



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Engenharia de Controle e Automação



Bruna Cristina Pinto de Carvalho

Sistema Inteligente de Segurança Residencial Baseado em ESP32: proposta Modular de Baixo Custo

Ouro Preto
2026

Bruna Cristina Pinto de Carvalho

Sistema Inteligente de Segurança Residencial Baseado em ESP32: proposta Modular de Baixo Custo

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Caio Fernando
Teixeira Portela

Ouro Preto
2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruna Cristina Pinto de Carvalho

**Sistema Inteligente de Segurança Residencial baseado em
ESP32: proposta Modular de Baixo Custo**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação.

Aprovada em 05 de março de 2026

Membros da banca

[Doutor] Caio Fernando Teixeira Portela - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
[Mestre] - João Carlos Vilela de Castro - (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
[Mestre] - Diógenes Viegas Mendes Ferreira - (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)

Caio Fernando Teixeira Portela, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Caio Fernando Teixeira Portela, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/03/2026, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1071339** e o código CRC **EDF98112**.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Embora seja difícil mencionar todos os envolvidos, registro aqui meu reconhecimento especial àqueles que foram fundamentais nessa trajetória.

Ao meu orientador, Professor Doutor Caio Fernando Teixeira Portela, pela orientação segura, pela disponibilidade, pelo rigor acadêmico e pelas valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Seu apoio e conhecimento foram essenciais para a consolidação deste trabalho.

À UFOP e a todos os professores que, ao longo da minha formação, contribuíram para a construção do conhecimento que possibilitou a realização deste projeto.

Ao Noah, cuja presença constante desde o início desta trajetória, sempre ao meu lado nos momentos de estudo, representou fonte de afeto, conforto e motivação.

Aos meus queridos Bruce, Zaya, Olívia e Zuri pela companhia diária, pelo carinho silencioso e pelos momentos de leveza, que tornaram essa caminhada mais acolhedora.

Aos incentivos e fortalecimentos das políticas de acesso e permanência na educação, que possibilitam a tantos estudantes a oportunidade de formação acadêmica.

À Nathália, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, incentivo e suporte fundamentais para que eu conseguisse superar os desafios encontrados durante a realização deste trabalho.

À minha família, pelo apoio, compreensão e incentivo constantes, mesmo nos momentos mais desafiadores. Em especial, à minha avó, Iria Pinto de Carvalho, que me criou com amor, dedicação e valores que levarei por toda a vida. Sua força, cuidado e ensinamentos foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte deste percurso e contribuíram para que esta conquista se tornasse possível.

Muito obrigada.

“A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável”.

(Galileu Galilei.)

Resumo

O avanço no uso das tecnologias digitais, em consideração no uso residencial, promove transformações na forma como as pessoas se relacionam com seus ambientes domésticos. Nesse contexto, a automação residencial inteligente, conhecida como domótica, tem sido utilizada para integrar os dispositivos e os sistemas que tornam as residências mais adaptáveis, seguras e eficientes. Embora essas tecnologias já estejam presentes em diversas soluções comerciais, a consolidação do uso residencial está em processo de expansão e o crescimento no uso da Inteligência Artificial (IA), amplia as possibilidades de controle, de monitoramento e de personalização dos lares inteligentes. Essa convergência tecnológica permite desde a programação de rotinas automatizadas até a coleta de dados comportamentais, que alimentam sistemas adaptativos sofisticados e para possível conforto em residências, com o intuito de segurança e menor custo. Este trabalho apresenta um ESP32, conjuntamente com sensores de gás e chuva e o uso de atuadores, para a automação de um projeto residencial, utilizando programação com o uso do arduino IDE.

Palavras-chaves: domótica. esp32. automação residencial. arduino.

Abstract

The advancement in the use of digital technologies, particularly in residential settings, is transforming how people interact with their home environments. In this context, intelligent home automation, known as domotics, has been used to integrate devices and systems that make homes more adaptable, secure, and efficient. While these technologies are already present in various commercial solutions, their consolidation in residential use is expanding, and the growth in the use of Artificial Intelligence (AI) is broadening the possibilities for controlling, monitoring, and personalizing smart homes. This technological convergence allows for everything from programming automated routines to collecting behavioral data that feeds sophisticated adaptive systems for enhanced comfort in homes, aiming for security and lower costs. This work utilized an ESP32, along with gas and rain sensors and actuators, to automate a residential project using Arduino programming.

Key-words: domotics. ESP32. residential automation. arduino.

Lista de Figuras

Figura 1 – Projeto de Automação Residencial	17
Figura 2 – ESP32.....	19
Figura 3 – Sensor	20
Figura 4 – Atuador Elétrico	20
Figura 5 – Microcontrolador ESP32.....	22
Figura 6 – Sensor Analógico de Chuva.....	22
Figura 7 – Sensor de Movimento PIR (HC-SR501)	23
Figura 8 – Sensor Tipo Reed Switch LM393	23
Figura 9 – Sensor Analógico de Chuva.....	24
Figura 10 – Buzzer Passivo.....	24
Figura 11 – Sistema de Automação Residencial	26
Figura 12 – Sistema de Automação Residencial	27
Figura 13 – Simulação do Sistema de Automação Residencial	28
Figura 14 – Monitor Serial da IDE Arduino durante a execução do sistema	32
Figura 15 – Sensor de Chuva em funcionamento no ESP32	33
Figura 16 – Sensor de Chuva em funcionamento Arduino IDE	34
Figura 17 – Sensor de Chuva e de Presença em funcionamento pelo Arduino IDE .	35
Figura 18 – Sensor de Chuva e de Presença ligado ao Buzzer Sonoro.....	36
Figura 19 – Funcionamento no Arduino IDE do Sensor de Chuva, do Sensor de Presença e do Sensor de Gás	37
Figura 20 – Montagem Completa com todos os Sensores, com o Buzzer Sonoro como Atuador e com a Chave Magnética no Sistema de Automação	38
Figura 21 – Sensores em Funcionamento no Arduino IDE na Montagem Completa .	39

Lista de tabelas

Tabela 1 – Mapeamento das Conexões no ESP32	26
---	----

Lista de abreviaturas e siglas

GND	Ground, em tradução "aterramento";
ADC	Analog-to-Digital Converter, em tradução "Conversor Analógico-Digital";
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, em tradução "Receptor/Transmissor Assíncrono Universal";
PIR	Passive Infrared, em tradução "Infravermelho Passivo";
IoT	Internet of Things, em tradução "Internet das Coisas".

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativas e Relevância	13
1.2	Objetivos	13
1.3	Metodologia	14
1.4	Organização e estrutura	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Automação Residencial (Domótica)	16
2.2	ESP32	18
2.3	Sensores	19
2.4	Atuadores	19
3	DESENVOLVIMENTO	21
3.1	Materiais	21
3.1.1	Plataforma do Hardware	21
3.1.2	Sensores e Atuadores	22
3.2	Metodologia	25
3.2.1	Conexões Elétricas	25
3.2.2	Método de Aquisição e Processamento dos Dados	26
3.2.3	Simulação	28
3.3	Código Implementado	29
3.4	Estratégia de Leitura e Processamento	29
3.5	Lógica do Alarme	30
3.6	Sinalização Sonora	30
3.7	Testes e Validação do Sistema	31
4	RESULTADOS	33
4.1	Sensor de Chuva	33
4.2	Sensor de Presença + Sensor de Chuva	34
4.3	Sensor de Gás + Sensor de Presença + Sensor de Chuva	36
4.4	Sensor Chave Magnética + Sensor de Gás + Sensor de Chuva + Sensor de Presença	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6	TRABALHOS FUTUROS	42
6.1	Infraestrutura Elétrica	42

6.2	Conectividade e IoT	42
6.3	Expansão sensorial.....	42
6.4	Segurança da Informação	42
6.5	Inteligência do sistema.....	43
	Referências	44

1 Introdução

A automação residencial refere-se à aplicação de sistemas automatizados em ambientes domésticos, como casas, apartamentos e escritórios. Esse conceito também pode ser denominado automação doméstica, automatização residencial ou domótica. Trata-se de um avanço tecnológico que possibilita a transformação de ambientes residenciais em espaços inteligentes, eficientes e conectados, permitindo o desenvolvimento de soluções capazes de executar tarefas de forma autônoma, rápida e precisa. Nesse contexto, sistemas residenciais inteligentes e integrados têm se tornado uma alternativa para atender às demandas de conforto, eficiência energética e segurança. Esses sistemas utilizam dispositivos eletrônicos e sistemas embarcados capazes de automatizar processos e controlar o funcionamento de diversos equipamentos presentes na residência. A automação ocorre por meio de dispositivos que possuem capacidade de comunicação entre si e que operam a partir de instruções previamente programadas pelo usuário, podendo ser modificadas conforme suas necessidades e preferências (DANTAS *et al.*, 2024; FARIA, s.d.).

Além de proporcionar maior comodidade, a domótica também contribui para a redução do consumo de energia elétrica. Por meio de sistemas automatizados, é possível desligar equipamentos que permanecem ligados desnecessariamente quando não há pessoas no ambiente. Mesmo dispositivos que permanecem conectados à rede elétrica em modo standby continuam consumindo energia, ainda que em menor quantidade. Dessa forma, os sistemas de automação residencial auxiliam na otimização do consumo energético, promovendo economia e maior eficiência no uso da energia elétrica. Uma característica fundamental de uma instalação residencial automatizada é a integração entre diferentes sistemas tecnológicos da residência, aliada à capacidade de executar funções e comandos a partir de instruções programáveis. Essa integração pode envolver diversos subsistemas, como as instalações elétricas — incluindo iluminação, persianas e cortinas —, a gestão de energia e os sistemas de segurança, como alarmes de intrusão e sensores técnicos de fumaça, vazamento de gás ou inundação (CARDOZO; FERREIRA, 2023; BEZERRA, 2013).

Outros sistemas que podem ser integrados incluem circuito fechado de televisão (CFTV), monitoramento e controle de acesso, sistemas multimídia de áudio e vídeo, som ambiente e entretenimento digital. Além disso, também podem fazer parte da automação os sistemas de comunicação, como telefonia e interfonia, bem como sistemas de irrigação, climatização, aquecimento de água e acionamento de bombas (Trisnawan *et al.* (2019) e Sgarbi e Tonidandel (2006)). Este trabalho busca com um sistema montado e estruturado, a partir do ESP32, apresentar a possibilidade da automação residencial, com o intuito de trazer comodidade nas instalações elétricas da residência e segurança. Inseriu-se no sistema um detector de chuva, um detector de gás, um buzzer para avisos sonoros e uma detecção

por meio de radiação infravermelha. Os acionamentos pelo ESP32 e os códigos utilizados para a criação do projeto foram apresentados no trabalho e foram desenvolvidos durante a montagem do sistema de automação. O sistema permitiria ao usuário a possibilidade de acionar os equipamentos que somente ele pode acessar por meio da criação de uma rede de dados com senha, conjuntamente com o controle e o gerenciamento do que se encontra ligado e gastando energia desnecessária de sua instalação, assim podendo diminuir custos de energia na conta de luz, o usuário pode até mesmo configurar para desligar equipamentos que não vão ser utilizados durante o período de sono.

1.1 Justificativas e Relevância

A proposta deste projeto visa atender a essa demanda por meio do desenvolvimento de um sistema de segurança residencial de baixo custo, utilizando o microcontrolador ESP32 como unidade central de processamento. Esse componente foi selecionado devido à sua capacidade de integrar conectividade Wi-Fi e Bluetooth, além de apresentar ampla compatibilidade com sensores, câmeras e diversos módulos eletrônicos, características que o tornam adequado para aplicações de segurança residencial. A relevância deste projeto reside na proposta de uma solução tecnológica que combina baixo custo e alta eficiência, contribuindo para tornar os sistemas de segurança residencial mais acessíveis a um público amplo. Além disso, a modularidade e a escalabilidade do sistema permitem que ele seja adaptado e expandido conforme as necessidades específicas dos usuários, promovendo maior autonomia e proteção em diferentes contextos de uso. Em um cenário no qual a segurança residencial se torna uma preocupação cada vez mais presente, especialmente em áreas urbanas, soluções tecnológicas como a apresentada neste trabalho possuem potencial para contribuir positivamente para a melhoria da qualidade de vida e para o aumento da sensação de segurança das pessoas.

1.2 Objetivos

Geral

Desenvolver um sistema de segurança residencial de baixo custo, baseado no microcontrolador ESP32, capaz de integrar funcionalidades de monitoramento por câmera, controle de alarme sonoro, gerenciamento de fechadura eletrônica e detecção de gases tóxicos, permitindo o controle e o monitoramento do sistema em tempo real por meio de um aplicativo móvel.

Específicos

- Implementar um sistema de monitoramento por câmera utilizando o módulo ESP32-CAM, possibilitando a transmissão de imagens em tempo real;
- Desenvolver uma funcionalidade que permita a ativação e a desativação remota de um alarme sonoro por meio de um aplicativo móvel;
- Integrar ao sistema o controle de uma fechadura eletrônica, permitindo a abertura e o fechamento da porta por meio do aplicativo;
- Incorporar sensores capazes de detectar gases tóxicos, enviando notificações imediatas ao usuário em caso de detecção.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se na utilização do microcontrolador ESP32 DevKit, que integra recursos de conectividade Wi-Fi e Bluetooth, além de oferecer suporte a dispositivos de entrada e saída, boa capacidade de processamento e compatibilidade com diversos sensores e atuadores. Essas características possibilitam a implementação das funcionalidades propostas para o sistema de segurança residencial.

Para as funcionalidades citadas, será desenvolvido os módulos de:

- Monitoramento por câmera: será utilizado o módulo ESP32-CAM, responsável pela captura e transmissão de imagens por meio da rede Wi-Fi para o aplicativo móvel;
- Sistema de alarme: será composto por um buzzer e indicadores visuais (LEDs), acionados a partir de eventos definidos no software do sistema;
- Controle de fechadura eletrônica: será realizado por meio de relés ou módulos de acionamento conectados a fechaduras eletromagnéticas, permitindo o controle remoto de abertura e fechamento;
- Detecção de gases tóxicos: será incorporado um sensor do tipo MQ-2 ou MQ-135, capaz de identificar a presença de fumaça e gases nocivos, como monóxido de carbono (CO);
- Arquitetura do sistema: será projetada com foco em baixo custo, facilidade de montagem, confiabilidade e escalabilidade, permitindo sua aplicação em residências, pequenos escritórios ou espaços de uso coletivo com mínimas adaptações.

1.4 Organização e estrutura

A estrutura deste trabalho está organizada em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, bem como os objetivos geral e específicos, além da justificativa e da relevância do estudo. O Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, abordando os principais conceitos teóricos relacionados ao tema, bem como os fundamentos da automação residencial e da domótica que embasam o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 3 descreve os materiais utilizados e a metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema proposto e para a realização da pesquisa. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos durante o desenvolvimento e a implementação do sistema, bem como a análise dos dados coletados. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e as considerações finais do trabalho, destacando as contribuições da pesquisa e possíveis perspectivas para trabalhos futuros.

2 Revisão de literatura

2.1 Automação Residencial (Domótica)

Considera-se automação qualquer processo ou sistema que auxilie o ser humano na realização de tarefas cotidianas, sejam elas comerciais, industriais, domésticas ou rurais. A automação consiste na utilização de dispositivos automáticos, eletrônicos e inteligentes para a execução ou o controle de determinados processos. Dessa forma, é possível automatizar processos industriais por meio do controle de máquinas, bem como realizar o gerenciamento de estoques e operações financeiras, proporcionando maior agilidade nas atividades comerciais, por exemplo, por meio da utilização de códigos de barras, sistemas magnéticos ou tecnologias baseadas em radiofrequência. A automação predial, conhecida como domótica e objeto de estudo deste trabalho, é responsável pelo controle e pela gestão de diversas atividades em ambientes residenciais ou em edifícios, sejam eles residenciais ou comerciais. Entre as aplicações mais comuns estão o controle de iluminação, elevadores, áreas de lazer e outros sistemas presentes em edificações. Esse tipo de automação tem como objetivo principal proporcionar maior segurança, conforto e praticidade aos usuários (TEZA *et al.*, 2002; ACCARDI; DODONOV, 2012).

Ainda, segundo (ACCARDI; DODONOV, 2012), a automação residencial deixou de ser composta por soluções isoladas e passou a constituir ecossistemas tecnológicos integrados, nos quais sensores, atuadores e plataformas de gerenciamento operam de forma coordenada. Em revisões realizadas pelos autores, destacam-se aplicações voltadas à segurança, como sistemas de detecção de intrusão, monitoramento remoto e emissão de alertas, que atualmente representam um dos principais focos da automação doméstica contemporânea. Nesse contexto, observa-se a adoção de modelos baseados em cenários programáveis, nos quais eventos do ambiente acionam respostas automatizadas previamente configuradas. Essa abordagem representa a evolução de sistemas reativos de baixa complexidade para arquiteturas mais inteligentes e orientadas por regras, capazes de aumentar a eficiência operacional e reduzir a necessidade de intervenção humana direta.

O desenvolvimento da automação residencial teve origem em sistemas semelhantes utilizados inicialmente nos setores industrial e comercial. Nessas áreas, a escala de produção e o interesse econômico dos fabricantes e prestadores de serviços favoreceram o investimento em tecnologias capazes de proporcionar maior retorno financeiro. No Brasil, esse processo ocorreu de forma semelhante: os primeiros sistemas automatizados foram desenvolvidos para aplicações industriais, ainda na década de 1970. Após a consolidação da automação industrial, o setor comercial passou a adotar soluções de automação, que continuam evoluindo até os dias atuais devido aos avanços da informática e dos softwares de supervisão

e gerenciamento (CARDOZO; FERREIRA, 2023; ACCARDI; DODONOV, 2012).

A domótica também se destaca pela utilização de microcontroladores e microcomputadores no desenvolvimento de sistemas de monitoramento e vigilância residencial. Esses sistemas podem integrar câmeras, sensores e mecanismos de transmissão remota de dados, permitindo a implementação de soluções de baixo custo com desempenho confiável em aplicações de monitoramento. Nesse contexto, o microcontrolador ESP32 tem demonstrado grande aplicabilidade em sistemas de monitoramento ambiental e residencial, possibilitando a integração de sensores de gás, umidade e outros dispositivos a plataformas móveis. Seu desempenho em aplicações relacionadas à Internet das Coisas (IoT) destaca-se pela capacidade de processamento, conectividade nativa e eficiência energética. Essas características tornam o ESP32 uma solução competitiva em relação a outras plataformas embarcadas, especialmente em projetos que demandam conectividade contínua (MURATORI; DAL BÓ, 2011; CARDOZO; FERREIRA, 2023). A Figura 1 ilustra um sistema utilizado para a automação residencial.

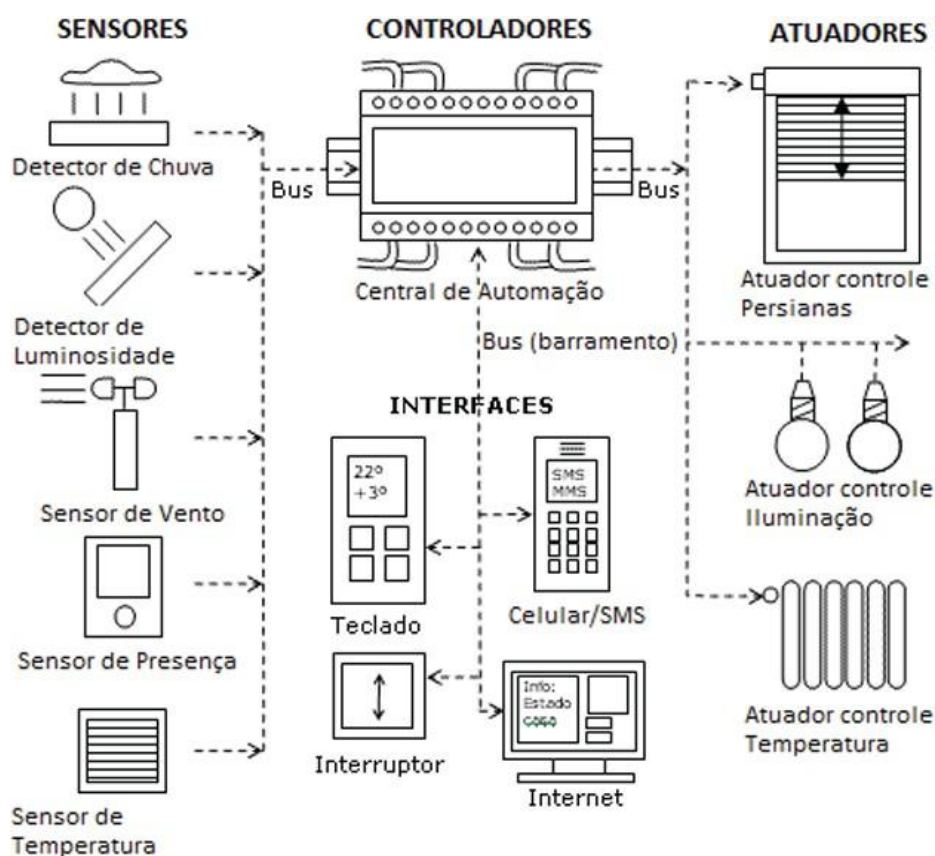


Figura 1 – Projeto de Automação Residencial. Fonte: Accardi e Dodonov (2012)

2.2 ESP32

O ESP32 é uma plataforma para o desenvolvimento de aplicações referentes à automação residencial e Internet das Coisa (IoT, do inglês Internet of Things). O ESP32 utiliza recursos integrados com o Wi-Fi e que simplificam a conexão e a comunicação com outros dispositivos ou redes, com baixo consumo de energia, sendo possível a sua programação utilizando a linguagem de programação C++ e a IDE do Arduino. A implementação de dispositivos baseados em ESP32 sob a perspectiva da integração sistêmica é destacado que as arquiteturas modulares favorecem a escalabilidade, a manutenção e a expansão funcional, características estratégicas para sistemas residenciais personalizados e evolutivos (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

O caráter estruturante da modularidade e da interoperabilidade também é abordada por apresentar uma plataforma de integração de componentes embarcados em aplicações espaciais e contribui teoricamente ao demonstrar práticas avançadas de confiabilidade estrutural e integração de subsistemas, conceitos aplicáveis a sistemas críticos de segurança. A segurança das comunicações em redes IoT por meio de conexões Wi-Fi, definidos por software, apresentam os requisitos de desempenho e a necessidade de protocolos robustos de proteção de dados. Tais aspectos são primordiais em sistemas residenciais conectados, nos quais a integridade das informações impacta diretamente a confiabilidade do monitoramento (MALINOWSKI; YU, 2011).

Observa-se então a convergência na literatura quanto à viabilidade técnica e operacional do uso de sistemas embarcados em soluções de segurança residencial inteligente, a incorporação de microcontroladores como o ESP32, associada à conectividade IoT, à arquitetura modular e ao monitoramento remoto, configurando um modelo tecnológico acessível, escalável e eficiente, como solução apta a atender às demandas contemporâneas de proteção residencial automatizada. O ESP32 tem a possibilidade da confiabilidade operacional, da resposta em tempo real e da otimização de recursos computacionais. Embora direcionado às aplicações industriais, à sistemas de segurança residencial, que exigem, de forma análoga, operação ininterrupta e elevados níveis de confiabilidade (MALINOWSKI; YU, 2011; MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

A Figura 2 ilustra a plataforma de software ESP32, utilizado neste trabalho como fonte principal da conectividade e estrutura da automação.



Figura 2 – ESP32. Fonte: [Oliveira \(2021\)](#)

2.3 Sensores

Os sensores são dispositivos cuja função é detectar e responder a estímulos presentes em um sistema. Existem diferentes tipos de sensores, cada um projetado para responder a determinados estímulos, como calor, pressão, movimento e luz. Após detectar um estímulo, o sensor gera um sinal que pode ser convertido e interpretado por outros dispositivos do sistema, possibilitando a realização de ações ou o processamento de informações. Os sensores também podem ser classificados como sensores internos ou externos. Os sensores internos são normalmente utilizados para determinar parâmetros relacionados ao movimento de um sistema, como posição, velocidade, aceleração e força. Já os sensores externos são utilizados para identificar características do ambiente ao redor do sistema ou de objetos presentes nesse ambiente, como distância, contato (tato) e visão. Esses dispositivos são amplamente empregados em diferentes tipos de aplicações, tanto em ambientes industriais e comerciais quanto em residências. Em sistemas de automação, os sensores desempenham um papel fundamental ao permitir a coleta de informações do ambiente e possibilitar a tomada de decisões automáticas pelos sistemas eletrônicos. A Figura 3 mostra um estilo de sensor que pode vir a ser utilizado em sistemas de automação.

2.4 Atuadores

O atuador é um elemento que produz movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos e convertem a energia elétrica, os comandos hidráulicos ou pneumáticos em potência mecânica. Por intermédio dos sistemas de transmissão, a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos eixos para que se movimentem, ou seja, atua como uma ponte entre o domínio eletrônico e o físico, recebendo sinais de controle que permitem a conversão de energia em movimento controlado.

A energia mecânica gerada é valiosa para a operação de diversos sistemas, sendo



Figura 3 – Sensor. Fonte: [Wendling \(2010\)](#)

fundamental para automatizar e controlar processos na chamada Indústria 4.0. Um atuador é um componente necessário em sistemas mecânicos e de automação. A principal função de um atuador é mover ou controlar um mecanismo ou sistema. Em aplicações industriais, são amplamente utilizados para operar válvulas, portões e outros dispositivos que exigem a atuação mecânica. Essa automação não apenas melhora a eficiência operacional, mas também diminui custos e otimiza a segurança.

A Figura 4 mostra um estilo de atuador que pode vir a ser utilizado em sistemas de automação.



Figura 4 – Atuador Elétrico. Fonte: [SILVA et al. \(2019\)](#)

3 Desenvolvimento

Este capítulo apresenta, de forma detalhada, os materiais utilizados e a metodologia adotada no desenvolvimento do sistema de automação residencial, contemplando as etapas técnicas envolvidas na concepção, implementação e validação do protótipo. São descritos a plataforma de hardware selecionada, os sensores e atuadores utilizados, bem como as conexões elétricas estabelecidas entre os componentes, destacando os critérios técnicos que fundamentaram cada escolha. A estratégia definida para a aquisição, o processamento e a transmissão dos dados inclui os procedimentos de leitura dos sensores, o tratamento das informações pelo microcontrolador e a comunicação por meio de rede sem fio. O detalhamento dessas etapas tem como objetivo assegurar a reprodutibilidade do sistema, permitindo sua compreensão, replicação e aprimoramento, além de fundamentar tecnicamente as decisões adotadas ao longo do desenvolvimento.

3.1 Materiais

A escolha dos componentes utilizados fundamenta-se no baixo custo, na facilidade de integração com microcontroladores e na ampla aplicação em sistemas de automação residencial e segurança, garantindo a viabilidade técnica e econômica do sistema proposto.

3.1.1 Plataforma do Hardware

A plataforma de hardware adotada foi o ESP32 Dev Module, escolhido por possuir conectividade Wi-Fi integrada, capacidade de processamento compatível com as demandas do sistema e ampla disponibilidade de entradas e saídas analógicas e digitais. Essas características tornam o dispositivo adequado para aplicações voltadas à Internet das Coisas (IoT), especialmente em sistemas de monitoramento e automação. O ESP32 integra um microcontrolador com desempenho suficiente para permitir a execução simultânea de tarefas relacionadas à leitura de sensores, ao processamento de dados e à comunicação em rede. Suas interfaces de comunicação possibilitam a integração eficiente com diferentes dispositivos, como as portas GPIO, utilizadas para a leitura de sinais digitais e para o acionamento de atuadores; o conversor analógico-digital (ADC), que permite a aquisição de sinais analógicos provenientes de sensores; e a interface UART, empregada na comunicação serial durante as etapas de desenvolvimento e depuração. Além disso, o dispositivo dispõe das interfaces SPI e I^2C , que viabilizam a comunicação com periféricos externos. A interface SPI é indicada para aplicações que exigem maior velocidade de transmissão de dados, enquanto a interface I^2C é adequada para sistemas que utilizam múltiplos dispositivos e apresentam menor complexidade de cabeamento. Adicionalmente, a compatibilidade do

ESP32 com a IDE Arduino contribui para a simplificação do desenvolvimento do software embarcado, facilitando a configuração dos periféricos, a implementação da lógica de controle e a realização de testes. Dessa forma, a escolha do ESP32 Dev Module justifica-se pela combinação entre desempenho, conectividade, versatilidade e baixo custo, atendendo de maneira adequada aos requisitos do sistema proposto. A Figura 5 ilustra o ESP32 Dev Module utilizado para o desenvolvimento do hardware.



Figura 5 – Microcontrolador ESP32. Fonte: [Maier, Sharp e Vagapov \(2017\)](#)

3.1.2 Sensores e Atuadores

Para o funcionamento do sistema, foram empregados sensores destinados à detecção de diferentes eventos, além de um atuador responsável pela emissão de sinalização sonora. O conjunto de dispositivos selecionados permite o monitoramento de condições ambientais e a identificação de situações relacionadas à segurança residencial, com base em diferentes princípios físicos de funcionamento. Entre os dispositivos utilizados, destaca-se o sensor de chuva analógico, que opera a partir da variação da resistência elétrica em sua superfície sensível quando entra em contato com a água. Essa variação provoca alterações no sinal analógico enviado ao microcontrolador, permitindo a detecção da presença de precipitação. A Figura 6 ilustra o ESP32 Dev Module utilizado para o desenvolvimento do hardware.



Figura 6 – Sensor Analógico de Chuva. Fonte: [Barbosa et al. \(s.d.\)](#)

O sensor de movimento PIR (HC-SR501) baseia-se no efeito piroelétrico, detectando variações na radiação infravermelha emitida por corpos em movimento dentro de sua área de cobertura, sendo especialmente adequado para a identificação de presença humana. A Figura 3 apresenta o ESP32 Dev Module utilizado para o desenvolvimento do hardware.



Figura 7 – Sensor de Movimento PIR (HC-SR501). Fonte: [Pires \(2023\)](#)

O sensor magnético do tipo reed switch, associado a um comparador LM393, opera a partir da ação de um campo magnético externo sobre contatos metálicos internos encapsulados. Esse princípio de funcionamento permite identificar a abertura ou o fechamento de portas e janelas por meio da variação do sinal elétrico gerado pelo sensor. A Figura 8 apresenta o sensor magnético do tipo reed switch associado a um comparador LM393.



Figura 8 – Sensor Tipo Reed Switch LM393. Fonte: [Coutinho \(2016\)](#)

A detecção de gases inflamáveis e fumaça é realizada pelo sensor MQ-2, que utiliza um elemento sensor semiconductor cuja resistência elétrica varia em função da concentração de determinados gases no ambiente. A Figura 9 apresenta o sensor magnético do tipo reed switch associado a um comparador LM393.



Figura 9 – Sensor Analógico de Chuva. Fonte: [Trisnawan et al. \(2019\)](#)

Como elemento de resposta do sistema, foi adotado um buzzer passivo, que atua como transdutor eletroacústico, convertendo sinais elétricos em ondas sonoras para emissão de alertas audíveis ao usuário. Trata-se de um dispositivo simples que produz ruídos audíveis quando ligado, em diferentes frequências que produzem sons distintos. A Figura 6 exibe o buzzer passivo, com funcionamento a partir de tensão de 5 V e corrente elétrica em torno de 40 mA. A Figura 10 apresenta o Buzzer Passivo sonoro, com forma de um atuador do sistema de automação.



Figura 10 – Buzzer Passivo. Fonte: [Pires \(2023\)](#)

3.2 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, utilizou-se o microcontrolador ESP32 Dev Module, uma plataforma que reúne, em um único dispositivo, recursos de conectividade sem fio (Wi-Fi e Bluetooth), capacidade de processamento adequada, suporte a múltiplos dispositivos de entrada e saída e compatibilidade com diversos sensores e atuadores. As funcionalidades do sistema de domótica (automação residencial) foram desenvolvidas por meio da integração de diferentes sensores e dispositivos responsáveis pelo monitoramento do ambiente e pela geração de alertas. Entre os módulos implementados no sistema destacam-se: o sensor de presença, utilizado para detectar movimentação no ambiente; o sensor de gás MQ-2, responsável pela identificação da presença de gases potencialmente perigosos; a chave magnética (reed switch), utilizada para detectar a abertura ou o fechamento de portas e janelas; o sensor de chuva, empregado para identificar a presença de precipitação; e o buzzer, utilizado como dispositivo de alarme sonoro para sinalizar situações de alerta detectadas pelo sistema. A arquitetura do sistema foi planejada com o objetivo de garantir baixo custo, facilidade de montagem, confiabilidade e escalabilidade. Dessa forma, o sistema pode ser aplicado em residências, pequenos escritórios ou espaços de uso coletivo, com mínimas adaptações estruturais.

3.2.1 Conexões Elétricas

A montagem do protótipo utilizou uma fonte externa dedicada de 5 V para o sensor de gás MQ-2, sendo essa tensão fornecida de forma estável pela alimentação da placa ESP32 Dev Module, conectada ao computador por meio da interface USB. Essa configuração garantiu o correto funcionamento do sensor e a confiabilidade das leituras realizadas, mantendo-se um referencial comum de terra (GND – Ground) entre todos os componentes do sistema. As interconexões entre os sensores, o atuador e a placa ESP32 Dev Module foram realizadas por meio de fios do tipo jumper, permitindo a montagem do protótipo em ambiente de prototipagem e a realização de ajustes durante as etapas de teste. A organização das conexões considerou a compatibilidade elétrica entre os dispositivos, bem como a correta distribuição das portas de entrada e saída do microcontrolador. O buzzer passivo foi conectado a uma saída digital do microcontrolador, permitindo seu acionamento conforme a lógica de controle implementada. A alimentação dos sensores foi realizada utilizando tensões de 3, 3 V e 5, 0 V, de acordo com as especificações individuais de cada dispositivo. Além disso, foi estabelecido um terra comum (GND) entre a fonte externa,

A placa ESP32 Dev Module e os demais componentes, garantindo a estabilidade dos sinais elétricos e o correto funcionamento do sistema. Os sinais analógicos provenientes do sensor de chuva e do sensor de gás MQ-2 foram conectados às entradas ADC do microcontrolador. Já os sinais digitais do sensor de movimento PIR e do sensor magnético foram

associados a portas configuradas como entradas digitais. A Figura 11 exibe a montagem do sistema de automação industrial montado, conforme as descrições supracitadas.

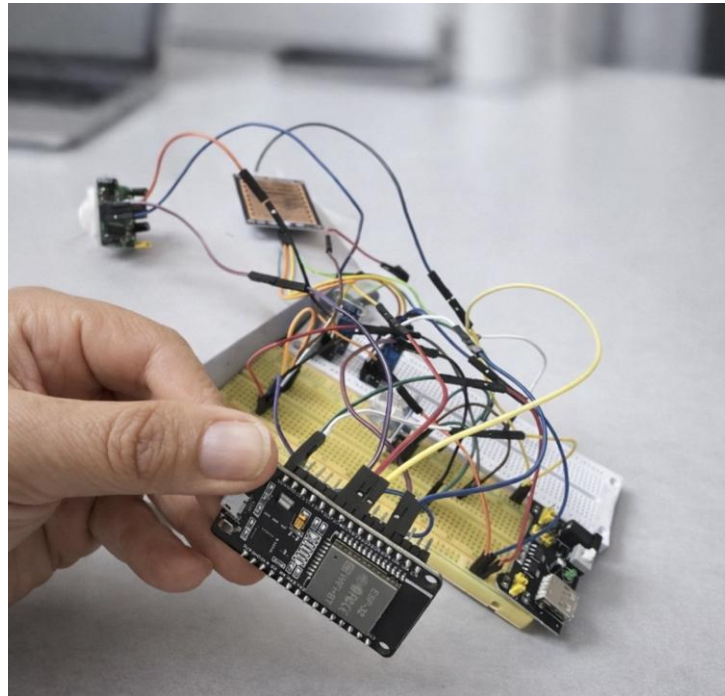


Figura 11 – Sistema de Automação Residencial. Fonte: Autor, 2026

A Tabela 1 apresenta o mapeamento das conexões realizadas, indicando os pinos da ESP32 associados a cada componente do sistema.

Tabela 1 – Mapeamento das Conexões no ESP32

Mapeamento das Ligações Elétricas	
Dispositivo	Pino ESP32
Sensor de Chuva (AO)	GPIO34
Sensor PIR (OUT)	GPIO27
Sensor Magnético (D0)	GPIO26
Sensor de Gás MQ-2 (AO)	GPIO35
Buzzer Passivo	GPIO25
Alimentação dos Sensores	3,3 V / 5 V
Terra	GND

3.2.2 Método de Aquisição e Processamento dos Dados

A aquisição de dados no sistema é realizada por meio dos sensores conectados à plataforma ESP32 Dev Module, os quais fornecem sinais elétricos relacionados às grandezas monitoradas no ambiente. Essas informações são coletadas pelo microcontrolador considerando as características de cada dispositivo e o tipo de sinal disponibilizado, que pode ser analógico ou digital. Os sinais analógicos provenientes do sensor de chuva e do

sensor de gás MQ-2 são lidos pelas entradas do conversor analógico-digital (ADC) da ESP32, sendo convertidos em valores digitais para posterior interpretação pelo sistema.

Por outro lado, os sensores PIR de presença e magnético (reed switch) fornecem sinais digitais, interpretados diretamente como estados lógicos, permitindo a identificação de eventos como presença de movimento no ambiente ou abertura de portas e janelas. Após a etapa de aquisição, os dados são processados pelo software embarcado executado no microcontrolador. A partir da interpretação dos sinais provenientes dos sensores, o sistema identifica possíveis situações de alerta e executa as ações correspondentes. Entre essas ações destaca-se o acionamento do buzzer, responsável pela emissão de alertas sonoros quando são detectadas condições associadas à segurança do ambiente.

Dessa forma, o método adotado permite a coleta e interpretação das informações provenientes dos sensores, possibilitando o funcionamento adequado do sistema de automação residencial desenvolvido.

A Figura 12 exibe a montagem completa do sistema proposto para a coleta dos dados e preparo para o funcionamento dos componentes.

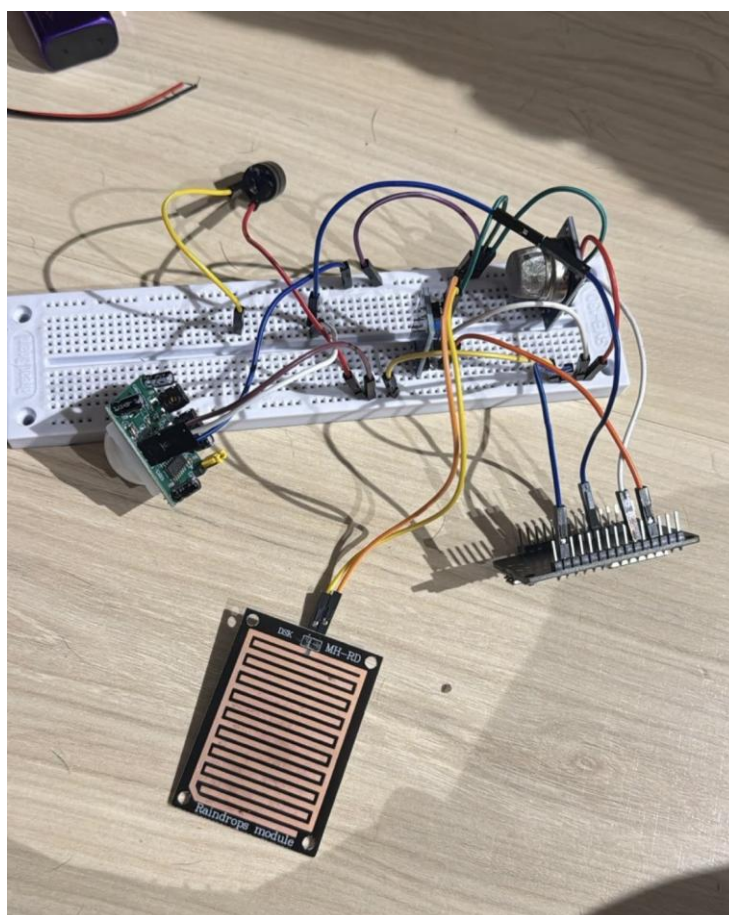


Figura 12 – Sistema de Automação Residencial. Fonte: Autor, 2026

3.2.3 Simulação

O trabalho contou com a simulação do sistema por meio da plataforma Wokwi, um ambiente online voltado à simulação de microcontroladores e circuitos eletrônicos. Essa ferramenta permite a emulação do funcionamento de placas como o ESP32, bem como a integração virtual de sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos, possibilitando a análise do comportamento do sistema sem a necessidade de uma montagem física inicial. A utilização da plataforma *Wokwi* viabilizou a realização de testes preliminares para a validação das conexões elétricas e da lógica de controle implementada no software embarcado. Por meio da simulação, foi possível observar o funcionamento do sistema em diferentes condições de operação, identificar possíveis inconsistências no código e realizar ajustes necessários antes da etapa de implementação prática. Esse procedimento contribuiu para a redução de erros durante a montagem do protótipo físico, além de aumentar a confiabilidade e a eficiência do sistema desenvolvido. Cabe destacar que o sensor magnético foi configurado utilizando o modo INPUT_PULLUP, recurso interno do microcontrolador que dispensa a utilização de resistores externos e garante níveis lógicos estáveis durante a leitura do sinal.

A Figura 13 exibe a montagem completa do sistema proposto para a coleta dos dados e preparo para o funcionamento dos componentes.

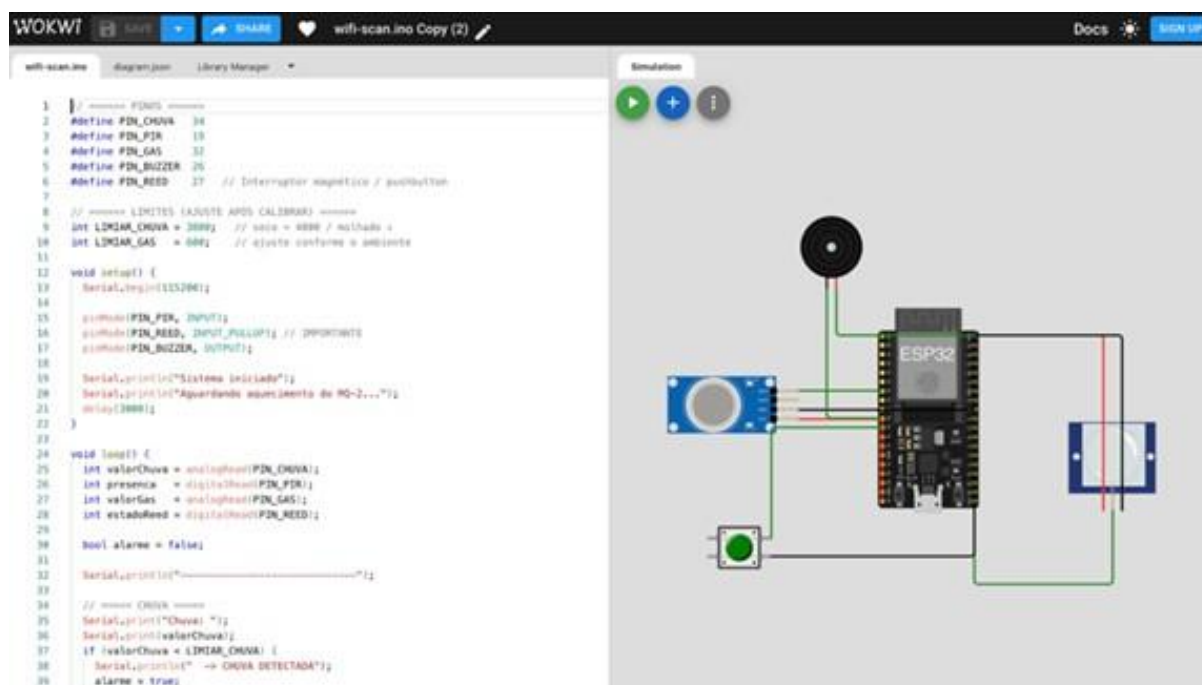


Figura 13 – Simulação do Sistema de Automação Residencial. Fonte: Autor, 2026

3.3 Código Implementado

A implementação do sistema utilizou a linguagem de programação C/C++, por meio da IDE Arduino, amplamente empregada no desenvolvimento de sistemas embarcados. Essa linguagem apresenta boa eficiência no uso de memória e no tempo de processamento, além de possuir sintaxe estruturada e suporte direto aos recursos de hardware do microcontrolador, o que facilita o controle de entradas e saídas digitais e analógicas. O código foi desenvolvido de forma incremental, acompanhando a integração progressiva dos sensores e do atuador à placa, o que possibilitou a validação individual de cada componente do sistema. Durante esse processo, foram realizados ajustes necessários para garantir leituras confiáveis dos sensores e o correto funcionamento do sistema como um todo. A escolha da IDE Arduino deve-se à sua ampla compatibilidade com o ESP32, à facilidade de utilização e à disponibilidade de diversas bibliotecas, que contribuem para agilizar o desenvolvimento do software e facilitar a identificação e a correção de possíveis falhas. O código-fonte completo utilizado no desenvolvimento do projeto é apresentado no Apêndice A.

3.4 Estratégia de Leitura e Processamento

Os sensores de chuva e de gás MQ-2 foram conectados às entradas analógicas do ESP32. Para melhorar a estabilidade das medições, considerando a natureza dos dados em meio digital, configurou-se a atenuação do conversor analógico-digital (ADC) em 11 dB, o que permite a leitura de uma faixa de tensão mais ampla e contribui para a redução de oscilações nos valores obtidos. O sensor de movimento PIR foi lido por meio de entrada digital, respeitando o tempo de estabilização inicial de aproximadamente 60 segundos, conforme especificação do fabricante. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de evitar leituras incorretas logo após a energização do sistema. Durante os testes, observou-se que o sensor apresentou elevada sensibilidade às condições do ambiente, tornando necessário um maior isolamento físico do dispositivo, com o objetivo de reduzir interferências externas e minimizar a ocorrência de detecções falsas, garantindo maior confiabilidade nas leituras realizadas. O sensor magnético foi monitorado por meio de amostragem múltipla, técnica utilizada para reduzir ruídos elétricos e minimizar a ocorrência de falsos disparos causados por vibrações ou interferências momentâneas.

Para cada sensor foram definidos limiares experimentais, obtidos por meio de testes práticos realizados em diferentes condições de operação. Estes testes permitiram identificar faixas de valores indicativos de operação normal e de condições de alerta. A partir dessa análise, os limiares foram ajustados de modo a equilibrar sensibilidade e confiabilidade, reduzindo a ocorrência de falsos positivos e garantindo uma resposta mais confiável do sistema diante de eventos reais. Dessa forma, os valores adotados possibilitaram a correta classificação dos estados monitorados e contribuíram para a estabilidade e eficiência do

sistema proposto.

3.5 Lógica do Alarme

A lógica de funcionamento do sistema do alarme é definida de forma a priorizar a segurança do ambiente monitorado, por uma estratégia de alarme baseada na detecção de eventos considerados críticos. O sistema realiza a leitura contínua dos sensores e avalia, em tempo de execução, a ocorrência de condições previamente classificadas como situações de risco.

As variáveis monitoradas incluem a detecção de chuva, a identificação de movimento por presença humana, a abertura de portas ou janelas e a presença de gases inflamáveis ou fumaça. Cada um desses eventos é analisado individualmente pelo microcontrolador, a partir dos sinais elétricos fornecidos pelos sensores correspondentes.

Sempre que ao menos uma dessas condições é identificada, o sistema interpreta o evento como um estado de alerta e aciona automaticamente o atuador sonoro. O buzzer permanece ativo enquanto a condição de risco persistir, permitindo a sinalização imediata de situações definidas previamente como anormais no ambiente. Essa lógica garante uma resposta rápida e direta do sistema, reduzindo o tempo de reação do usuário e contribuindo para a eficácia do mecanismo de segurança implementado.

3.6 Sinalização Sonora

A sinalização sonora do sistema é realizada por meio de um buzzer passivo, empregado como atuador de alarme. Esse dispositivo não possui circuito interno de oscilação, exigindo que o microcontrolador envie um sinal elétrico periódico para viabilizar a emissão sonora.

No sistema desenvolvido, o ESP32 é responsável pela geração deste sinal, produzindo uma onda quadrada em frequência necessária para o funcionamento do buzzer. O acionamento é realizado por meio de uma saída digital do microcontrolador, permitindo o controle do alarme de acordo com a lógica definida no software embarcado.

Essa solução apresenta simplicidade de implementação, funcionamento confiável e compatibilidade com os limites elétricos da placa, atendendo de forma adequada aos requisitos do sistema proposto.

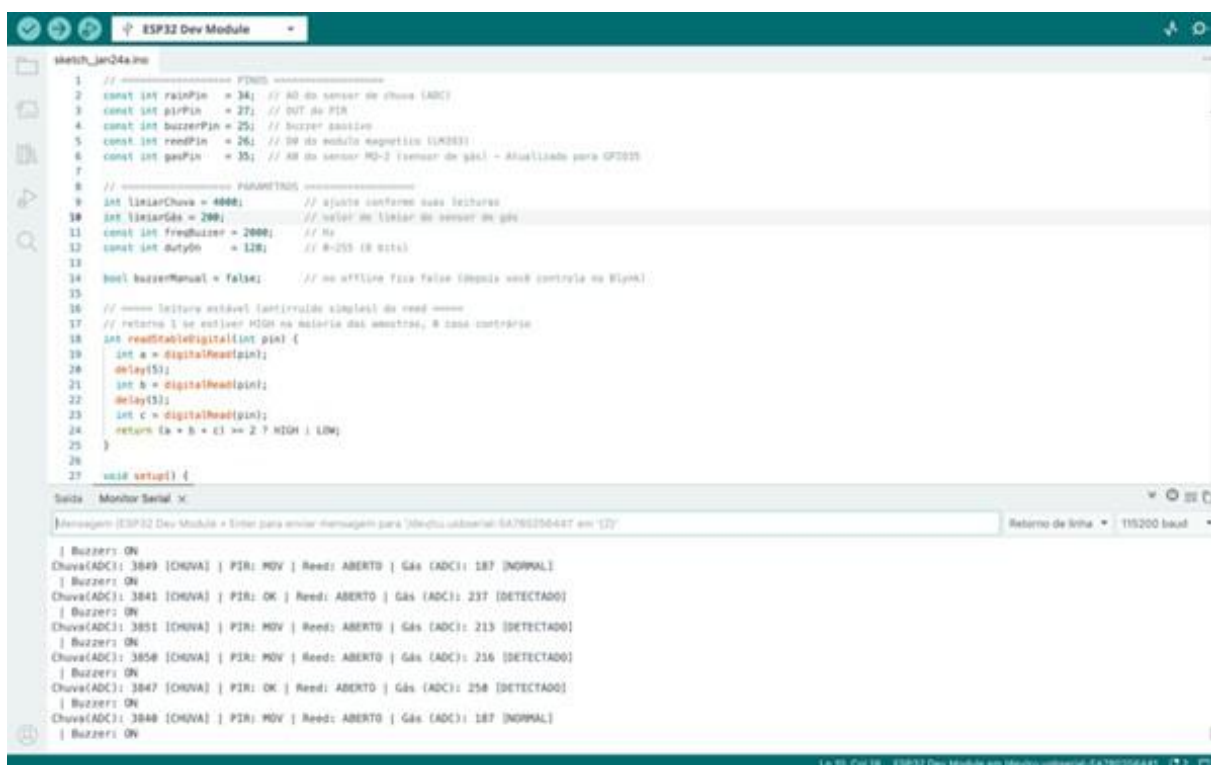
3.7 Testes e Validação do Sistema

Os testes de funcionamento do sistema foram realizados por meio da execução do código completo na placa ESP32, com todos os sensores e o atuador conectados simultaneamente, permitindo a avaliação do comportamento do protótipo em operação integrada. O monitoramento das variáveis foi realizado em tempo real por meio do Serial Monitor da IDE Arduino, recurso utilizado para verificar as leituras dos sensores, os estados lógicos interpretados pelo sistema e o acionamento do atuador sonoro. Durante os testes, os sensores de chuva, movimento PIR, sensor magnético e sensor de gás MQ-2 foram submetidos a diferentes condições de operação simuladas, com o objetivo de verificar a detecção dos eventos e a resposta do sistema.

As leituras analógicas dos sensores de chuva e de gás foram exibidas em valores ADC, permitindo a comparação direta com os limiares previamente definidos no software. Os sensores PIR e magnético tiveram seus estados monitorados por meio de sinais digitais, representando, respectivamente, a detecção de movimento e a abertura ou o fechamento de portas e janelas. O sensor de gás MQ-2 apresentou funcionamento adequado durante os testes, respondendo de forma coerente às variações na concentração de gás no ambiente.

As leituras obtidas ultrapassaram o limiar configurado sempre que a presença de gás foi simulada, resultando na correta ativação do estado de alerta. Esse comportamento confirmou a eficiência da alimentação externa dedicada de 5,0 V e a confiabilidade do método de leitura adotado. A lógica de alarme implementada demonstrou eficiência, uma vez que a ativação de qualquer um dos sensores monitorados resultou no acionamento imediato do buzzer passivo. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade do sistema, foram adotadas técnicas simples de filtragem para reduzir a influência de ruídos e variações momentâneas nos sinais digitais, destacando-se a leitura múltipla do sensor magnético. Nesse procedimento, o estado do sensor é mostrado repetidamente em curtos intervalos de tempo, sendo considerado válido o valor predominante entre as leituras, o que contribuiu para a redução da ocorrência de falsos disparos durante os testes.

A Figura 14 apresenta um registro do Monitor Serial da IDE Arduino durante a execução do sistema, evidenciando as leituras simultâneas dos sensores, a identificação dos estados normais e de alerta, bem como o acionamento do buzzer.



```

1 // ===== PINS =====
2 const int rainPin = 34; // AD do sensor de chuva (ADC)
3 const int pirPin = 27; // OUT do PIR
4 const int buzzerPin = 25; // buzzer sonifer
5 const int reedPin = 26; // DO do modulo magnetico (LM393)
6 const int gasPin = 35; // AD do sensor MQ-2 (sensor de gás) - Atualizado para GP2015
7
8 // ===== PINOUTS =====
9 int linearChuva = 4000; // ajuste conforme suas leituras
10 int linearGás = 200; // ajuste de linear do sensor de gás
11 const int frequency = 2000; // Hz
12 const int dutyOn = 120; // 0-255 (0 bits)
13
14 bool buzzerManual = false; // se o botão for pressionado (buzzer não controla no Wink)
15
16 // ===== Tarefa principal (entruide siglas) de read =====
17 // retorna 1 se estiver HIGH na maioria das amostras, 0 caso contrário
18 int readReleDigital(int pin) {
19   int a = digitalRead(pin);
20   delay(50);
21   int b = digitalRead(pin);
22   delay(50);
23   int c = digitalRead(pin);
24   return (a + b + c) >= 2 ? HIGH : LOW;
25 }
26
27 void setup() {

```

Serial Monitor x

Envie para enviar mensagens para "Arduino: USB Serial - SA780250447" em "COM3"

Retorno de linha 115200 baud

```

[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3849 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 187 [NORMAL]
[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3841 [CHUVA] | PIR: OK | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 237 [DETECTADO]
[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3851 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 213 [DETECTADO]
[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3858 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 216 [DETECTADO]
[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3847 [CHUVA] | PIR: OK | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 258 [DETECTADO]
[ Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3848 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 187 [NORMAL]
[ Buzzer: ON

```

Ln 10, Col 18 - ESP32 Dev Module em Arduino: USB Serial - SA780250447

Figura 14 – Monitor Serial da IDE Arduino durante a execução do sistema. Fonte: Autor, 2026

4 Resultados

Os resultados apresentados neste capítulo demonstram o funcionamento do sistema desenvolvido com base na plataforma ESP32, evidenciando a implementação e a operação dos sensores utilizados no sistema de automação residencial. São apresentados os resultados obtidos com o sensor de chuva, o sensor de gás, o sensor de presença e a chave magnética, bem como o funcionamento integrado desses dispositivos no sistema proposto.

4.1 Sensor de Chuva

O sensor de chuva foi montado em conjunto com um buzzer sonoro, responsável pela emissão de alertas em situações detectadas pelo sistema. A saída analógica do sensor foi conectada ao pino D34 do microcontrolador ESP32, enquanto sua alimentação foi realizada por meio da tensão de 3,3 V fornecida pela própria placa.

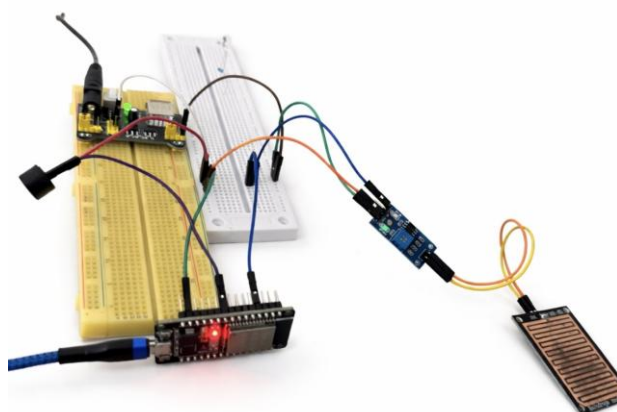


Figura 15 – Sensor de Chuva em funcionamento no ESP32. Fonte: Autor, 2026

Para avaliar o funcionamento do sensor de chuva, realizou-se um teste prático utilizando um ESP32-dev. O sensor teve sua saída analógica conectada ao pino D34 do microcontrolador, permitindo a leitura contínua da tensão gerada pelo módulo de detecção.

Inicialmente, coletou-se o valor fornecido pelo sensor em condição de superfície seca, que apresentou leitura próxima de 4095. Em seguida, simulamos a condição de chuva molhando a placa sensora, observando uma queda significativa para cerca de 1700–1800, conforme apresentado pelo Figura 16.

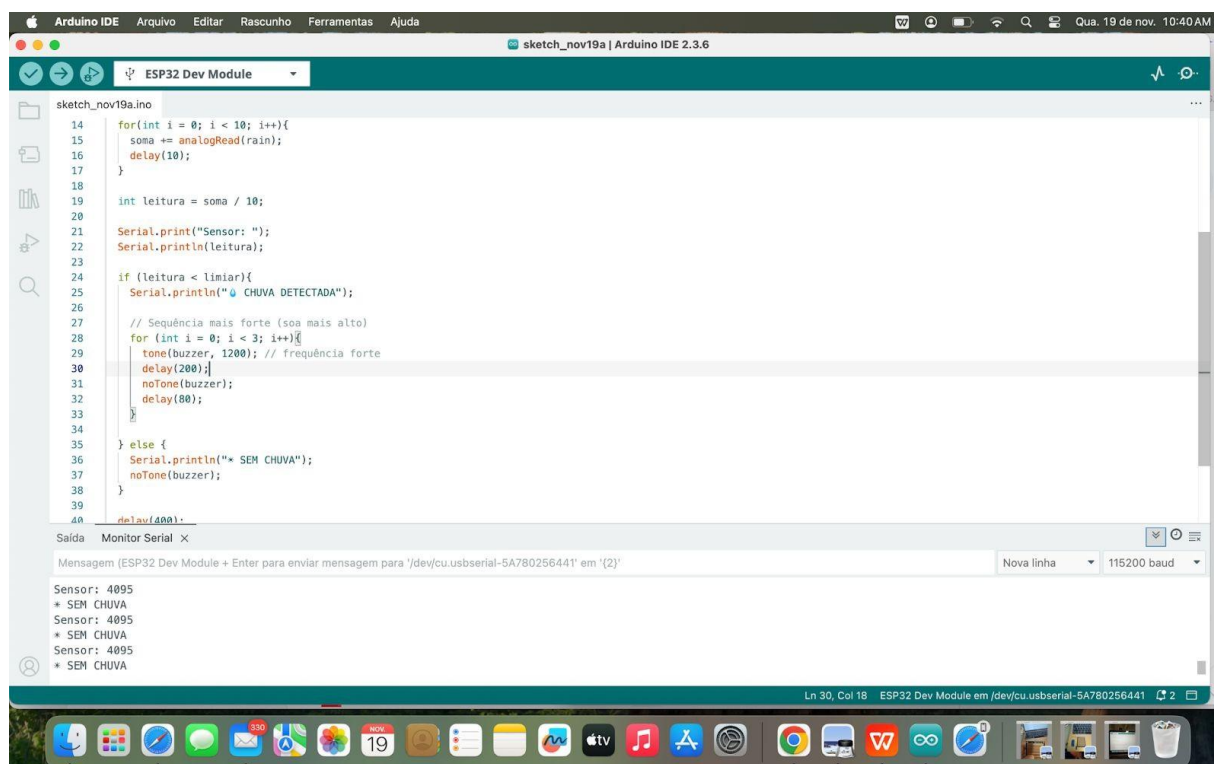


Figura 16 – Sensor de Chuva em funcionamento Arduino IDE. Fonte: Autor, 2026

Com base nesses resultados, definimos um limiar de 3000 para classificação automática do estado. A implementação final incluiu coleta de múltiplas amostras para reduzir ruído e exibição no monitor serial, distinguindo entre “Chuva detectada” e “Sem chuva”, permitindo validação clara do comportamento do sistema.

4.2 Sensor de Presença + Sensor de Chuva

O sistema foi complementado com a integração de um sensor de presença do tipo PIR (Passive Infrared), utilizado para a detecção de movimento no ambiente. A instalação do sensor foi realizada conectando-se o terminal VCC ao pino de 3, 3 V da placa ESP32, garantindo compatibilidade com o nível lógico do microcontrolador, enquanto o terminal GND foi conectado à terra do sistema. O pino OUT do sensor foi ligado a um pino digital configurado como entrada, como o GPIO 27. O sensor PIR opera a partir da detecção de variações na radiação infravermelha emitida por corpos em movimento dentro de sua área de alcance. Quando uma variação é identificada, o pino de saída (OUT) é acionado, enviando

um nível lógico alto (HIGH) ao microcontrolador, indicando a presença de movimento no ambiente. A Figura 17 ilustra o funcionamento do Arduíno IDE apresentando o sensor de presença coligado ao sensor de chuva.

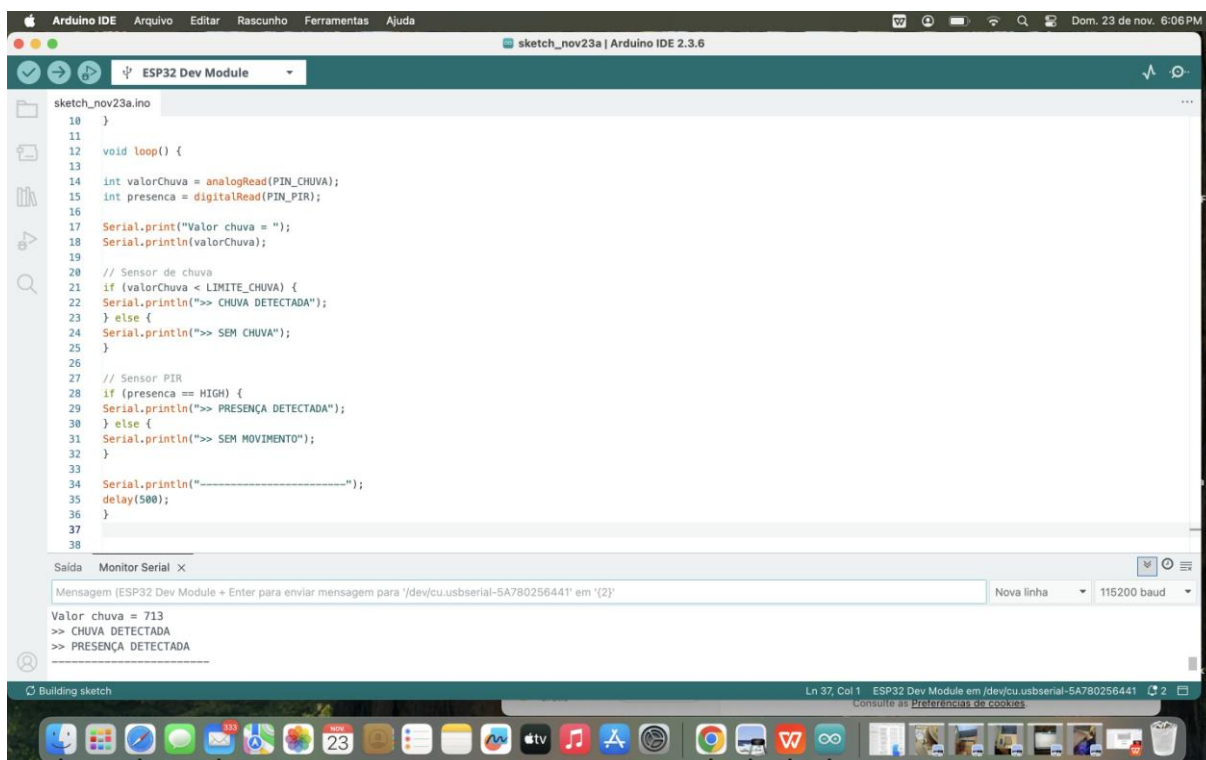


Figura 17 – Sensor de Chuva e de Presença em funcionamento pelo Arduíno IDE. Fonte: Autor, 2026

O sistema também conta com um buzzer passivo para a emissão de alertas sonoros. O buzzer é acionado sempre que o sistema identifica a presença de chuva, por meio da leitura analógica do sensor de chuva, ou a detecção de movimento, por meio do sinal digital proveniente do sensor PIR. Dessa forma, o dispositivo fornece uma indicação sonora do evento detectado. Os resultados obtidos demonstram que a correta escolha dos pinos de conexão respeitando suas características específicas, como entradas analógicas dedicadas e pinos exclusivamente de entrada, bem como a definição adequada do tipo de leitura (analógica para o sensor de chuva e digital para o sensor PIR) e do nível de alimentação (3, 3 V, compatível com a ESP32), são fatores fundamentais para garantir o funcionamento confiável dos sensores em sistemas embarcados baseados no microcontrolador ESP32. A Figura 18 apresenta a montagem do sensor de chuva, ligado ao buzzer sonoro e ao sensor de presença.

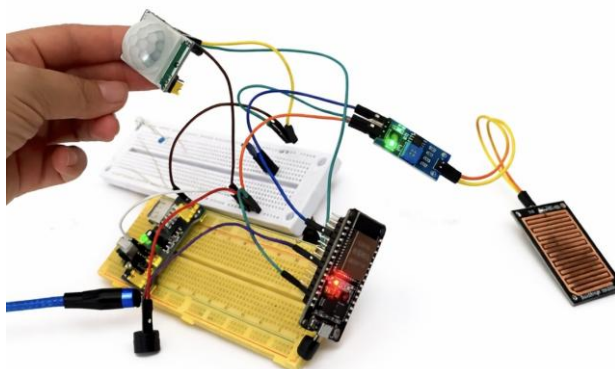


Figura 18 – Sensor de Chuva e de Presença ligado ao Buzzer Sonoro. Fonte: Autor, 2026

4.3 Sensor de Gás + Sensor de Presença + Sensor de Chuva

A integração do sensor de gás MQ-2 ao sistema foi realizada utilizando sua saída analógica (AO), conectada ao pino GPIO 32 da placa ESP32, configurado para leitura por meio do conversor analógico-digital (ADC). A escolha desse pino deve-se à sua capacidade de realizar leituras analógicas com resolução adequada para aplicações de monitoramento ambiental.

Para a detecção de níveis potencialmente perigosos de gases inflamáveis ou fumaça, foi estabelecido um limiar de 600, em uma escala de 0 a 4095, correspondente à resolução de 12 bits do ADC da ESP32. Quando o valor lido pelo conversor analógico-digital ultrapassa esse limite, o sistema interpreta essa condição como a presença significativa de gás no ambiente e aciona o mecanismo de alerta previamente configurado. A Figura 19 ilustra o funcionamento dos três sensores em conjunto para a automação residencial no Arduino IDE.

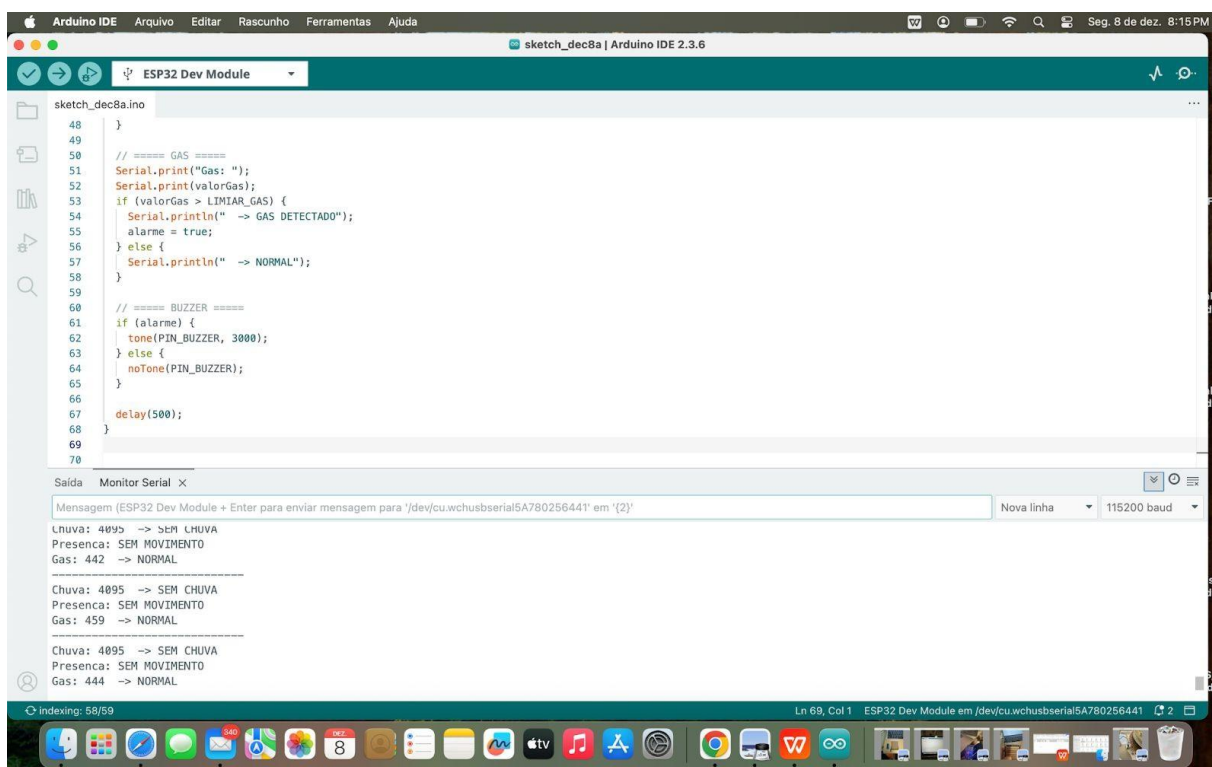


Figura 19 – Funcionamento no Arduino IDE do Sensor de Chuva, do Sensor de Presença e do Sensor de Gás. Fonte: Autor, 2026

A definição do limiar foi realizada com base em testes experimentais, considerando as variações naturais do sensor em ambiente limpo e sua resposta na presença de fontes de gás. Ressalta-se que o valor adotado não corresponde a uma medição exata em ppm, mas sim a um parâmetro relativo ajustado conforme as necessidades do projeto. Essa abordagem permite maior flexibilidade na calibração e adaptação do sistema a diferentes ambientes de aplicação.

4.4 Sensor Chave Magnética + Sensor de Gás + Sensor de Chuva + Sensor de Presença

Posteriormente, foi incorporada ao sistema uma chave magnética (reed switch) com a finalidade de monitorar o estado de abertura e fechamento de portas ou janelas, ampliando as funcionalidades de segurança do projeto. O dispositivo foi conectado ao pino GPIO 27 da ESP32, configurado como entrada digital. A chave magnética opera por meio da aproximação ou afastamento de um ímã permanente. Quando o ímã está próximo ao sensor — situação correspondente ao estado de porta ou janela fechada — os contatos internos permanecem em um determinado estado lógico (aberto ou fechado, dependendo da configuração adotada). Quando ocorre a separação do ímã, indicando a abertura da porta

ou janela, há a comutação do estado elétrico do contato, enviando ao microcontrolador um sinal digital que representa a alteração dessa condição. A Figura 20 ilustra a montagem completa realizada no ESP32 com os sensores e o atuador em funcionamento.

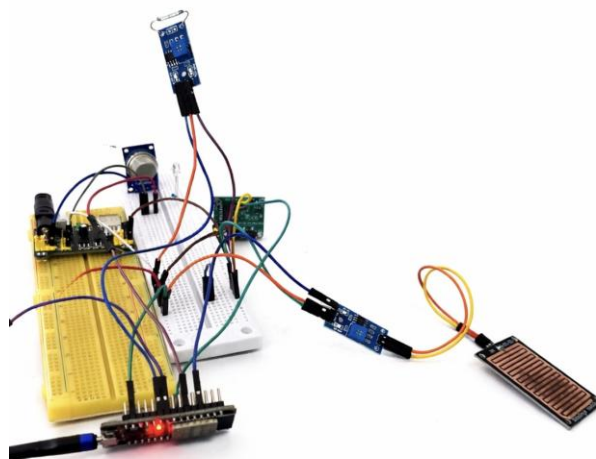
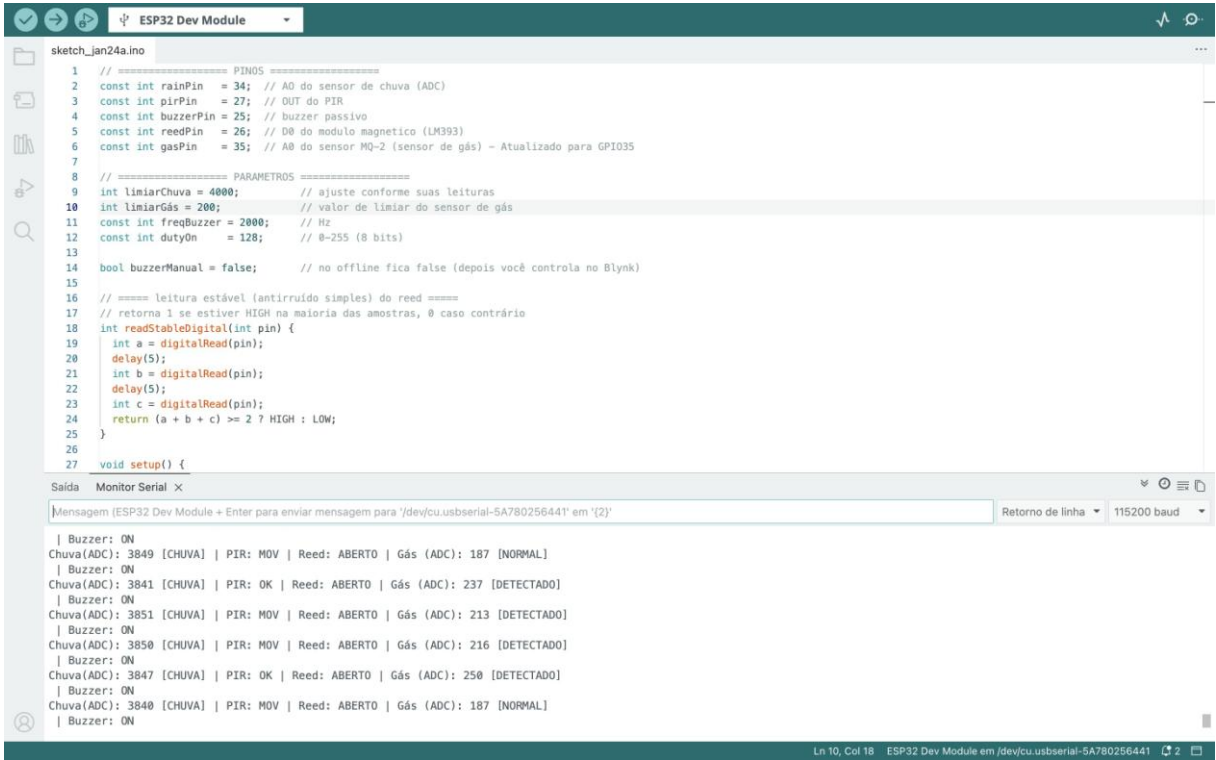


Figura 20 – Montagem Completa com todos os Sensores, com o Buzzer Sonoro como Atuador e com a Chave Magnética no Sistema de Automação. Fonte: Autor, 2026

Para garantir maior estabilidade na leitura e evitar flutuações indesejadas, como ruídos elétricos, recomenda-se a utilização de um resistor de pull-up ou pull-down. No caso da ESP32, pode-se optar pela ativação do resistor de pull-up interno por meio da configuração do pino via software. Dessa forma, assegura-se que o pino permaneça em um nível lógico definido quando a chave estiver aberta. A inclusão da chave magnética adiciona ao sistema uma camada adicional de monitoramento, permitindo a detecção de acessos não autorizados e complementando as funcionalidades já implementadas de detecção de chuva, presença e gases inflamáveis. A Figura 21 ilustra o funcionamento pelo Arduino IDE dos sensores e do atuador.



```

1 // ===== PINOS =====
2 const int rainPin = 34; // A0 do sensor de chuva (ADC)
3 const int pirPin = 27; // OUT do PIR
4 const int buzzerPin = 25; // buzzer passivo
5 const int reedPin = 26; // D0 do modulo magnetico (LM393)
6 const int gasPin = 35; // A0 do sensor MQ-2 (sensor de gás) - Atualizado para GPIO35
7
8 // ===== PARAMETROS =====
9 int limiarChuva = 4000; // ajuste conforme suas leituras
10 int limiarGás = 200; // valor de limiar do sensor de gás
11 const int freqBuzzer = 2000; // Hz
12 const int dutyOn = 128; // 0-255 (8 bits)
13
14 bool buzzerManual = false; // no offline fica false (depois você controla no Blynk)
15
16 // ===== leitura estável (antirruído simples) do reed =====
17 // retorna 1 se estiver HIGH na maioria das amostras, 0 caso contrário
18 int readStableDigital(int pin) {
19     int a = digitalRead(pin);
20     delay(5);
21     int b = digitalRead(pin);
22     delay(5);
23     int c = digitalRead(pin);
24     return (a + b + c) >= 2 ? HIGH : LOW;
25 }
26
27 void setup() {

```

Saída Monitor Serial

Mensagem [ESP32 Dev Module + Enter para enviar mensagem para '/dev/cu.usbserial-SA780256441' em '[2]'

Retorno de linha 115200 baud

```

| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3849 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 187 [NORMAL]
| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3841 [CHUVA] | PIR: OK | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 237 [DETECTADO]
| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3851 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 213 [DETECTADO]
| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3850 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 216 [DETECTADO]
| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3847 [CHUVA] | PIR: OK | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 250 [DETECTADO]
| Buzzer: ON
Chuva(ADC): 3840 [CHUVA] | PIR: MOV | Reed: ABERTO | Gás (ADC): 187 [NORMAL]
| Buzzer: ON

```

Ln 10, Col 18 ESP32 Dev Module em '/dev/cu.usbserial-SA780256441' 2

Figura 21 – Sensores em Funcionamento no Arduino IDE na Montagem Completa. Fonte: Autor, 2026

5 Considerações finais

O trabalho de automação residencial e a pesquisa desenvolvida tiveram como objetivo central a elaboração de um sistema inteligente de segurança residencial e de baixo custo, estruturado na utilização de sistemas embarcados e tecnologias que referem-se à Internet das Coisas (IoT), com o uso e processamento do microcontrolador ESP32. A proposta se concentrou na concepção de uma arquitetura modular capaz de integrar sensores ambientais, dispositivos de detecção de intrusão e mecanismos de alerta, viabilizando o monitoramento automatizado de ambientes residenciais (domótica).

A etapa de desenvolvimento compreendeu desde o levantamento teórico acerca da automação residencial e sistemas embarcados até a modelagem funcional, a montagem do circuito eletrônico, a programação com código C++ e a validação dos módulos implementados. Os protótipos sensores de presença (PIR), o sensor magnético de abertura, o sensor de chuva e o sensor de gás MQ-2, além dos atuadores sonoros para sinalização de eventos de risco foram integrados entre si, para estruturar e compor todo o sistema de automação. A etapa experimental obteve a operacionalidade dos módulos quando executados em ambiente local, com respostas condizentes às variáveis monitoradas. Os sensores apresentaram estabilidade de leitura e correta interação com a lógica programada, permitindo o acionamento automatizado de alarmes conforme os cenários pré-determinados.

Na etapa de conectividade, buscamos implementar o monitoramento remoto via rede Wi-Fi, integrando o sistema à plataforma IoT Blynk para visualização de dados e acionamento remoto. Contudo, foram identificadas limitações relacionadas à alimentação elétrica e à estabilidade da comunicação durante este processo, contatado a porta serial utilizada para programação e monitoramento via Arduino IDE que não se mantinha estável durante a conexão Wi-Fi, com quedas de comunicação e interrupções no envio de dados. Como medida corretiva, as fontes de alimentação foram isoladas dos módulos e sensores, adotando alimentação dedicada com o objetivo de reduzir interferências e sobrecarga elétrica sobre a placa ESP32. Todavia, mesmo após a implementação dessa estratégia, não foi possível sustentar a estabilidade da porta serial durante a operação simultânea do Wi-Fi com os demais periféricos.

Como parte do processo de diagnósticos no sistema conduziu-se os testes com o ESP32 operando de forma independente, sem qualquer sensor ou atuador conectado, visando eliminar possíveis interferências elétricas externas e mesmo em condição mínima de hardware, o problema persistiu, indicando a necessidade de uma investigação mais aprofundada quanto à origem da falha, podendo estar relacionada à alimentação, à interface USB/serial ou ao próprio módulo microcontrolador.

Apesar dessa limitação, a arquitetura proposta se mostrou tecnicamente viável, escalável e funcional em modo offline, evidenciando que o objetivo central do trabalho de desenvolver e validar um sistema embarcado aplicado à segurança residencial foi plenamente alcançado.

Os resultados obtidos indicam que o sistema proposto atende aos requisitos de funcionalidade, baixo custo e aplicabilidade prática, constituindo uma solução viável para automação e segurança residencial. A validação experimental dos circuitos, sensores e lógicas de acionamento confirma a robustez da arquitetura desenvolvida, ao passo que as limitações identificadas fornecem direcionamentos técnicos claros para evoluções futuras.

6 Trabalhos Futuros

Como desdobramento natural deste trabalho, elenca-se as possibilidades de continuidade e os aprimoramentos do sistema desenvolvido de automação residencial.

6.1 Infraestrutura Elétrica

1. Inclusão de reguladores step-down e filtros de ruído;
2. Estudo de consumo energético em regime contínuo.

6.2 Conectividade e IoT

1. Retomada da integração com plataformas em nuvem;
2. Implementação de aplicativo móvel dedicado;
3. Notificações em tempo real via push ou SMS;
4. Armazenamento de eventos em banco de dados remoto.

6.3 Expansão sensorial

1. Inclusão de sensores de temperatura e umidade;
2. Sensores de fumaça e chamas;
3. Câmeras IP para videovigilância integrada.

6.4 Segurança da Informação

1. Implementação de criptografia na transmissão de dados;
2. Autenticação de usuários;
3. Proteção contra acessos não autorizados;
4. Avaliação de vulnerabilidades em rede IoT.

6.5 Inteligência do sistema

1. Aplicação de algoritmos de detecção de padrões;
2. Aprendizado de rotinas dos usuários;
3. Geração de alertas preditivos;
4. Integração com assistentes virtuais.

Referências

ACCARDI, Adonis; DODONOV, Eugeni. Automação residencial: elementos básicos, arquiteturas, setores, aplicações e protocolos. *Revista TIS*, v. 1, n. 2, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17.

BARBOSA, Adriano *et al.* *Sistema de telhado retrátil com fechamento de sensor de chuva com Arduíno*. 193. Citado 0 vez na página 22.

BEZERRA, Govinda Mohini Gonzalez. *Sistema automatizado de gerência de recursos para ambientes virtualizados*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Citado 1 vez na página 12.

CARDOZO, Leandro Farias; FERREIRA, Alex Franco. Automação residencial com arduino. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 2, p. 622–634, 2023. Citado 3 vezes nas páginas 12, 17.

COUTINHO, Matheus Paz. *Sistema de monitoramento residencial*. 2016. Citado 0 vez na página 23.

DANTAS, Yuri Siqueira *et al.* *Desenvolvimento de um sistema de monitoramento ambiental com ESP32 e sensores de gás e umidade integrado ao Blynk*. Universidade Federal de Campina Grande, 2024. Citado 1 vez na página 12.

FARIA, Artur Bersan de. *Automação Residencial com foco em Cenários*. Citado 1 vez na página 12.

MAIER, Alexander; SHARP, Andrew; VAGAPOV, Yuriy. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. *In: IEEE. 2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. 2017. p. 143–148. Citado 2 vezes nas páginas 18, 22.

MALINOWSKI, Aleksander; YU, Hao. Comparison of embedded system design for industrial applications. *IEEE transactions on industrial informatics*, IEEE, v. 7, n. 2, p. 244–254, 2011. Citado 2 vezes na página 18.

MURATORI, José Roberto; DAL BÓ, Paulo Henrique. Capítulo I Automação residencial: histórico, definições e conceitos. *O Setor elétrico*, p. 70–77, 2011. Citado 1 vez na página 17.

OLIVEIRA, Sérgio de. *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi 2a edição: Atualizado para ESP32*. Novatec Editora, 2021. Citado 0 vez na página 19.

PIRES, Pedro Gabriel Reis. *Automação residencial: sistema de segurança utilizando raspberry*. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2023. Citado 0 vez nas páginas 23, 24.

SGARBI, Julio André; TONIDANDEL, Flavio. Domótica inteligente: automação residencial baseada em comportamento. *In: WORKSHOP de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial*, Ribeirão Preto, São Paulo. 2006. Citado 1 vez na página 12.

SILVA, Anselmo Duarte da *et al.* *Medidor de consumo de energia elétrica com arduino*. 264, 2019. Citado 0 vez na página 20.

TEZA, Vanderlei Rabelo *et al.* *Alguns aspectos sobre a automação residencial: domótica*. Florianópolis, SC, 2002. Citado 1 vez na página 16.

TRISNAWAN, I Kadek Nuary *et al.* Detection of gas leaks using the MQ-2 gas sensor on the autonomous mobile sensor. *In: IEEE. 2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)*. 2019. p. 177–180. Citado 1 vez nas páginas 12, 24.

WENDLING, Marcelo. Sensores. *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, v. 2010, p. 20, 2010. Citado 0 vez na página 20.

Código

Sistema de Monitoramento com ESP32

Sensores utilizados:

- Sensor de Chuva (analógico)
- Sensor de Presença PIR (digital)
- Sensor de Gás MQ-2 (analógico)
- Buzzer passivo (alerta sonoro)

```
// ===== DEFINIÇÃO DE PINOS =====
#define PIN_CHUVA  34
#define PIN_PIR    19
#define PIN_GAS    32
#define PIN_BUZZER 26

//===== LIMITES DE DETECÇÃO =====
// (Os valores foram ajustados após processo de calibração)
int LIMIAR_CHUVA = 3800; // Seco ≈ 4000 / Molhado ↓
int LIMIAR_GAS   = 600;  // Ajuste ambiente

// ===== FUNÇÃO SETUP =====
void setup() {

    Serial.begin(115200);

    pinMode(PIN_PIR, INPUT);
    pinMode(PIN_BUZZER, OUTPUT);

    Serial.println("Sistema iniciado");
    Serial.println("Aguardando aquecimento do sensor MQ-2...");
    delay(3000);
}
```