

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Helix Eduardo Pereira

**PROTÓTIPO DE SISTEMA IOT PARA SEGURANÇA AUTOMOTIVA: DE-
TECÇÃO DE OCUPANTES EM VEÍCULOS FECHADOS**

FORMIGA – MG

2026

HELIX EDUARDO PEREIRA

PROTÓTIPO DE SISTEMA IOT PARA SEGURANÇA AUTOMOTIVA: DETECÇÃO DE OCUPANTES EM VEÍCULOS FECHADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira

FORMIGA – MG

2026

P436p Pereira, Helix Eduardo
Protótipo de Sistema IOT para segurança automotiva: detecção de ocupantes em
veículos fechados. / Pereira, Helix Eduardo – Formiga : IFMG,
2026.

26 p. :il. color.

Orientador: Prof. Marco Antônio Silva Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletétrica) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus*
Formiga.

1. Segurança automotiva. 2. Telegram 3. ESP32-CAM. 4. Detecção de
ocupantes. 5. Veículos fechados. 6. Automação automotiva. I. Pereira, Marco
Antônio Silva Pereira. II. Título.

CDD 629.28

HELIX EDUARDO PEREIRA

PROTÓTIPO DE SISTEMA *IoT* PARA SEGURANÇA AUTOMOTIVA: DETECÇÃO DE OCUPANTES EM VEÍCULOS FECHADOS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Formiga como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira

Avaliado em 25 de junho de 2026.

Nota: 90 pontos.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira (Orientador)

Prof. Me. Felipe de Sousa Silva

Prof. Dr. Lucas Frederico Jardim Meloni

Formiga, 25 de junho de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Marco Antônio Silva Pereira, Professor**, em 26/06/2026, às 11:30, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe de Sousa Silva, Professor**, em 26/06/2026, às 16:42, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Frederico Jardim Meloni, Professor**, em 27/06/2026, às 14:50, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2781739** e o código CRC **CA66102D**.



PROTÓTIPO DE SISTEMA IOT PARA SEGURANÇA AUTOMOTIVA: DETECÇÃO DE OCUPANTES EM VEÍCULOS FECHADOS

Helix Eduardo Pereira (helixeduardo10@gmail.com – estudante)

Marco Antônio Silva Pereira (marco.silva@ifmg.edu.br – professor orientador)

RESUMO

A permanência involuntária de crianças e animais no interior de veículos fechados representa um risco à segurança dos ocupantes, especialmente em situações nas quais o travamento do automóvel é realizado à distância por meio do controle remoto. Nesses casos, o condutor pode se afastar do veículo sem realizar uma verificação visual adequada do interior, situação que pode ser agravada pelo uso de vidros escurecidos. Além disso, observa-se que muitos veículos, embora possuam a funcionalidade de travamento remoto, não contam com tecnologias inteligentes capazes de detectar a presença de ocupantes após o fechamento do automóvel. Diante desse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema IoT voltado à segurança automotiva, com foco na detecção de ocupantes em veículos fechados, especialmente aqueles que não dispõem de sistemas avançados de monitoramento embarcado. O sistema desenvolvido é composto pelos *microcontroladores ESP32 e ESP32-CAM*, integrados a sensores de peso, som e presença, permitindo o monitoramento do ambiente interno do veículo e a detecção de possíveis ocupantes. Quando as condições de detecção previamente definidas são atendidas, o *ESP32* envia um sinal de acionamento ao módulo *ESP32-CAM*, responsável pela captura de imagens do interior do veículo. Em seguida, as imagens são enviadas automaticamente ao usuário por meio do aplicativo Telegram, permitindo o monitoramento remoto e a rápida identificação de possíveis situações de risco. Além disso, o sistema foi programado para operar somente após a simulação do travamento do veículo, realizada por meio de um comando infravermelho, representando o funcionamento de uma chave automotiva. A proposta do sistema é atuar como uma camada adicional de segurança, complementando os recursos existentes em veículos que, apesar de possuírem travamento remoto, não oferecem mecanismos automáticos de detecção de ocupantes. Dessa forma, o protótipo visa contribuir para a ampliação da segurança veicular por meio de uma solução acessível, adaptável e de fácil integração.

Palavras-chave: Segurança Automotiva. Telegram. *ESP32-CAM*. Detecção de Ocupantes. Veículos Fechados.

IOT SYSTEM PROTOTYPE FOR AUTOMOTIVE SECURITY: OCCUPANT DETECTION IN ENCLOSED VEHICLES

ABSTRACT

The involuntary presence of children and animals inside closed vehicles poses a significant automotive safety risk, particularly in situations where the vehicle is locked remotely using a key fob. In such cases, the driver may move away from the vehicle without performing an adequate visual inspection of its interior, a condition that can be worsened by the use of tinted windows. In addition, many vehicles, although equipped with remote locking systems, do not feature intelligent technologies capable of detecting occupant presence after the vehicle is closed. In this context, this paper presents the development of an IoT-based automotive safety system prototype focused on occupant detection in closed vehicles, especially those that lack advanced embedded monitoring systems. The proposed system employs ESP32 and ESP32-CAM microcontrollers integrated with weight, sound, and presence sensors, enabling the monitoring of the vehicle's interior environment and the detection of possible occupants. When predefined detection conditions are met, the ESP32 activates the ESP32-CAM module, responsible for capturing images inside the vehicle and sending notifications remotely to the user through the Telegram application. The system is designed to act as an additional safety layer, complementing existing features in vehicles that, despite having remote locking capabilities, do not provide automatic occupant detection mechanisms. Therefore, the prototype aims to contribute to improved automotive safety through an accessible, adaptable, and easily integrable solution.

Keywords: Automotive Safety. Telegram. ESP32-CAM. Occupant Detection. Closed Vehicles.

1. INTRODUÇÃO

A segurança automotiva é um tema de grande relevância, especialmente no que se refere à proteção de ocupantes em situações não previstas durante o uso cotidiano dos veículos. Entre essas situações, destaca-se o risco associado à permanência involuntária de crianças e animais no interior de veículos fechados, condição que pode resultar em sérias consequências à saúde devido às características do ambiente interno do automóvel. Casos dessa natureza continuam sendo registrados no Brasil, como o ocorrido em Goiás, no qual uma criança de dois anos morreu após permanecer por várias horas dentro de um veículo fechado (CNN BRASIL, 2025).

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho surgiu a partir da experiência profissional do autor em uma oficina de acessórios automotivos. Durante esse período, mesmo veículos mais novos vêm deixando de utilizar determinadas funções de travamento automático, seja por questões de segurança, prevenção de esquecimentos ou outros fatores relacionados ao uso do automóvel. A partir dessa realidade surgiu a ideia para o desenvolvimento deste trabalho.

Entretanto, o dispositivo proposto não foi desenvolvido apenas para veículos mais modernos, podendo também ser aplicado em automóveis mais antigos.

Mesmo que em veículos antigos o condutor realize o travamento manualmente e esteja mais próximo do automóvel no momento do fechamento, ainda podem ocorrer situações em que crianças ou animais permaneçam temporariamente dentro do veículo durante pequenas ausências do motorista. Em muitos casos, o condutor pode deixar o ocupante no interior do automóvel por um curto período para realizar uma atividade rápida. Porém, imprevistos, distrações ou atrasos podem fazer com que esse tempo se prolongue além do necessário, aumentando os riscos à saúde e à segurança dos ocupantes devido às condições internas do veículo fechado.

Além disso, ao analisar a frota veicular circulante, percebe-se que uma parcela significativa dos automóveis em uso não dispõe de tecnologias avançadas de segurança embarcada, que permitam o monitoramento de ocupantes. Essa realidade evidencia uma lacuna tecnológica, principalmente em veículos mais antigos ou de menor custo, que não contam com recursos capazes de auxiliar o condutor na identificação da presença de ocupantes após o fechamento do veículo.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de soluções acessíveis e adaptáveis torna-se fundamental. A utilização de sistemas embarcados e conceitos de *Internet das Coisas (IoT)* possibilita a criação de dispositivos de baixo custo, capazes de integrar sensores e módulos de comunicação para aplicações de segurança automotiva. Nesse contexto, o microcontrolador ESP32 destaca-se por oferecer recursos adequados de processamento, conectividade e compatibilidade com diversos sensores, sendo amplamente empregado em projetos de automação e monitoramento.

Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema *IoT* para segurança automotiva, voltado à detecção de ocupantes em veículos fechados. O sistema utiliza sensores de peso, som e presença para identificar a existência de seres vivos no interior do automóvel, operando somente após a confirmação de que o veículo foi trancado. A partir da detecção, o sistema realiza a captura de imagens e o envio de alertas ao usuário por meio do aplicativo Telegram, contribuindo para a ampliação da segurança veicular, especialmente em veículos que não dispõem de tecnologias avançadas de proteção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O avanço da *Internet das Coisas (IoT)* e dos sistemas embarcados tem possibilitado o desenvolvimento de soluções inteligentes voltadas à segurança e ao monitoramento automotivo.

Nesse contexto, *microcontroladores* como o *ESP32* e o *ESP32-CAM* vêm sendo amplamente utilizados devido ao baixo custo, conectividade sem fio e facilidade de integração com sensores e sistemas de comunicação remota.

Diversos trabalhos presentes na literatura demonstram a aplicação dessas tecnologias em sistemas de monitoramento veicular, captura de imagens e envio remoto de notificações. Entretanto, muitos desses sistemas possuem foco voltado ao monitoramento externo do veículo ou à comunicação entre dispositivos, não contemplando especificamente a identificação de ocupantes em veículos fechados. Dessa forma, a análise dos trabalhos relacionados torna-se importante para justificar as escolhas realizadas no desenvolvimento deste projeto, especialmente quanto à utilização do *ESP32*, *ESP32-CAM* e sensores integrados ao sistema proposto.

No trabalho “Projeto e implementação integrada de *hardware* e aplicativo *mobile* para gerenciamento e controle seguro de dispositivos de *IoT*: desenvolvimento de uma plataforma *IoT* com camadas de proteção e criptografia visando a segurança da informação” (RODRIGUES, 2024), foi desenvolvida uma plataforma integrada utilizando microcontroladores *ESP32* associados a um aplicativo *mobile* para monitoramento e gerenciamento remoto de dispositivos *IoT*. O sistema utilizou protocolos de comunicação *MQTT* e técnicas de criptografia *AES-256* para aumentar a segurança das informações transmitidas entre os dispositivos conectados. Além disso, o trabalho demonstrou a eficiência do *ESP32* em aplicações embarcadas envolvendo monitoramento remoto, comunicação sem fio e integração entre *hardware* e *software*. Os resultados apresentados evidenciaram a viabilidade da solução proposta, destacando características como baixo custo, conectividade e segurança na comunicação de dados. Apesar dessas vantagens, os protocolos *MQTT* e a criptografia *AES-256* não foram adotados neste trabalho, pois o objetivo do protótipo foi realizar o monitoramento local e o envio de alertas por meio do *Telegram*, não havendo necessidade de uma arquitetura de comunicação baseada em *MQTT* nem de mecanismos avançados de criptografia. Entretanto, o projeto possui foco voltado principalmente à segurança da informação e à automação residencial, não sendo direcionado especificamente para aplicações de segurança automotiva e identificação de ocupantes em veículos fechados.

No trabalho “Sistema para detecção de sonolência e fadiga utilizando *ESP32-CAM*” (SANTOS *et al.*, 2025), os autores desenvolveram uma solução baseada em monitoramento visual utilizando o módulo *ESP32-CAM*. O sistema empregou técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, utilizando uma rede neural convolucional treinada na plataforma *Edge Impulse*, embarcada no próprio *ESP32-CAM*, para identificar sinais de sonolência a partir da análise contínua de imagens do condutor. A detecção foi realizada com base em critérios

como o tempo de permanência dos olhos fechados e a frequência de fechamento das pálpebras, permitindo o monitoramento em tempo real. O estudo evidencia ainda o potencial do *ESP32-CAM* em sistemas inteligentes de monitoramento visual. Entretanto, o foco da aplicação está relacionado ao acompanhamento do condutor durante a direção, não abordando a identificação de crianças ou animais esquecidos no interior de veículos fechados.

No artigo “*Perancangan dan Implementasi Sistem Keamanan Kendaraan Berbasis IoT Menggunakan ESP32, FastAPI, dan Aplikasi Android*” (SIMANJUNTAK *et al.*, 2024), foi desenvolvido um sistema de segurança automotiva utilizando o microcontrolador *ESP32* integrado a um aplicativo *Android* para monitoramento remoto do veículo. O sistema permitiu comunicação em tempo real e envio de informações ao usuário, destacando-se pela conectividade e pelo baixo custo de implementação. Além disso, a solução demonstrou eficiência no monitoramento remoto do automóvel por meio de tecnologias associadas à Internet das Coisas (*IoT*). Entretanto, o trabalho apresentou foco voltado principalmente à prevenção de furtos e ao monitoramento externo do veículo, não contemplando a identificação de ocupantes no interior do automóvel.

No trabalho “Desenvolvimento de um sistema de monitoramento veicular utilizando *ESP32-CAM*” (FARIAS, 2024), foi proposta uma solução baseada em sistemas embarcados para monitoramento e segurança automotiva utilizando o módulo *ESP32-CAM*. O projeto utilizou recursos de captura de imagens e comunicação remota para permitir o acompanhamento do veículo em tempo real, destacando a viabilidade do uso de dispositivos de baixo custo em aplicações automotivas. Além disso, o trabalho evidenciou a eficiência do *ESP32-CAM* em aplicações envolvendo transmissão de dados, monitoramento visual e integração com redes sem fio. Os resultados apresentados demonstraram que a utilização do *ESP32-CAM* pode contribuir significativamente para sistemas inteligentes de segurança veicular, principalmente devido ao baixo custo e à facilidade de implementação. Entretanto, o trabalho possui foco voltado ao monitoramento visual do veículo, não integrando múltiplos sensores para identificação de ocupantes no interior do automóvel.

No trabalho “Sistema embarcado para monitoramento automotivo utilizando Internet das Coisas” (SILVA, 2023), foi desenvolvida uma solução baseada em sistemas embarcados voltada ao monitoramento remoto de veículos por meio de tecnologias associadas à Internet das Coisas (*IoT*). Para integrar os sensores e os recursos de comunicação, os autores empregaram uma arquitetura embarcada capaz de realizar a aquisição dos dados provenientes dos sensores, seu processamento pelo microcontrolador e a transmissão das informações por meio de comunicação sem fio para monitoramento remoto. O projeto utilizou microcontroladores integrados

a sensores e recursos de comunicação sem fio para realizar monitoramento em tempo real, permitindo o acompanhamento das condições do veículo e o envio de informações ao usuário. Entre as principais vantagens apresentadas estão o baixo custo de implementação, a conectividade remota e a possibilidade de integração com diferentes dispositivos eletrônicos. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso de sistemas embarcados em aplicações automotivas inteligentes, evidenciando a eficiência da comunicação remota e do monitoramento em tempo real. Entretanto, o trabalho possui foco voltado ao monitoramento geral do veículo, não contemplando especificamente a identificação de ocupantes esquecidos no interior do automóvel por meio da integração de múltiplos sensores.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para o desenvolvimento do sistema proposto, incluindo a descrição dos materiais utilizados, a arquitetura do sistema e as etapas de implementação do protótipo. São abordados também os diagramas e representações visuais que auxiliam na compreensão do funcionamento do sistema.

3.1. Materiais Utilizados

Para o desenvolvimento do protótipo, foram utilizados diversos componentes eletrônicos responsáveis pelas funções de detecção, processamento e comunicação do sistema. Entre os principais dispositivos utilizados estão o *microcontrolador ESP32*, responsável pelo processamento das informações e controle do sistema; o módulo *ESP32-CAM*, utilizado para captura de imagens e envio remoto de notificações; o *sensor PIR*, empregado na detecção de presença; o sensor de som, responsável pela identificação de ruídos no ambiente; e o módulo HX711 associado à células de carga, utilizado para detecção de peso no interior do veículo. Além disso, foram utilizados LEDs indicadores para sinalização visual dos estados de funcionamento do sistema e um receptor infravermelho para simular o acionamento do travamento e destravamento do veículo. A Tabela 1 apresenta os principais materiais empregados no desenvolvimento do protótipo.

Tabela 1 – Materiais utilizados no desenvolvimento do protótipo.

Item	Componente	Função no Sistema	Quantidade	Preço (R\$)
1	ESP32	Unidade principal de processamento e controle	1	46
2	ESP32-CAM	Captura de imagens e envio via rede	1	53,63
3	Sensor PIR	Deteção de presença por infravermelho	1	16,4
4	Sensor de som	Deteção de variação sonora	1	19
5	Módulo HX711 + Células de carga	Amplificação e conversão de sinal	1	45
6	Kit Controle e Receptor IR	Recebimento de comandos remotos	1	13,9
7	LEDs	Indicação visual do sistema	1	1,5
TOTAL				195,43

Fonte: Autor (2026).

3.1.1. ESP32-CAM

O *ESP32-CAM* é um módulo baseado no *microcontrolador ESP32*, que possui uma câmera integrada e suporte para transmissão de imagens via rede sem fio. Esse dispositivo é amplamente utilizado em sistemas de monitoramento e vigilância, sendo capaz de capturar imagens e enviá-las para plataformas remotas, o que o torna uma solução eficiente para aplicações de segurança (ESPRESSIF, 2023). A Figura 1 apresenta o módulo *ESP32-CAM* utilizado no desenvolvimento deste trabalho.



Figura 1 - ESP 32 CAM
Fonte: Mercado Livre (2026).

3.1.2. ESP32

O *ESP32* é um microcontrolador amplamente utilizado em sistemas embarcados, destacando-se por sua alta capacidade de processamento, baixo consumo de energia e integração com tecnologias de comunicação sem fio, como *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Essas características tornam o dispositivo adequado para aplicações que envolvem automação, monitoramento e controle em tempo real, permitindo a conexão com diversos sensores e módulos eletrônicos (ESPRESSIF, 2023). A Figura 2 apresenta o microcontrolador ESP32 utilizado no desenvolvimento do protótipo.



Figura 2 - ESP 32.
Fonte: ESPRESSIF (2023).

3.1.3. Sensor de Presença PIR

O sensor infravermelho passivo (PIR) é um dispositivo utilizado para detectar movimento por meio da variação da radiação infravermelha emitida por corpos presentes no ambiente. Esse tipo de sensor é amplamente aplicado em sistemas de segurança e automação residencial, devido à sua eficiência na detecção de presença e ao seu baixo custo (SILVA, 2020). A Figura 3 apresenta o sensor PIR utilizado no desenvolvimento do protótipo.



Figura 3 – Sensor PIR.
Fonte: Mercado Livre (2026).

3.1.4. Módulo HX711 e Células de Carga

O módulo HX711 é um conversor analógico-digital de alta precisão, utilizado em conjunto com células de carga para medição de peso. As células de carga são sensores capazes de converter força mecânica em sinais elétricos, que são então amplificados pelo HX711 para leitura por *microcontroladores*. Esse conjunto é amplamente empregado em sistemas que exigem medições precisas de massa (USINAINFO, 2019). A Figura 4 apresenta o módulo HX711 e as células de carga utilizados no desenvolvimento do protótipo.



Figura 4 – HX711 e Células de Carga.
Fonte: Mercado Livre (2026).

3.1.5. Sensor de Som KY-037

O sensor de som KY-037 é um módulo eletrônico utilizado para detectar variações de intensidade sonora no ambiente. Ele é composto por um microfone e um circuito amplificador, permitindo identificar a presença de ruídos acima de um determinado nível. Esse tipo de sensor é frequentemente utilizado em sistemas de automação e monitoramento (JOY-IT, 2021). A Figura 5 apresenta o sensor de som KY-037 utilizado no desenvolvimento do protótipo.



Figura 5 – KY-037.
Fonte: Eletrogate. (2026)

3.1.6. Controle e Receptor Infravermelho (IR)

O receptor infravermelho (IR) é um dispositivo utilizado para captar sinais emitidos por controles remotos que operam por meio de radiação infravermelha. Esse tipo de comunicação é baseado na transmissão de sinais luminosos fora do espectro visível, sendo amplamente empregado em sistemas de controle remoto. O receptor é responsável por converter o sinal luminoso, recebido de um controle, por exemplo em sinais elétricos que podem ser interpretados por um microcontrolador, permitindo a execução de comandos em sistemas eletrônicos (STA ELETRÔNICA, 2023). A Figura 6 apresenta o receptor infravermelho utilizado no desenvolvimento do protótipo.



Figura 6 – Controle e Receptor IR.
Fonte: Mercado Livre (2026).

3.2. Arquitetura do Sistema

Para representar a lógica de operação do sistema desenvolvido, foi elaborado um fluxograma contendo as etapas de inicialização, monitoramento e resposta aos eventos detectados. Além disso, a Figura 7 apresenta o diagrama do circuito desenvolvido, evidenciando a interligação entre os componentes utilizados no sistema. Nesse circuito, o microcontrolador ESP32 atua como unidade central de processamento, sendo responsável pela leitura dos sensores de presença (PIR), som (KY-037) e peso (HX711 associado às células de carga). O sistema também conta com um receptor infravermelho, utilizado para ativação e desativação do monitoramento por meio de comandos remotos.

O sistema inicia em estado de espera, sendo ativado por meio de um comando infravermelho. Após a ativação, realiza a leitura contínua dos sensores conectados. Quando as condições de alerta previamente definidas são atendidas, o *ESP32* aciona o módulo *ESP32-CAM*, responsável pela captura de imagens. Além disso, o sistema utiliza sinais visuais por meio de *LEDs* para indicar o estado de funcionamento, diferenciando situações de segurança e alerta. Após a detecção de uma possível ocorrência, o sistema realiza o envio de notificações ao usuário, garantindo uma resposta rápida ao evento identificado.

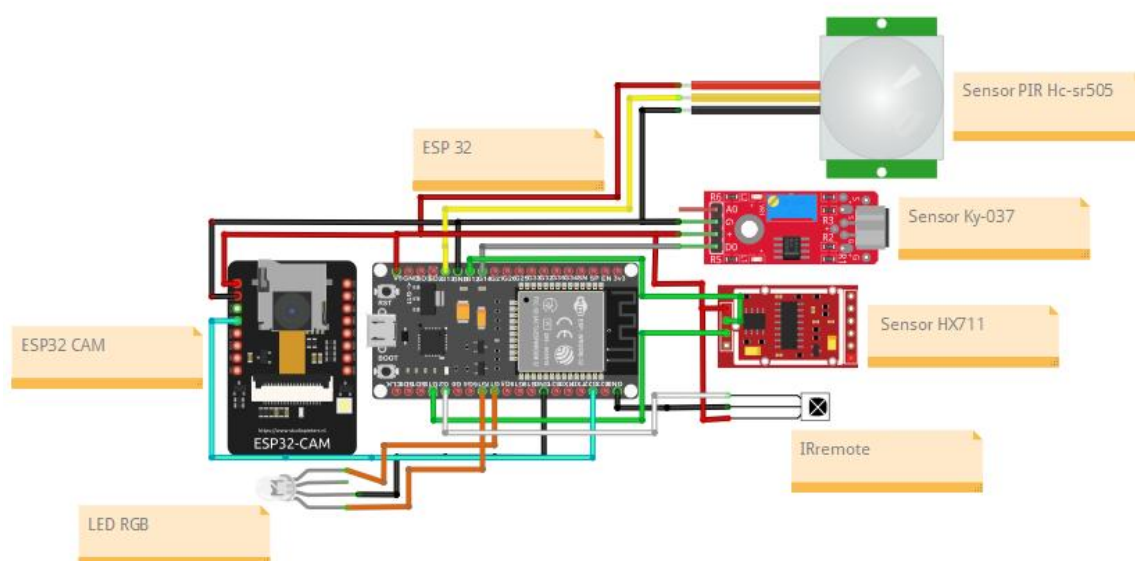


Figura 7 – Diagrama do circuito desenvolvido.
Fonte: Autor (2026).

3.3. Fluxo de Funcionamento do Sistema

O sistema foi desenvolvido com base em uma arquitetura distribuída, na qual o microcontrolador *ESP32* atua como unidade principal de processamento, sendo responsável pela leitura dos sensores e pela tomada de decisão. O módulo *ESP32-CAM* é utilizado para a captura de imagens e envio de dados ao usuário.

Conforme representado na Figura 7, o funcionamento do sistema está organizado em etapas bem definidas. Inicialmente, o sistema realiza a configuração dos periféricos e sensores. Em seguida, permanece em estado de espera, simulando a condição de um veículo estacionado e desligado. A ativação do sistema ocorre por meio de um controle remoto infravermelho conectado ao receptor IR utilizado no protótipo. Quando uma tecla específica do controle remoto é pressionada, um código numérico é transmitido ao microcontrolador *ESP32*. No desenvolvimento deste trabalho, o código “69” corresponde ao sinal recebido pelo *ESP32* para realizar a ativação do monitoramento, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 8. Dessa forma, o sistema simula o acionamento remoto utilizado em sistemas automotivos reais, nos quais o monitoramento é iniciado após o travamento do veículo.

Após a ativação, o sistema entra em um ciclo contínuo de monitoramento, realizando a leitura dos sensores de peso, presença e som instalados no interior do veículo. A partir dessas informações, é aplicada uma lógica de decisão que permite identificar possíveis situações de risco, como a presença de ocupantes. Quando uma condição de alerta é detectada, o *ESP32*

envia um sinal digital ao módulo *ESP32-CAM*, acionando a captura de imagens do interior do veículo. Em seguida, o módulo estabelece conexão com uma rede *Wi-Fi* previamente configurada e utiliza a *Application Programming Interface* (API) oficial do Telegram para enviar automaticamente a imagem ao usuário. A integração foi realizada por meio da criação de um bot no *Telegram*, utilizando um token de autenticação e o identificador (chat ID) da conversa de destino. O *Telegram* foi escolhido por disponibilizar gratuitamente uma API oficial para automação, permitindo o envio de mensagens e imagens de forma simples e segura. Em contrapartida, a integração com o *WhatsApp* apresenta maior complexidade para esse tipo de aplicação, geralmente exigindo a utilização da *WhatsApp Business Platform* ou de serviços de terceiros, o que tornaria o desenvolvimento do protótipo mais complexo.

Para fins de validação e acompanhamento do funcionamento durante o desenvolvimento do protótipo, foram utilizados *LEDs* indicadores, responsáveis por sinalizar visualmente os estados de operação do sistema, como condição segura ou de alerta. Além disso, o sistema realiza o envio de notificações remotas ao usuário, permitindo uma resposta rápida diante de possíveis situações de risco. Caso não sejam identificadas condições de alerta, o sistema permanece em estado seguro, mantendo o monitoramento ativo. De maneira semelhante, o código infravermelho “71” foi definido para representar o comando de desativação do sistema, simulando o destravamento do veículo e retornando o protótipo ao estado inicial de monitoramento inativo.

Dessa forma, o protótipo reproduz, em escala reduzida, o funcionamento de um sistema de segurança automotiva, integrando sensores e comunicação remota para aumentar a segurança de ocupantes em veículos fechados.

Fluxograma do Sistema de Segurança Inteligente: Monitoramento e Alerta com ESP32

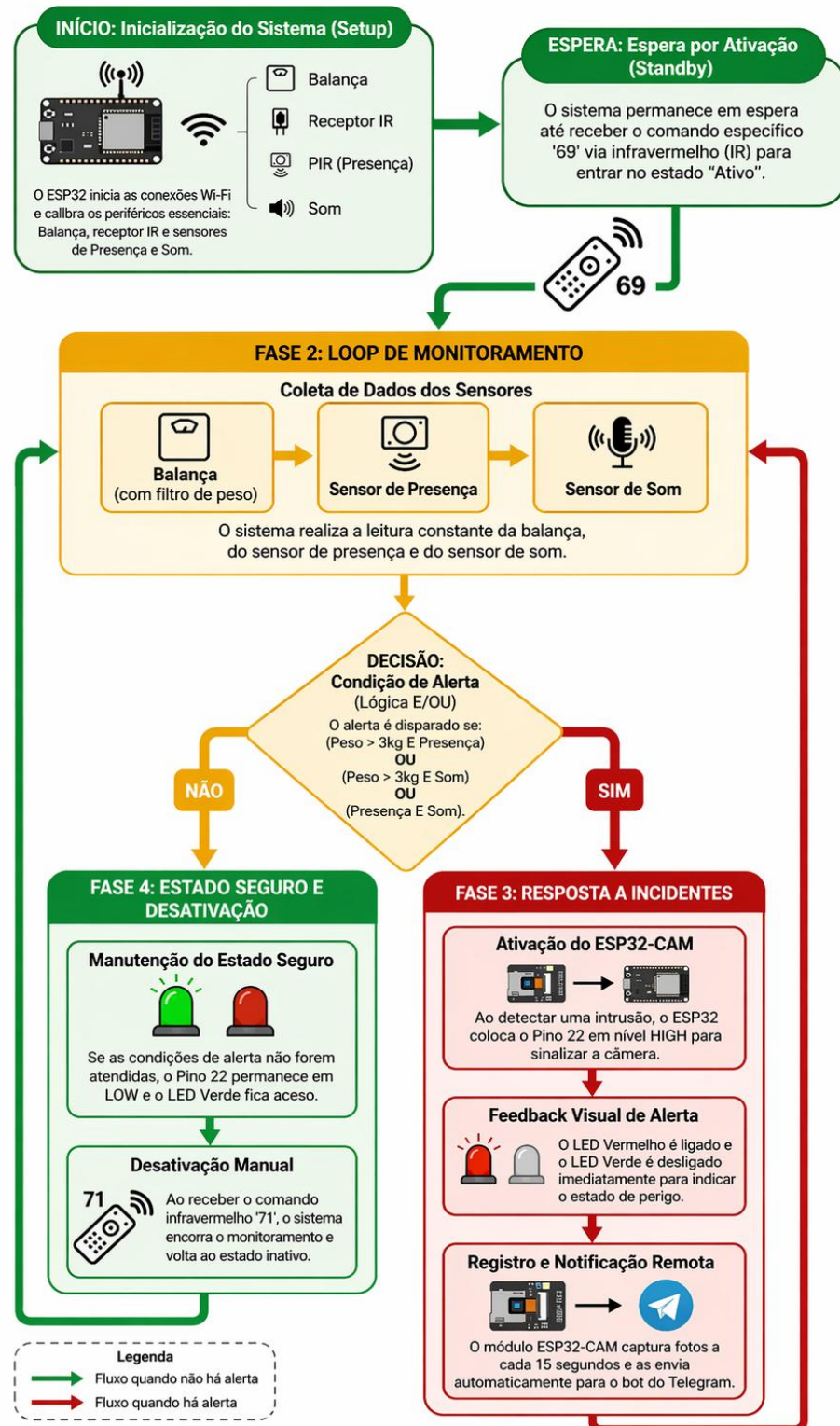


Figura 8 – Diagrama do sistema desenvolvido.
 Fonte: Autor (2026)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desenvolvimento Inicial em Ambiente de Simulação

O desenvolvimento do protótipo teve início em ambiente virtual, utilizando a plataforma *Wokwi*, disponível em: <https://wokwi.com/projects/419966433931101185>, com o objetivo de validar o funcionamento dos componentes e da lógica do sistema antes da implementação física. A simulação desenvolvida na plataforma pode ser observada na Figura 9.

Nessa etapa, foram realizadas simulações envolvendo o *microcontrolador ESP32* e os principais dispositivos utilizados no projeto, incluindo sensor de presença, sensor de som, módulo de leitura de peso (HX711), receptor infravermelho e *LEDs* indicadores. Além disso, foi possível desenvolver e testar os códigos responsáveis pela leitura dos sensores, processamento das informações e acionamento dos atuadores. Ressalta-se que o módulo *ESP32-CAM* não foi incluído na etapa de simulação, devido à limitação da plataforma utilizada, que não oferece suporte a esse dispositivo. Dessa forma, os testes relacionados à captura de imagens e envio de dados foram realizados posteriormente na etapa de implementação física do protótipo.

A utilização do ambiente de simulação permitiu identificar previamente possíveis falhas de lógica e inconsistências nas conexões, reduzindo erros durante a montagem física do sistema. Assim, essa etapa contribuiu significativamente para a otimização do desenvolvimento do projeto.

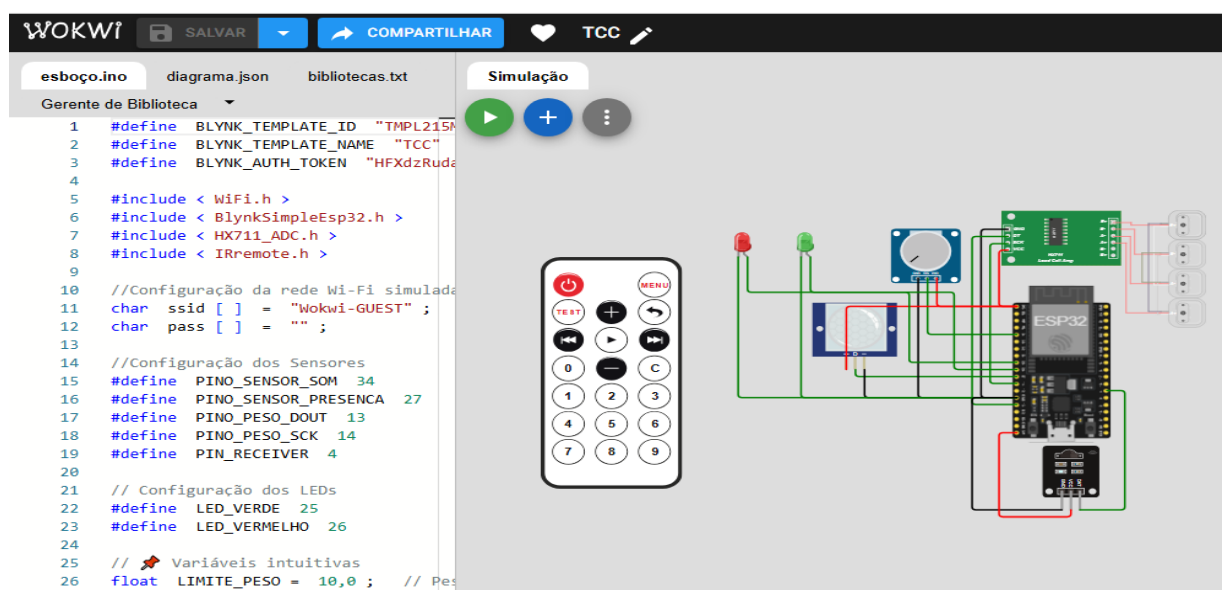


Figura 9 – Simulação do sistema no ambiente Wokwi.

Fonte: Autor (2026).

4.2. Desenvolvimento do protótipo

Após a etapa de simulação, foi realizado o desenvolvimento da estrutura física do protótipo, com o objetivo de representar, de forma simplificada, o interior de um veículo. A estrutura foi projetada para acomodar os componentes do sistema, incluindo sensores, módulos eletrônicos e o microcontrolador, garantindo organização e melhor posicionamento dos dispositivos. Além disso, foi considerada a necessidade de simular um ambiente fechado, permitindo a análise do comportamento do sistema em condições semelhantes às de um automóvel.

Conforme apresentado na Figura 10, o protótipo possui uma base superior destinada à aplicação do sistema de medição de peso, enquanto a estrutura vertical foi utilizada para o posicionamento dos sensores, proporcionando melhor alcance na detecção de presença e som no ambiente simulado.

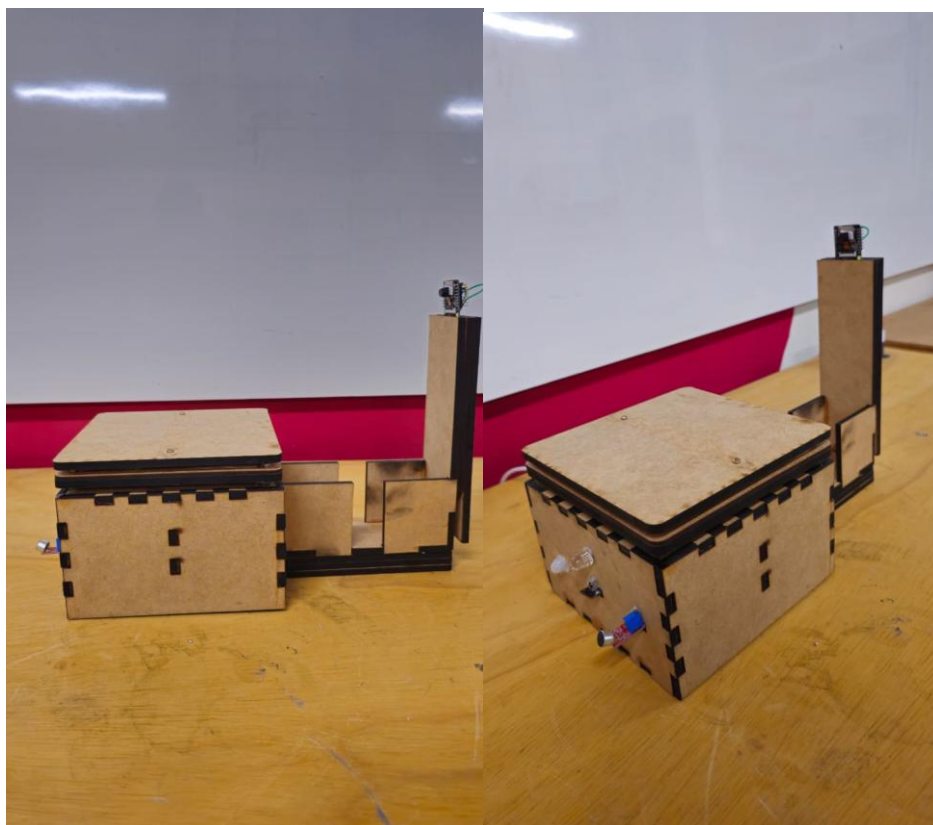


Figura 10 – Estrutura física do protótipo desenvolvida.
Fonte: Autor (2026).

4.3. Testes e Validação do Protótipo

Após a montagem da estrutura física e integração dos componentes eletrônicos, foram realizados testes de validação com o objetivo de verificar o funcionamento do sistema em condições simuladas, conforme apresentado na Figura 11.

Durante essa etapa, foram analisados o comportamento dos sensores, a lógica de decisão implementada no *microcontrolador* e a resposta do sistema diante de diferentes situações de monitoramento. Também foram verificados o acionamento do módulo *ESP32-CAM*, a captura de imagens e o envio remoto das notificações ao usuário por meio do aplicativo *Telegram*. Os testes permitiram validar o funcionamento integrado do sistema, demonstrando a comunicação entre os módulos e a capacidade de identificação de ocupantes no ambiente simulado. Além disso, foi possível acompanhar em tempo real as informações processadas pelo sistema por meio do monitor serial da plataforma de desenvolvimento.

Para fins de documentação e demonstração do funcionamento do protótipo, foram realizados registros em vídeo durante os testes de operação. Esses materiais foram disponibilizados na plataforma *YouTube*, permitindo a visualização prática do funcionamento do sistema desenvolvido.

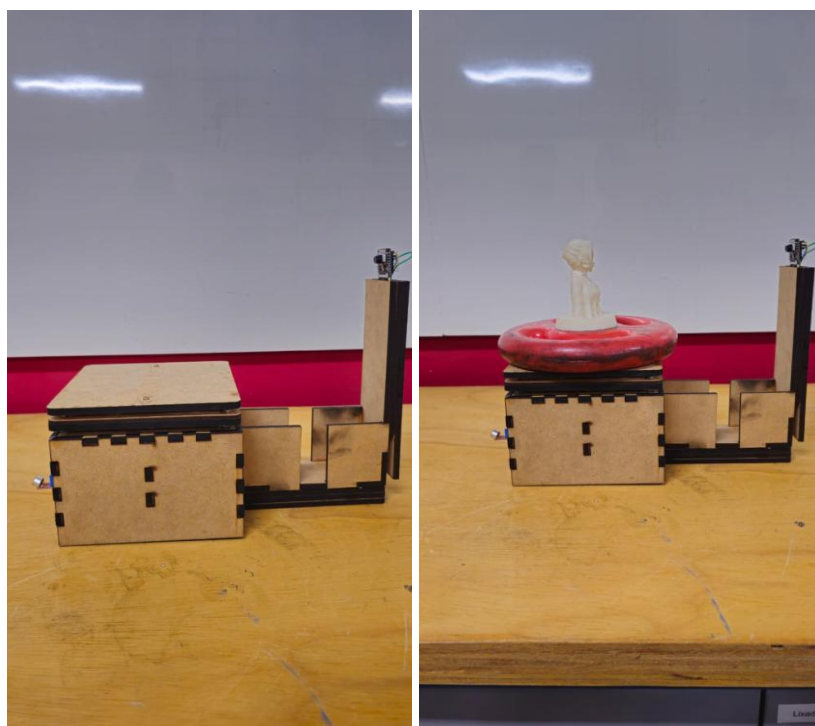


Figura 11 – Protótipo durante os testes de validação e monitoramento do sistema.
Fonte: Autor (2026).

4.3.1. Condição de Detecção de Ocupantes no Veículo

Nesta etapa dos testes, foi realizada a simulação da presença de ocupantes no interior do veículo, com o objetivo de validar o funcionamento integrado dos sensores e dos módulos de comunicação do sistema. Durante o monitoramento, os sensores de peso, presença e som identificaram condições compatíveis com a presença de um ocupante no ambiente simulado. A partir dessa detecção, o microcontrolador *ESP32* executou a lógica programada para acionamento do sistema de alerta.

Na Figura 12, observa-se o funcionamento do protótipo durante a condição de detecção. Nessa etapa, o módulo *ESP32-CAM* realizou a captura de imagens do ambiente monitorado e efetuou o envio remoto das fotografias ao usuário por meio do aplicativo *Telegram*. Também foi possível acompanhar, em tempo real, as informações processadas pelo sistema através do monitor serial da plataforma de desenvolvimento.

Além disso, o sistema utilizou *LEDs* indicadores apenas como forma auxiliar de validação visual durante os testes realizados no protótipo, permitindo acompanhar o estado de operação do dispositivo.

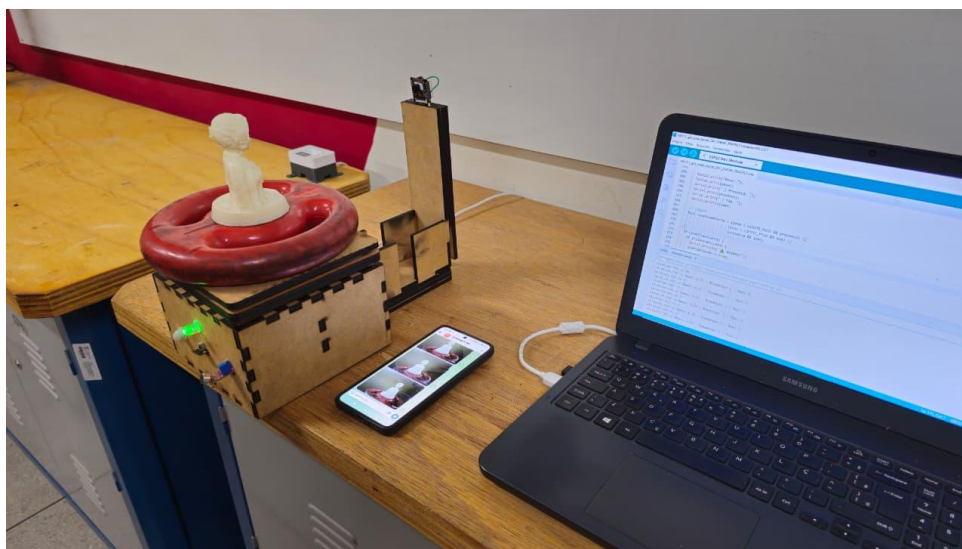


Figura 12 – Teste de detecção de ocupantes e envio de imagens pelo sistema.
Fonte: Autor (2026).

4.3.2. Condição de Monitoramento sem Detecção de Ocupantes

Nesta etapa dos testes, foi simulada uma condição em que o veículo se encontrava sem a presença de ocupantes em seu interior, representando uma situação de funcionamento normal

do sistema. Durante o monitoramento, os sensores de peso, presença e som não identificaram condições compatíveis com a detecção de crianças ou animais no ambiente simulado. Dessa forma, o sistema permaneceu em estado seguro, sem acionar os mecanismos de alerta e captura contínua de imagens.

Na Figura 13, observa-se o protótipo em operação durante a condição de monitoramento sem detecção de ocupantes. Nessa situação, o sistema permaneceu apenas realizando a leitura contínua dos sensores, validando o comportamento esperado para cenários sem risco identificado. Os resultados obtidos nessa etapa demonstraram que o sistema foi capaz de diferenciar condições seguras, evitando acionamentos indevidos e reduzindo falsas detecções durante o monitoramento.

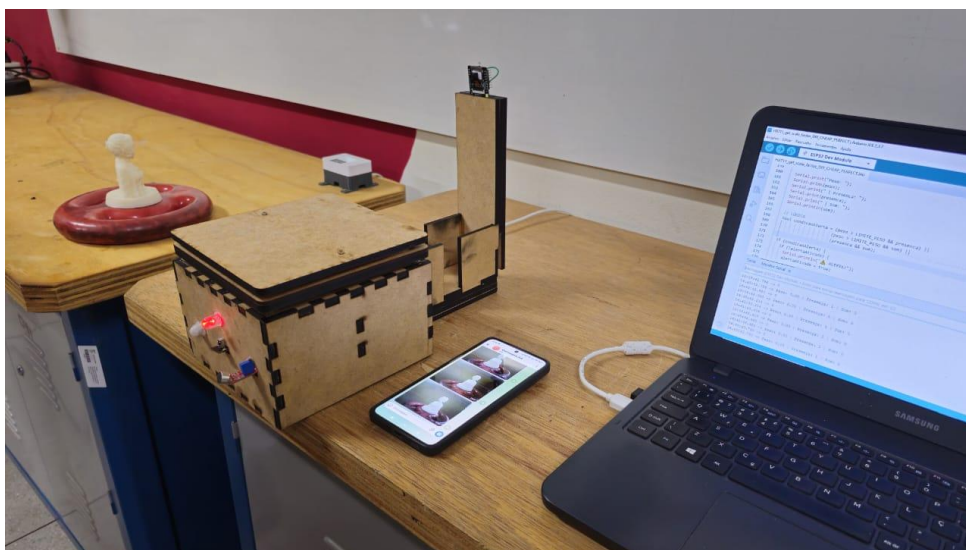


Figura 13 – Protótipo em condição de monitoramento sem detecção de ocupantes.
Fonte: Autor (2026).

4.3.3. Vídeo Demonstrativo dos Testes

Com o objetivo de complementar a validação prática do protótipo desenvolvido, foi produzido um vídeo demonstrativo apresentando as etapas de funcionamento do sistema, incluindo a detecção de ocupantes, o acionamento dos sensores, a captura de imagens pelo módulo *ESP32-CAM* e o envio remoto das notificações via aplicativo *Telegram*.

O material audiovisual foi disponibilizado na plataforma *YouTube*, permitindo a visualização detalhada do processo de teste e operação do protótipo desenvolvido neste trabalho, podendo ser acessado por meio do link: <https://youtu.be/JEu3EcK2Rk8>.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a criação de um protótipo de sistema *IoT* voltado à segurança automotiva, com foco na detecção de ocupantes em veículos fechados. A proposta surgiu a partir da observação de situações relacionadas à ausência de tecnologias de monitoramento em veículos mais antigos ou que não possuem sistemas avançados de segurança embarcada, evidenciando a necessidade de soluções acessíveis e adaptáveis.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram aplicados conhecimentos relacionados à eletrônica embarcada, programação de microcontroladores e integração entre sensores e módulos de comunicação. O sistema foi desenvolvido utilizando o *microcontrolador ESP32* como unidade principal de processamento, juntamente com sensores de peso, presença e som, responsáveis pelo monitoramento do ambiente interno do veículo. Além disso, o módulo *ESP32-CAM* foi empregado para captura de imagens e envio remoto das notificações ao usuário por meio do aplicativo *Telegram*.

Os testes realizados demonstraram que o protótipo foi capaz de identificar condições compatíveis com a presença de ocupantes no interior do veículo, acionando corretamente os mecanismos de alerta e comunicação remota. Também foi possível validar o funcionamento do sistema em situações sem detecção de ocupantes, evitando acionamentos indevidos e contribuindo para maior confiabilidade operacional.

Outro ponto relevante foi a utilização de um controle remoto simulando o funcionamento de uma chave automotiva, permitindo representar de forma prática o processo de ativação e desativação do monitoramento do veículo. Entretanto, durante o desenvolvimento, observou-se que a utilização de controles que empregam modulações *ASK (Amplitude Shift Keying)* e *FSK (Frequency Shift Keying)*, protocolos amplamente utilizados em sistemas de abertura remota de veículos, apresenta algumas dificuldades práticas. A modulação *ASK*, por utilizar variações de amplitude para transmitir informações, é mais suscetível à influência de ruídos e interferências eletromagnéticas, podendo ocasionar falhas na recepção do sinal, principalmente em ambientes com elevada interferência. Já a modulação *FSK*, embora apresente maior imunidade a ruídos e maior confiabilidade na transmissão, exige circuitos receptores mais complexos, maior processamento para demodulação e, em alguns casos, maior consumo de energia, tornando sua implementação mais sofisticada e com custo superior.

Além dessas características, a utilização de controles comerciais com esses protocolos também pode representar um desafio devido à diversidade de fabricantes, frequências de operação e algoritmos de codificação, especialmente aqueles que utilizam códigos rolantes

(*rolling code*). Esses mecanismos de segurança dificultam a reprodução ou integração direta com sistemas desenvolvidos para fins acadêmicos, exigindo bibliotecas específicas, equipamentos adicionais ou técnicas mais avançadas de comunicação e decodificação dos sinais. A realização de simulações computacionais, o desenvolvimento estrutural do protótipo e os testes práticos contribuíram para validar a integração entre hardware e software proposta neste trabalho. Dessa forma, conclui-se que o objetivo geral do projeto foi alcançado, demonstrando a viabilidade da utilização de sistemas embarcados e tecnologias *IoT* em aplicações de segurança automotiva. O protótipo desenvolvido apresentou funcionamento satisfatório durante os testes realizados, podendo servir como base para futuras melhorias e aplicações em sistemas automotivos reais. Como trabalhos futuros, sugere-se o aperfeiçoamento do sistema por meio da miniaturização do *hardware*, utilização de sensores mais avançados, implementação de inteligência artificial para análise de imagens, integração direta com sistemas eletrônicos automotivos e o desenvolvimento de mecanismos compatíveis com protocolos de comunicação *ASK* e *FSK* utilizados em controles automotivos comerciais, permitindo maior interoperabilidade, robustez e aplicabilidade da solução proposta.

REFERÊNCIAS

- CNN BRASIL. **Criança de 2 anos morre após ser esquecida em carro em Goiás**. 2025. Disponível em: <coloque o link aqui>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Series Datasheet. 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com>. Acesso em: 14 abr. 2026.
- SILVA, J. **Sensores e sistemas de automação**. São Paulo: Atlas, 2020. USINAINFO. Balança Arduino com célula de carga e HX711 – tutorial calibrando e verificando peso. 2019. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/balanca-arduino-com-celula-de-peso-e-hx711-tutorial-calibrando-e-verificando-peso/>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- JOY-IT. KY-037 **Microphone Sensor Module**. 2021. Disponível em: <https://sensorkit.joy-it.net/en/sensors/ky-037>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- STA ELETRÔNICA. **Como utilizar um controle remoto e receptor IR com o Arduino**. 2023. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinios/como-utilizar-um-controle-remoto-e-receptor-ir-com-o-arduino>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- RODRIGUES, William Matheus de Oliveira. **Projeto e implementação integrada de hardware e aplicativo mobile para gerenciamento e controle seguro de dispositivos de IoT: desenvolvimento de uma plataforma IoT com camadas de proteção e criptografia visando a segurança da informação**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade

Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/27082/1/2024_2_WILLIAM_MATHEUS_DE_OLIVEIRA_RODRIGUES_TCC.pdf. Acesso em: 14 maio 2026.

SANTOS, et al. **Sistema para detecção de sonolência e fadiga utilizando ESP32-CAM**. Disponível em:

<https://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/cienciainovacao/article/view/585>. Acesso em: 14 maio 2026.

SIMANJUNTAK, et al. Perancangan dan Implementasi Sistem Keamanan Kendaraan Berbasis IoT Menggunakan ESP32, FastAPI, dan Aplikasi Android. Disponível em: <https://journal.uib.ac.id/index.php/telcomatics/article/view/10870>. Acesso em: 14 maio 2026.

O presente manuscrito passou por revisão linguística e aprimoramento de estilo com o auxílio da ferramenta de inteligência artificial ChatGPT (modelo GPT-5.5). As sugestões fornecidas pela ferramenta foram analisadas e revisadas pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo conteúdo, pela precisão das informações e pela versão final deste artigo. OPENAI. *ChatGPT* (modelo GPT-5.5) [modelo de linguagem]. Disponível em: <https://chatgpt.com/>. Acesso em: 7 abril. 2026.