCU ESP32 é frequentemente utilizado em conjunto com o protocolo de comunicação MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que é um padrão de comunicação de mensagens para sistemas de IoT. O NodeMCU ESP32 pode ser programado para se conectar a uma rede Wi-Fi e enviar e receber mensagens MQTT, permitindo a troca de informações entre dispositivos de automação residencial. Por exemplo, é possível programá-lo para receber informações de sensores de temperatura e umidade e enviar esses dados para um servidor MQTT, que pode ser acessado por outros dispositivos, como um aplicativo de celular e assistentes de voz como Alexa e Google Assistant.

### 2.2.1. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

O sistema central de automação residencial tem seu funcionamento baseado no protocolo de IoT MQTT, que é um protocolo de comunicação de mensagens leve e eficiente, projetado para conectar dispositivos de IoT em redes de baixa largura de banda e alta latência. Na automação residencial, o MQTT é frequentemente utilizado em conjunto com o Arduino e o NodeMCU ESP32, permitindo que diferentes dispositivos e sistemas se comuniquem e troquem informações através da rede Wi-Fi. Com o MQTT, é possível enviar e receber mensagens entre dispositivos de forma rápida e segura, permitindo o monitoramento e controle de diferentes aspectos da casa, como temperatura, iluminação, segurança, entre outros. A Fig. 6 demonstra como funciona a estrutura MQTT de forma visual.

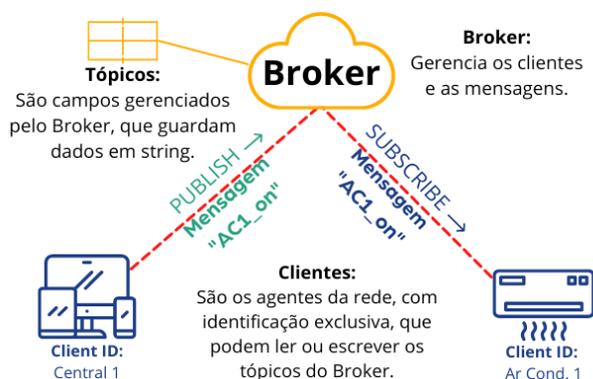


Figura 6 Estrutura lógica do MQTT.

### 2.2.2. Programação do NodeMCU ESP32

Para efetuar a programação do ESP32 foi utilizado a plataforma Arduino IDE. Arduino é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico de código aberto baseada em hardware e software que permite criar projetos interativos de forma fácil e acessível. O objetivo do Arduino é democratizar o acesso à eletrônica e permitir que qualquer pessoa possa criar projetos eletrônicos de forma simples e barata.

Também foi utilizado um broker MQTT que está disponível gratuitamente chamado "HiveMQ". O programa carregado no ESP32 é responsável por realizar a conexão Wi-Fi do microcontrolador com a rede Wi-Fi de testes. Em seguida, é feita a conexão com o broker MQTT como um cliente se inscrevendo em um tópico, onde são enviados os comandos de acionamento. Para efetuar o acionamento dos relés, o ESP32, ao se inscrever no tópico definido, aguarda e lê todas as mensagens enviadas para este tópico. Ao ler a mensagem é feita uma interpretação via código, onde é definido o estado ligado ou desligado dos relés. Após a interpretação, o ESP32 define a respectiva saída digital do relé para o estado desejado. O estado dos relés é publicado para cada relé individualmente, em seus respectivos tópicos, permitindo que seu estado atual esteja sempre disponível. O estado dos relés é gravado na memória EEPROM do ESP32, permitindo que o estado esteja disponível mesmo que o microcontrolador seja reiniciado, evitando desligamentos indesejados dos aparelhos caso haja alguma oscilação de energia na central.

### **2.2.3 Integração com Assistentes de Voz**

Uma das funções mais úteis da automação residencial no auxílio de pessoas PCDs ou idosos com pouca mobilidade, é a possibilidade de efetuar o controle da residência por comandos de voz. Atualmente os sistemas de voz mais utilizados no Brasil são *Alexa* e *Google Assistant*, sendo assim, o sistema foi projetado para permitir a integração com estes assistentes de voz.

Atualmente as assistentes possuem uma arquitetura baseada em nuvem e funcionam de forma gratuita, o que torna possível a implementação da integração de sistema de automação via camada de software sem a necessidade de custos adicionais com equipamentos. Para integrar o sistema a assistentes de voz foi utilizado o Node-RED, que é uma ferramenta de programação visual para IoT, baseada em nós interconectados em uma interface gráfica. Ele permite criar fluxos de dados e automação de forma intuitiva e acessível, sem a necessidade de conhecimentos avançados de programação.

Na automação residencial, o Node-RED pode ser utilizado em conjunto com o ESP32 e MQTT, permitindo a integração de diferentes dispositivos e sistemas para criar soluções personalizadas e adaptadas às necessidades de cada usuário. Nesse caso foram utilizados nós que fazem a integração com o sistema da Alexa e Google. Dentro desses nós foram criados dispositivos virtuais com nomes “Relé”, numerados de 1 a 16. O nó recebe qualquer comando enviado pelos assistentes de voz para ligar e desligar o relé, um outro nó “interpretador” recebe o comando e o deixa compatível com o programa escrito no ESP32, então envia esse comando para o nó de MQTT, que então reenvia o pacote para o Broker MQTT configurado. O NodeMCU ESP32, que está conectado ao mesmo broker, lê o pacote enviado pelo Node RED, interpreta o comando e aciona o sub circuito de relés.

### **2.2.4 Criação da interface de controle via smartphone.**

O aplicativo utilizado para criar um painel de controle, foi o “MQTT Dashboard”. Este aplicativo está disponível de forma gratuita para o Android e existem aplicativos semelhantes para o Apple IOS.

O primeiro passo da configuração consistiu em inserir os dados do broker MQTT. Logo em seguida, foram adicionados botões alternantes, que são responsáveis pelo acionamento dos relés. Todos os botões publicam no tópico “BrokerModuloART”, porém, cada botão se inscreve em seu respectivo tópico para receber o estado atual do relé.

## **3. Resultados e Discussões**

Nessa seção serão mostrados os resultados obtidos nos testes. Para facilitar a compreensão foram feitas algumas adaptações para tornar os resultados observáveis através de figuras.

### **3.1 Teste de controle dos Relés**

Os relés foram programados para receber os comandos “Ligar” e “Desligar”. Estes comandos podem partir de quatro interfaces, sendo elas: os botões pulsadores, o aplicativo de smartphone, Google Assistant e Alexa. Foram efetuados testes em protoboard. Para a melhor visualização, os relés foram substituídos por LEDs, mantendo-se o mesmo circuito original. Cada botão, ao ser pressionado, alterna o estado atual de

seu respectivo relé. Sendo assim, se o relé está desligado, ao se pressionar o botão, o relé liga, e vice-versa. No exemplo apresentado na Fig. 7, foram pressionados os botões 01, 03, 06 e 10, e foi observado que os relés foram acionados de forma correta. Além de acionar os relés, o módulo envia imediatamente o estado atual do relé para o broker MQTT. O aplicativo no smartphone consegue monitorar o status atual do relé e controlá-lo. O mesmo ocorre para o controle nos apps Alexa e Google Home.

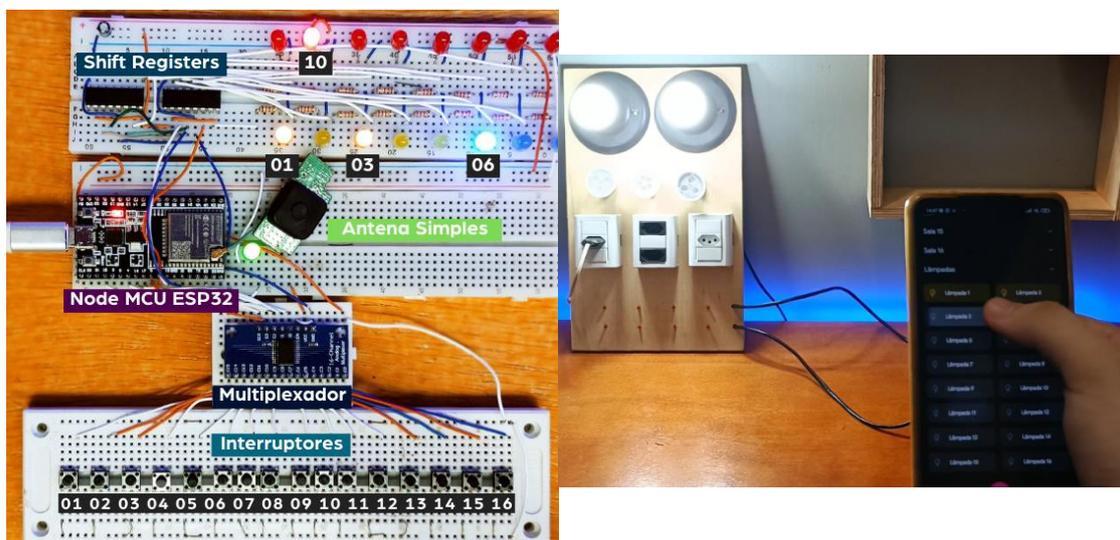


Figura 7 Teste do Acionamento dos Relés e do Sistema completo em bancada.

Para finalizar os testes, foi realizado uma instalação de um sistema completo, conforme a Fig. 7, que esteve em funcionamento durante um ano, sem apresentar falhas de software e hardware. Nesse Sistema, as lâmpadas 1 e 2 podem ser aionadas de maneira remota e via commando de voz, funcionando como o esperado.

### 3.2. Teste de controle por infravermelho

O sistema é capaz de controlar 16 canais de infravermelho, utilizando um multiplexador. Foram feitos testes utilizando o aplicativo MQTT Dashboard para controlar um aparelho de ar condicionado. A Fig. 8 mostra a interface de usuário para o controle de Ar condicionado.



Figura 8 Interface do aplicativo para controle de dispositivos de ar condicionado.

### 3.3 Teste de agendamento de tarefas

Existem duas formas de agendar tarefas no sistema. A primeira e mais completa é utilizar os aplicativos dos assistentes virtuais. A segunda possibilidade é utilizar o agendamento pelo aplicativo MQTT Dashboard. No entanto, a segunda opção se limita a definir o horário para ligar e desligar o Ar condicionado, enquanto a primeira opção pode programar vários dispositivos de forma simultânea. Foram efetuados testes de agendamento, e o módulo funcionou como esperado, realizando a tarefa no tempo correto.

Existem várias vantagens relacionadas a automações ao se integrar o sistema de controle residencial e os serviços de assistentes de voz. Uma das vantagens é a facilidade para agendar tarefas. Por este motivo, não há necessidade do uso do aplicativo MQTT Dashboard para esta função, visto que existem limitações que são supridas pelos aplicativos das assistentes virtuais.

### 3.5 Custos

Para a realização deste projeto foram selecionados os materiais com o melhor custo benefício disponíveis no mercado atualmente. A Tabela 1 contém todos os materiais que compõem o hardware do projeto, e os respectivos valores de mercado, no ano de 2023. Todos os softwares utilizados no sistema são gratuitos, desta forma, o custo de hardware é o custo total do projeto.

**Tabela 1 Materiais para Central de Baixo Custo**

Material	Qtd	Custo unitário	Total
NodeMCU ESP32	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
CD 74HC4067	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
CI 74HC595	2	R\$ 5,25	R\$ 10,50
Led Infravermelho	16	R\$ 0,25	R\$ 4,00
Relé 5Vdc	16	R\$ 5,99	R\$ 95,84
Transistor BC 337	17	R\$ 0,25	R\$ 4,00
Resistor 1K	17	R\$ 0,10	R\$ 1,70
Fonte 5Vdc 3A	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Total			R\$ 220,04

A proposta fundamental deste sistema é possuir um custo baixo se comparado às opções comerciais atualmente disponíveis no mercado, para cumprir as mesmas funções realizadas pelo sistema de baixo custo. Essa comparação é realizada na Tabela 2, que possui dispositivos de automação residencial que podem ser encontrados no Brasil facilmente em lojas físicas e virtuais na quantidade necessária para desempenhar o mesmo papel do Sistema de automação proposto neste artigo.

**Tabela 2 Custo de Módulos Comercializados em 2023**

Material	Qtd	Custo unitário	Total
Relé Nova Digital	16	R\$ 58,90	R\$ 942,40
Infravermelho Geonav	16	R\$ 79,00	R\$ 1.264,00
Fonte 5Vdc 1A	16	R\$ 19,90	R\$ 318,40
Total			<b>R\$ 2.524,80</b>

Tendo em vista as funcionalidades oferecidas pelo sistema, e as opções disponíveis comercialmente para a realização das mesmas tarefas, com o uso da solução de baixo custo proposta por este trabalho estima-se uma economia de aproximadamente de 90% no custo de equipamentos.

## 5. Conclusões

O sistema proposto possibilitou a criação de uma solução para o controle de relés, que podem ser conectados a lâmpadas ou tomadas, permitindo o acionamento destes dispositivos com apenas um toque no smartphone, por comando de voz e via agendamento. Além disso, o sistema também permitiu o acionamento remoto, via infravermelho, de dispositivos de ar condicionado.

Uma característica notável do projeto é seu baixo custo de implementação, se comparado a soluções comerciais prontas com as mesmas funcionalidades. Este tipo de solução barata só é possível graças à disponibilidade de plataformas de desenvolvimento de código aberto, que possibilitam o acesso de muito mais pessoas à informação, e por consequência o surgimento de diversas abordagens para a resolução de problemas de engenharia, que muitas vezes são mais baratas do que soluções de grandes empresas.

Em suma, este trabalho permite o estudo da aplicação de ferramentas que visam tornar o uso da tecnologia mais acessível, procurando tornar a automação residencial cada vez mais atrativa para os moradores e para a sociedade. Além disso, o projeto busca fornecer acessibilidade, conforto, segurança e economia de energia de forma prática, especialmente direcionada para auxiliar pessoas com deficiência e idosos.

## Referências

- Batista, J. D.; Mestria, M. (2019). Um protótipo de sistema de automação residencial controlado por smartphone. Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.
- Brasil. (2019). Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia. Como reduzir quedas no idoso, Disponível em: <https://www.into.saude.gov.br/lista-dicas-dosespecialistas/186-quedas-e-inflamacoes/272-como-reduzir-quedas-no-idoso>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- Dantas Filho, C. A. (2021). Domótica como auxílio para pessoas com deficiência e idosos. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 04, Vol. 02, pp. 118-131.
- Fortune Business Insights (2021). Home Automation Market Size, Share and COVID-19 Impact Analysis, By Component (Product and Services), By Network Technology (Wired, Wireless and Power Line-Based), and Regional Forecast. Fortune Business Insights. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/home-automation-market-100074>. Acesso em mai. 2023.
- Kotler, S., Diamandis, Peter H. (2021). O futuro é mais rápido do que você pensa: Como a convergência tecnológica está transformando as empresas, a economia e nossas vidas. página 24, Objetiva, Brasil.
- Perracini, M. R. (2009). Desafios da prevenção e do manejo de quedas em idosos. BIS. Boletim do Instituto de Saúde, n. 47, p. 45-48.