

# SafeLifeCar: Solução Open Source de Baixo Custo para Segurança de Veículos

## SafeLifeCar: A Low-Cost Open Source Solution for Vehicle Safety

Júlia Yasmim de C. Silva<sup>1</sup>, Manoella A. de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Curso Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas  
Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) Paulista, PE

jyocs@discente.ifpe.edu.br<sup>1</sup>, maol@discente.ifpe.edu.br<sup>1</sup>

**Resumo.** *O alarmante número de óbitos de bebês, crianças e animais de estimação por insolação e/ou asfixia, frequentemente resultantes do esquecimento em veículos estacionados, destaca uma vulnerabilidade crítica na segurança automotiva. Esses esquecimentos podem ser atribuídos a múltiplos fatores, incluindo estresse, cansaço e alterações na rotina. Diante deste contexto, foi desenvolvido o SafeLifeCar, um projeto open-source e de baixo custo, fundamentado nos princípios da Internet das Coisas (IoT), que visa prevenir ou reduzir significativamente tais tragédias. Os requisitos primordiais do protótipo incluem sua autonomia energética, capacidade de conectividade através de redes sem fio (Wi-Fi ou ponto de acesso móvel), e a coleta em tempo real de dados de temperatura, umidade e velocidade do veículo, além de monitorar a localização geográfica em tempo real. As informações coletadas são processadas para gerar alertas imediatos, que são então transmitidos a um bot de comunicação no Telegram. A validação do protótipo, realizada por meio de testes práticos, evidenciou sua eficácia na detecção de situações críticas, como a combinação de temperatura interna elevada e presença de ocupantes no veículo. Nessas circunstâncias, o sistema envia alertas automáticos ao usuário, mesmo em cenários com conectividade limitada, possibilitando intervenções preventivas e contribuindo para a redução de riscos de fatalidades.*

**Palavras-chave:** *segurança das vidas dos passageiros; ambiente veicular; ESP32; IOT; monitoramento; comunicação; 4G/5G*

**Abstract.** *The alarming number of deaths of infants, children, and pets due to heatstroke and/or asphyxiation, often resulting from being forgotten in parked vehicles, reveals a critical vulnerability in automotive safety. Such incidents can be attributed to multiple factors, including stress, fatigue, and changes in routine. In this context, SafeLifeCar was developed: an open-source, low-cost project based on Internet of Things (IoT) principles, aimed at preventing or significantly reducing such tragedies. The prototype's core requirements include energy autonomy, wireless connectivity (via Wi-Fi or mobile hotspot), and real-time collection of temperature, humidity, and vehicle speed data, in addition to continuous geographic location tracking. The collected data are processed to generate immediate alerts, which are then transmitted to a communication bot on Telegram. Validation through practical testing demonstrated the system's effectiveness in detecting critical conditions, such as the combination of high*

*internal temperature and the presence of occupants in the vehicle. In such cases, the system automatically sends alerts to the user, even in scenarios with limited network connectivity, enabling timely preventive actions and contributing to the reduction of fatality risks.*

***Keywords: passenger life safety; vehicle environment; ESP32; IOT; monitoring; communication; open-source; 4G/5G***

## **1. Introdução**

Veículos motores estacionados ou parados por razão de acidente, podem se tornar um ambiente fatal para qualquer pessoa, sobretudo para bebês, porém também engloba pessoas com transtornos mentais, indivíduos com mobilidade reduzida e animais de estimação que, quando deixados ou esquecidos por muito tempo nesse local, podem experimentar diferentes níveis de insolação (McLaren et al. 2005). Isso porque elas ainda têm pouca capacidade de reagir diante de certos riscos, seja por condições biológicas ou físicas. Todo ano, a mídia noticia diversos casos em que recém-nascidos e crianças são esquecidas dentro de um carro fechado, resultando em sequelas por hipertermia, como lesões musculares, falência de órgãos e até mesmo a morte (Null, 2023). Essas situações podem acontecer devido a problemas relacionados à memória, porém a grande maioria dos casos documentados remete às causas a fatores como: estresse do dia a dia, falta de sono reparador, cansaço e até mesmo causas ligadas à rotina da vida moderna.

Quando comparado com adultos, há uma distinção fisiológica crucial nas crianças que é a taxa de sudorese menor. Essa particularidade faz com que a eficácia na perda de calor pelo mecanismo de evaporação diminua, predispondo-as a um risco aumentado de lesões térmicas. Adicionalmente, a diferença na composição corporal das crianças, incluindo níveis de água e densidade óssea, resultam em uma proporção superior entre área de superfície e massa corporal. Deste modo, esta relação contribui para uma elevação acelerada da temperatura corporal em resposta ao estresse térmico (Barbosa et al., 2021).

Estudo quantitativo realizado com objetivo de medir a taxa de temperatura dentro de veículos em uma faixa variada de tempo, revela que mesmo em dias não tão quentes, com temperatura amena de 22°C, a atmosfera dentro do automóvel pode alcançar 47 °C, podendo esperar um aumento de aproximadamente 4°C para dias em que a calor varia de 22°C a 35°C, com essa elevação ocorrendo nos 30 primeiros minutos (McLaren et al., 2025). Portanto, por serem mais vulneráveis ao calor devido a uma combinação de termorregulação não tão eficiente quanto a de um adulto, poucos minutos de distração podem ser fatais para crianças e os animais que estiverem submetidos a tal ambiente.

Em situações em que a causa da morte não é hipertermia, a ausência de renovação do ar leva ao aumento progressivo da concentração de CO<sub>2</sub>. Esse acúmulo pode induzir ao desmaio e, em casos extremos, resultar em morte por asfixia. A falta de circulação de ar, somada à respiração e à movimentação agitada da criança dentro do veículo, intensifica esse quadro e, adicionalmente, contribui para o aumento da temperatura interna do veículo (Lima; Francisco, 2015). Mortes de crianças por insolação é um cenário real e não muito incomum. Nos Estados Unidos da América (EUA), por exemplo, apenas no ano de 2024 foram registrados 39 acidentes mortais envolvendo crianças esquecidas em veículos estacionados. Considerando que nos EUA existe um site oficial de estatísticas, no Brasil o tema carece de atenção, com acidentes desse tipo sendo apenas noticiados em

manchetes. De fato, o primeiro estudo nacional sobre esses acidentes só foi publicado em 2006, onde foram documentados 31 casos de 2006 até o ano de 2016 (Costa; Grundstein, 2016).

Diante desse cenário alarmante, esta pesquisa propõe uma abordagem tecnológica inovadora que visa mitigar acidentes provenientes do esquecimento, como sufocamento ou insolação. Para tanto, este trabalho expande e aprimora os princípios estabelecidos em "Uma Proposta Open Source de Baixo Custo para Proteção e Geolocalização de Bebês em Veículos Automotores (SafeBaby)" (Barbosa et al., 2021), indo além da proteção e geolocalização. A proposta integra medidas baseadas na Internet das Coisas (IoT), utilizando sensores para coletar dados ambientais críticos do interior do veículo, como temperatura e umidade, bem como velocidade do veículo e localização. Esses dados são então comunicados em tempo real ao dispositivo atual mais presente na rotina adulta, o celular, alertando os responsáveis e permitindo uma rápida intervenção para a segurança de crianças e animais de estimação.

## **2. Fundamentação**

O ambiente interno de veículos automotores, quando estacionados sob exposição solar direta, pode atingir temperaturas extremamente elevadas em questão de minutos, configurando um ambiente de risco potencial à vida, especialmente para crianças e animais domésticos. Este fenômeno ocorre devido ao chamado efeito estufa veicular, em que a radiação solar penetra pelos vidros, aquece o interior do veículo e, em virtude da dificuldade de dissipação da radiação infravermelha, promove o rápido acúmulo de calor.

Em dias de temperatura ambiente moderada, o interior de um veículo pode alcançar no mínimo 47°C (McLaren et al., 2005) e tal elevação térmica agrava-se em condições de alta umidade relativa do ar, uma vez que a evaporação do suor — principal mecanismo termorregulador humano — torna-se ineficaz, predispondo o organismo à hipertermia (Null, 2023). Crianças são particularmente vulneráveis, pois apresentam características fisiológicas distintas, como maior razão entre área de superfície corporal e massa e mecanismos de termorregulação ainda em desenvolvimento.

Diante dessa realidade alarmante, torna-se necessária a concepção e implementação de sistemas inteligentes de monitoramento e resposta emergencial. A lacuna existente na prevenção de acidentes decorrentes do esquecimento de ocupantes vulneráveis demanda uma abordagem proativa e tecnologicamente avançada. Neste contexto, o projeto SafeLifeCar se posiciona como uma solução inovadora. Ele se fundamenta na coleta contínua e precisa de dados ambientais no interior do veículo, como temperatura e umidade, e na comunicação externa rápida e eficiente. Esse fluxo de informações é projetado para acionar protocolos de segurança de maneira automática, minimizando o tempo de reação em situações críticas.

### **2.1. Monitoramento Ambiental: Temperatura e Umidade no Interior Veicular**

Para a aferição contínua da temperatura e da umidade relativa do ar no interior do veículo, o projeto SafeLifeCar adota o sensor digital DHT22. Trata-se de um dispositivo de alta precisão, capaz de medir temperaturas na faixa de -40°C a +80°C com erro máximo de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , e umidade relativa entre 0% e 100% com precisão de  $\pm 2\%$ .

A escolha do DHT22 justifica-se pela necessidade de medições confiáveis em cenários críticos, onde pequenas variações podem representar a diferença entre segurança e risco iminente. Ademais, a integração do sensor a microcontroladores é facilitada pela simplicidade de seu protocolo de comunicação digital, otimizando a resposta do sistema.

O monitoramento contínuo das variáveis térmicas permite a identificação precoce de situações de risco, desencadeando medidas automáticas como o envio de mensagem via chatbot do Telegram (aplicativo de mensagens instantâneas), onde no conteúdo terá a localização precisa do veículo. A coleta de dados ambientais também possibilita análises preditivas para aprimoramento contínuo dos protocolos de segurança.

## 2.2. Geolocalização Integrada

A comunicação imediata e eficiente em situações de emergência é um fator determinante para a redução de riscos e a preservação de vidas. Com base nessa premissa, o projeto SafeLifeCar integra o módulo GY-GPS6MV2, responsável pela aquisição precisa da localização geográfica do veículo. Esse módulo, utilizado em aplicações embarcadas, destaca-se por sua confiabilidade, baixo consumo energético e excelente desempenho mesmo em ambientes com recepção limitada de sinais satelitais, em ambientes com visibilidade limitada ao céu, como áreas urbanas densas ou cenários parcialmente obstruídos.

O GY-GPS6MV2 utiliza o chipset UBlox NEO-6M, compatível com os principais sistemas de navegação global por satélite, como GPS e GLONASS, assegurando cobertura geográfica ampla e melhor acurácia na determinação de coordenadas. Sua alta sensibilidade permite o rápido estabelecimento de conexão com múltiplos satélites, resultando em menor tempo de *fix* e maior precisão na obtenção da posição — características essenciais para aplicações críticas, como a resposta a emergências em sistemas veiculares inteligente.

No contexto do SLC, o GY-GPS6MV2 é responsável pela coleta automatizada de dados de localização sempre que um protocolo de segurança é ativado. As coordenadas obtidas são integradas às mensagens de alerta e convertidas em links de fácil acesso via Google Maps, permitindo a rápida visualização e rastreamento da posição do veículo por responsáveis ou equipes de emergência.

As principais funcionalidades atribuídas ao módulo no sistema incluem:

- Aquisição automática de localização geográfica no momento de ativação dos protocolos de segurança;
- Aquisição automática de localização geográfica em tempo real no momento da ocorrência de eventos considerados críticos;
- Integração dos dados de localização às mensagens de alerta, com envio remoto para plataformas de notificação (Telegram), incluindo link de rastreamento;
- Operação estável e de alta confiabilidade, mesmo em condições adversas ou de mobilidade, favorecendo a aplicação em ambientes urbanos e rodoviários.

Ao empregar uma solução com foco na geolocalização, o projeto garante maior precisão e confiabilidade na comunicação de incidentes, contribuindo significativamente para a efetividade do sistema de segurança veicular e redução do tempo de resposta em situações críticas.

### 3. Trabalhos relacionados

A segurança de ocupantes vulneráveis em ambientes veiculares vem se tornando uma pauta cada vez mais crítica nos últimos anos, especialmente quando se fala de indivíduos vulneráveis, como crianças presas a uma cadeirinha, pessoas com transtornos mentais e animais de estimação. Esses grupos compartilham o risco potencial de ficarem involuntariamente presos ou serem esquecidos dentro de um automóvel estacionado, o que acarreta uma exposição a temperaturas extremas e condições adversas em questão de minutos. Diante desse cenário, diversas abordagens têm utilizado de tecnologias embarcadas, Internet das Coisas (IoT), e conectividade remota como forma de mitigar tragédias por esquecimento ou negligência.

Um sistema de segurança automotiva baseado em Arduíno foi proposto por (Hazizan et al., 2020), onde sensores de pressão e de movimento são capazes de detectar a permanência de um ocupante mesmo após o desligamento do motor. Caso identificado, através de um módulo GSM, o dispositivo envia um SMS, possibilitando a ação rápida do condutor do veículo. A simplicidade da proposta a torna economicamente viável, sendo uma opção viável tanto para países desenvolvidos quanto para os em desenvolvimento.

Seguindo na mesma linha da solução de (Hazizan et al., 2020), (Kumar et al. 2024) ampliam essa arquitetura. Com uma proposta de natureza mais abrangente, sensores térmicos e de movimento são combinados, juntamente com tecnologia IoT. Implementando monitoramento ambiental, como temperatura interna, integrado a detecção de presença. Com o objetivo de prevenir não apenas acidentes com crianças, como também com qualquer passageiro vulnerável, alertas são emitidos via aplicativo mobile e rede GSM.

Já o Smart Children Movement Detector, desenvolvido por (Shahrunnajib, 2023), investiga uma abordagem comportamental, utilizando sensores de movimento via Wi-Fi para identificar locomoção no banco traseiro do veículo. A solução é particularmente eficaz para detectar deslocamentos inesperados, como as de animais ou pessoas com deficiência cognitiva, permitindo alertas em tempo real aos cuidadores.

Similar ao Smart Children, porém com foco em cadeirinhas de bebê, temos o SafeBaby. Essa proposta utiliza sensores de temperatura e de pressão para detectar a criança, placa GSM que permite enviar SMS com as coordenadas do veículo e módulos relés que se comunicam diretamente com o carro através de fios, o que dá à abordagem a capacidade de acionar a buzina e abaixar os vidros, proporcionando uma chance de sobrevivência maior, caso o bebê seja esquecido no assento.

Numa abordagem simples, porém eficiente, (Ali; Ramli, 2021) propuseram uma solução direta e de baixo custo. Focando no uso de um sensor de peso instalado em uma cadeirinha de bebê ou banco de passageiro, que, ao detectar peso após o carro ser desligado, ativa um alarme interno, servindo como um mecanismo de aviso ao motorista. Apesar da simplicidade, é uma ótima alternativa para ser instalada em veículos sem conectividade.

Na mesma linha de viabilidade prática, (Kavitha et al., 2024) utilizaram sensores infravermelhos aliados à comunicação Bluetooth para alertar o condutor via aplicativo mobile, oferecendo uma alternativa interessante para automóveis que operam em áreas sem cobertura de rede celular. A acessibilidade dessa solução a torna ideal para

populações em zonas remotas ou com menor infraestrutura tecnológica.

Partindo para uma abordagem mais analítica, (Zarin et al. 2023) propuseram o uso de aprendizagem de máquina capaz de classificar situações de risco com base em sinais coletados por múltiplos sensores. Esse modelo visa oferecer uma detecção mais precisa, minimizando falsos alarmes e aumentando a confiabilidade do sistema para múltiplos perfis de ocupantes.

A solução de (Bashir et al., 2023) traz uma abordagem de alta relevância contemporânea, foi desenvolvida uma proposta baseada em Inteligência Artificial embarcada, com sensores capazes de identificar automaticamente ocupantes infantis por meio de padrões físicos, reconhecendo o risco e alertando o condutor antes mesmo de um possível abandono. Essa solução se aproxima do conceito de veículos inteligentes com segurança cognitiva, antecipando uma integração nativa em futuras gerações de automóveis.

Nossa solução integra, de forma modular e autônoma, múltiplos sensores (temperatura, presença e GPS) a uma plataforma de comunicação remota via Telegram, em vez de usar sistemas baseados em SMS. Ao empregar Wi-Fi e pontos de acesso móveis 4G/5G, o SafeLifeCar amplia as opções de instalação, sem depender apenas de cobertura GSM (2G). Além disso, a autonomia energética — obtida por meio de painel solar, bateria recarregável ou fonte externa — garante o funcionamento mesmo com a bateria do veículo desligada, característica ausente nas abordagens anteriores.

**Tabela 1. Trabalhos relacionados e respectivas abordagens**

<b>Trabalho</b>	<b>Ano</b>	<b>Resumo da Proposta</b>
Hazizan et al.	2020	Uso de Arduino com sensores de pressão e movimento, envio de alertas via SMS com módulo GSM.
Kumar et al.	2024	Combinação de sensores térmicos e de movimento com conectividade IoT e alertas por aplicativo.
Shahrunnajib	2023	Utiliza sensor de movimento Wi-Fi para detectar deslocamentos no banco traseiro.
SafeBaby	2021	Sistema com sensores e relés conectados ao carro, envio de SMS e controle de janelas/buzina.
Ali e Ramli	2021	Sensor de peso com alarme interno, abordagem simples e de baixo custo.
Kavitha et al.	2024	Sensores infravermelhos e comunicação Bluetooth para alertas sem necessidade de rede celular.
Zarin et al.	2023	Classificação com machine learning para reduzir falsos positivos em sensores.
Bashir et al.	2023	Uso de IA embarcada para reconhecer padrões físicos infantis e antecipar abandono.
SafeLifeCar (este trabalho)	2025	Integra sensores de temperatura, presença e GPS com comunicação via Telegram e autonomia energética.

#### **4. SafeLifeCar (SLC)**

O sistema SafeLifeCar foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a segurança de passageiros incapacitados em um ambiente veicular por meio de um conjunto de sensores integrados a um microcontrolador ESP32, responsável pelo processamento dos dados e

pela comunicação em rede. Trata-se de um sistema com autonomia energética, capaz de operar de forma independente do circuito elétrico do veículo, o que garante seu funcionamento mesmo em situações de falha na alimentação principal.

O projeto SLC foi concebido para identificar automaticamente diversas situações de risco, tais como, a detecção de freadas bruscas, que podem ser indicativos de acidentes e, conseqüentemente, de uma parada involuntária do veículo sob exposição solar e a detecção de presença no veículo com temperatura interna muito elevada. Além disso, o sistema monitora o ambiente interno do veículo para identificar temperaturas elevadas e a presença de ocupantes. Com base nesses parâmetros, o sistema pode detectar, por exemplo, a presença de uma criança esquecida, um animal de estimação ou uma pessoa com mobilidade reduzida dentro do automóvel, em condições potencialmente perigosas.

A arquitetura eletrônica do sistema envolve a conexão de múltiplos sensores ao ESP32, com atenção especial às exigências de alimentação e à compatibilidade dos níveis lógicos utilizados para a leitura de sinais digitais e analógicos. Durante a operação, o sistema realiza o monitoramento contínuo desses sinais, interpretando os dados em tempo real.

Quando uma condição crítica é detectada, o sistema envia alertas automaticamente a um *bot* no Telegram, permitindo uma resposta rápida e remota por parte dos contatos cadastrados. Isso garante uma atuação imediata em emergências, contribuindo significativamente para a identificação e prevenção de acidentes como esquecimento e o aumento da segurança dos ocupantes incapazes de agir por conta própria.

#### **4.1. Circuito**

O circuito desenvolvido para o projeto foi projetado com base em simplicidade estrutural e na robustez operacional, tendo o objetivo de garantir confiabilidade em ambientes automotivos. Sua arquitetura ocupa um espaço reduzido, permitindo que o dispositivo seja instalado de forma discreta em diversos pontos estratégicos no interior do veículo, como próximo aos bancos, sob o painel, dentro ou em frente a cadeirinhas de bebê ou na região traseira.

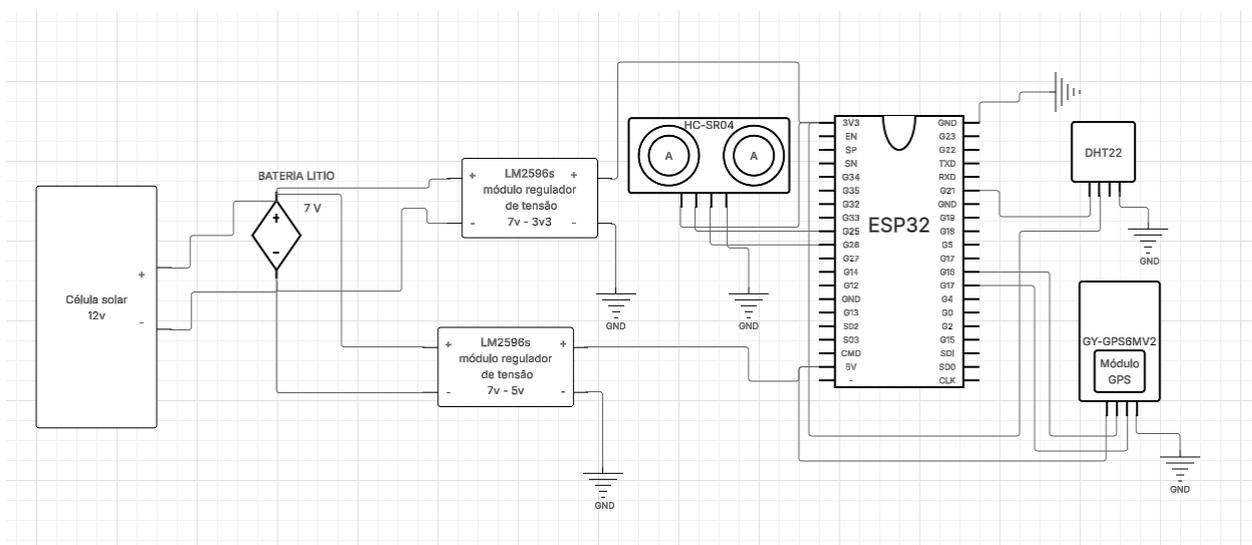
O sistema também possui autonomia energética. A alimentação é realizada por meio de uma fonte principal, uma bateria de lítio recarregável de 7V e 2000 mAh, foram utilizados módulos *step-down* LM2596, que garantem níveis adequados de 5V e 3.3V para as diferentes necessidades dos componentes eletrônicos. Isso permite que o sistema funcione de forma independente, sem a necessidade de conexão direta com a bateria principal do veículo, o que reduz interferências e facilita a portabilidade da solução.

A conectividade é o elemento central no funcionamento do SafeLifeCar. O sistema é capaz de se conectar a redes Wi-Fi locais previamente definidas no código, além de oferecer um mecanismo de reconfiguração remota por meio de um comando pré-estabelecido. Com isso, o próprio usuário pode modificar as credenciais da rede sem necessidade de reprogramar o microcontrolador. Adicionalmente, o circuito é compatível com redes fornecidas por pontos de acesso (*hotspots*), incluindo aqueles oriundos de smartphones com conectividade 4G ou 5G. Essa característica foi introduzida para proporcionar alta flexibilidade operacional, especialmente em situações nas quais o veículo transita entre diferentes regiões com variação de redes disponíveis. Maior abrangência de compatibilidade garante que o sistema continue operando mesmo em áreas onde não há

Wi-Fi disponível, mantendo o envio de alertas em tempo real ao usuário. A detecção de presença, leitura de temperatura e geolocalização via GPS continuam sendo executadas de forma contínua, e as mensagens são encaminhadas automaticamente ao *bot*.

**Tabela 2. Componentes utilizados e suas funcionalidades**

Componente	Funcionalidade
ESP-WROOM-32	Microcontrolador principal que lê sensores, processa dados e envia alertas via rede.
Sensor DHT22	Mede a temperatura e umidade do ambiente.
Sensor HC-SR04	Mede a distância de objetos, detectando presença no assento.
GPS GY-GPS6MV2	Fornecer localização (coordenadas GPS) e velocidade do veículo.
Módulo LM2596S (5V)	Converte a tensão da bateria 7V para 5V, alimentando sensores de 5V.
Módulo LM2596S (3.3V)	Converte 7V para 3.3V, que pode alimentar o ESP32 se necessário e sensores 3.3V.
Bateria de Lítio 7V/2000mah	Fonte principal de alimentação para todo o sistema que mantém o funcionamento mesmo com o carro desligado.



**Figura 1. Esquemático do circuito**

## 4.2. Algoritmo

O sistema construído para o projeto de monitoramento veicular foi desenvolvido utilizando a plataforma ESP32 como componente principal, integrando sensores de reconhecimento ambiental e módulos de geolocalização. A implementação do código foi feita em linguagem C++, utilizando a IDE do Arduino como ambiente de desenvolvimento, por sua compatibilidade com a plataforma e grande comunidade de suporte. A estrutura do *software* foi feita de forma modular, respeitando princípios de legibilidade, manutenção e expansibilidade. O código está distribuído em arquivos especializados, com responsabilidades bem definidas, o que facilita sua compreensão e futuras extensões.

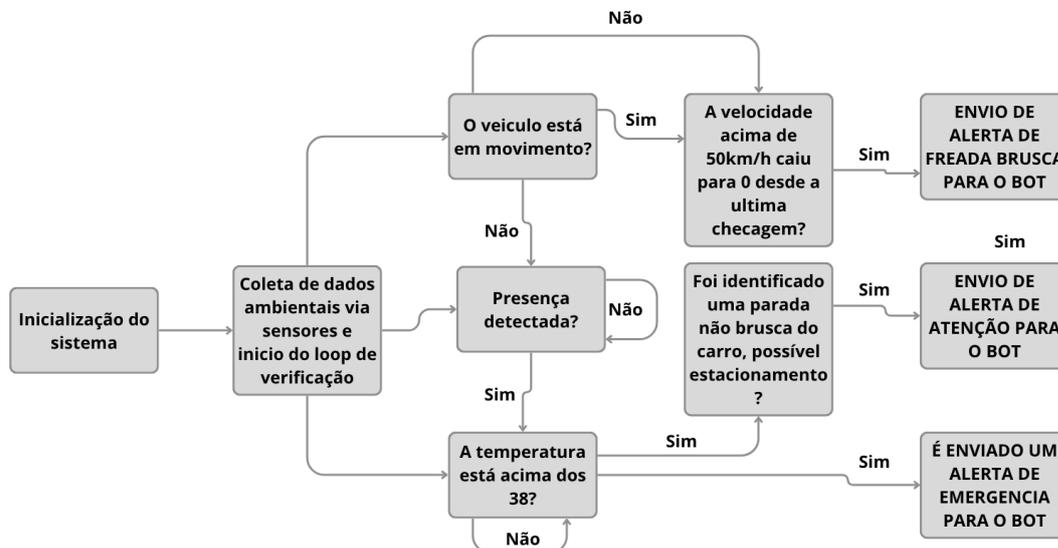
O arquivo principal, *main.ino*, é responsável por iniciar os serviços essenciais do sistema. Durante a execução da função *setup()*, são realizadas operações para a obtenção de dados, como a inicialização da comunicação serial para depuração, o estabelecimento da conexão com a rede Wi-Fi por meio da função *iniciarWiFi()*, ativação dos sensores com *initSensores()* e a configuração das variáveis de controle em *initLogica()*.

Após essa preparação, o sistema envia uma mensagem de inicialização ao bot que recebe as mensagens, sinalizando que está operacional. A função *loop()* executa de maneira contínua a coleta dos dados dos sensores, aplica as regras de decisão baseadas nos dados coletados e verifica a chegada de comandos do usuário via bot.

A comunicação com o usuário é gerida pelo módulo *telegram.cpp/h*, que implementa todas as funcionalidades de interação entre o sistema e o bot. O módulo reconhece e trata comandos pré-setados que resultam na devolutiva de mensagens configuradas para trazer dados de GPS, velocidade ou temperatura, além de permitir o envio e recebimento de mensagens para múltiplos usuários simultaneamente. Foi implementada, para viabilidade do projeto, uma funcionalidade de atualização de credenciais de rede Wi-Fi. Para chegar ao resultado, é utilizada a biblioteca *Preferences.h*, que permite armazenar dados de forma persistente na memória flash do ESP32, usando um sistema de chave-valor baseado em *NVS (Non-Volatile Storage)* ou seja, permitindo persistência de variáveis salvas mesmo após reinicializações do dispositivo.

A leitura dos sensores é realizada no módulo *sensores.cpp/h*. Nele estão configuradas funções específicas para a obtenção de dados ambientais e geográficos, utilizando três sensores principais. O sensor *DHT22* é responsável pela medição da temperatura e da umidade relativa do ar. O sensor ultrassônico *HC-SR04* é utilizado para detectar a presença de indivíduos com base na distância medida. O módulo *GY-GPS6MV2* fornece as informações de latitude, longitude e velocidade do veículo. Essas leituras são feitas de maneira eficiente, assíncrona e de forma contínua, permitindo que o sistema mantenha seu funcionamento contínuo, sem ser afetado por demoras excessivas.

A lógica de segurança está concentrada no módulo *utils.cpp/h*, que encapsula as principais condições que disparam alertas. A função *temperaturaPerigosaComPresenca()* é ativada quando a temperatura ambiente ultrapassa 35°C e há presença detectada. A função *freadaBruscaDetectada()* monitora variações bruscas na velocidade para identificar desacelerações abruptas. A função *carroParadoComCalorEPresenca()* considera o tempo em que o veículo está parado aliado a uma temperatura elevada e à presença de algum indivíduo, para gerar alertas preventivos. Essas funções utilizam limites temporais e condições compostas, contribuindo para a construção de uma lógica mais robusta do sistema e redução de falsos positivos.



**Figura 2. Diagrama de envio de alertas**

As configurações centrais do sistema estão reunidas no arquivo *config.h*. Esse módulo armazena as credenciais padrão da rede Wi-Fi pré-definida, o token de autenticação do bot do Telegram, e as definições de pinos e parâmetros limites dos sensores. Essa abordagem permite alterar de forma facilitada as variáveis-chave do sistema sem a necessidade de modificar o código-fonte funcional.

A organização modular do *software* pode ser visualizada em um esquema simplificado, sendo o *main.ino* a classe responsável por se comunicar diretamente com os módulos de sensores e comunicação, que por sua vez acessam a lógica de decisão e as configurações. Essa estrutura favorece a compreensão do sistema, facilita sua expansão futura, facilita também a manutenção e é um excelente uso de boas práticas de desenvolvimento.

### 4.3. Comunicação

A comunicação com o usuário final é gerida pelo módulo *telegram.cpp/h*, que implementa todas as funcionalidades de interação entre o sistema e o Telegram, por meio de um bot criado somente para esse propósito. Essa integração é realizada por meio do protocolo HTTP sobre TLS (HTTPS), utilizando a biblioteca *UniversalTelegramBot*, que fornece uma camada de abstração entre o código embarcado e a API do Telegram.

O Telegram foi escolhido por disponibilizar uma interface de programação de aplicações (API) chamada Telegram Bot API, que permite a qualquer serviço ou dispositivo realizar ações como envio de mensagens, respostas a comandos, envio de localização, e é fornecido de forma gratuita, podendo ser moldado conforme a conveniência do desenvolvedor e do usuário final. Essa API é baseada em requisições HTTP no formato

RESTful, onde o cliente (no caso, a ESP32) realiza chamadas a endpoints da API, como <https://api.telegram.org/botTOKEN/sendMessage>, para se comunicar com os servidores do Telegram.

A biblioteca `UniversalTelegramBot` foi desenvolvida para plataformas embarcadas, Arduino e ESP, permitindo que dispositivos enviem e recebam mensagens de forma simples e eficiente. Internamente, essa biblioteca utiliza a `WiFiClientSecure`, uma extensão da `WiFiClient` que suporta conexões seguras (SSL/TLS), garantindo a confidencialidade e a integridade dos dados transmitidos entre o dispositivo e os servidores da plataforma.

## 5. Resultados

Os testes deste projeto foram realizados *in loco*, sob condições controladas, com o intuito de validar o comportamento do sistema embarcado em cenários representativos do ambiente veicular real. Para possibilitar a comunicação remota e o monitoramento contínuo, foi montada uma rede de testes utilizando um ponto de acesso móvel e um bot do Telegram configurado especificamente para essa aplicação. Ao longo dos ensaios, parâmetros internos do código foram ajustados para facilitar a depuração, coleta de dados e análise do desempenho do dispositivo.

O sistema `SafeLifeCar`, que visa aprimorar o `SafeBaby` (Barbosa et al., 2021), foi redesenhado para ser mais compacto, ocupando menos espaço no veículo, e foi construído para funcionar de forma independente, sem necessidade de integração com o sistema eletrônico do automóvel. Sua estrutura permite instalação em frente a qualquer assento do veículo, possibilitando a detecção de indivíduos, como crianças ou animais de estimação, que porventura permaneçam no interior do carro após seu desligamento. A comunicação entre o dispositivo e o usuário ocorre por meio de uma interface com o aplicativo Telegram, acessível de qualquer dispositivo móvel conectado à internet, estando ou não no veículo. O sistema opera tanto com redes Wi-Fi domésticas quanto com conexões móveis (4G ou 5G), desde que haja acesso a um ponto de conexão ativo.

O circuito desenvolvido dispõe de duas formas alternativas de alimentação: uma bateria de lítio recarregável conectada diretamente ao sistema e um painel solar compacto, que atua como fonte auxiliar de energia. Essa configuração garante autonomia energética mesmo na ausência da alimentação principal, como em situações de emergência ou com o veículo desligado, conferindo maior robustez e confiabilidade ao sistema. Para estimar a eficiência energética da solução, foi realizada uma análise do consumo médio dos principais componentes do projeto, conforme apresentado abaixo. Para validar a eficiência energética da solução, testes práticos foram conduzidos operando com leitura de sensores a cada 30 segundos, e o resultado foi aproximado do calculado, testes com cerca de 5 horas de autonomia.

**Tabela 3. Estimativa de Consumo de Corrente e Autonomia do Sistema**

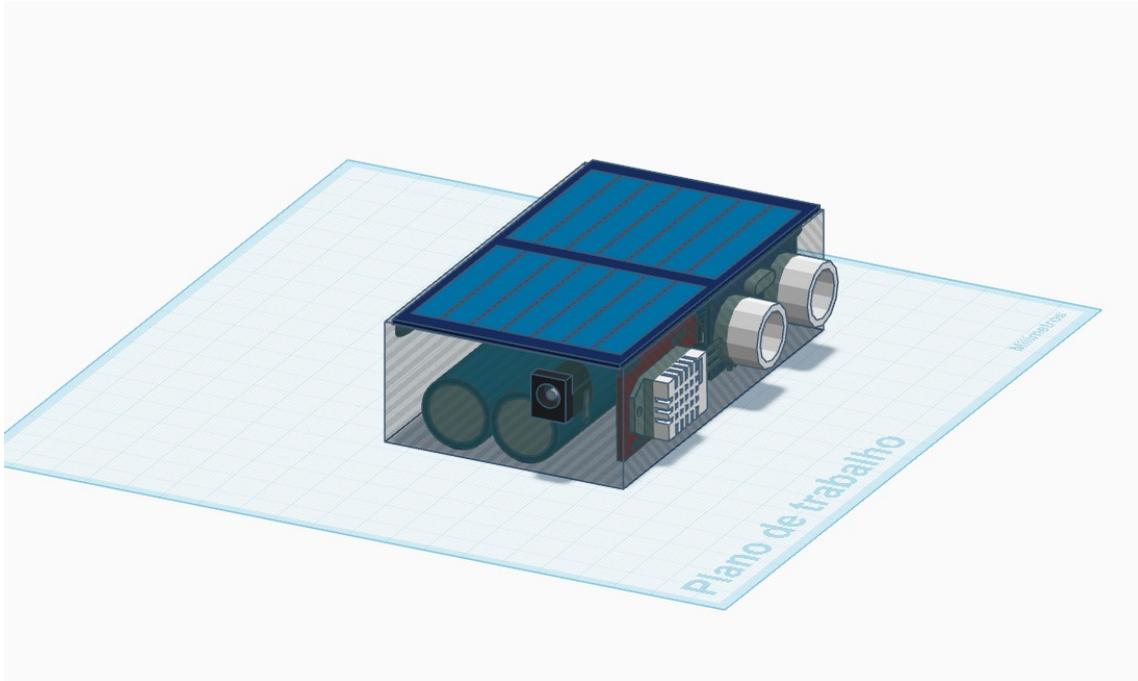
<b>Componente</b>	<b>Corrente Típica (mA)</b>
ESP32 (Wi-Fi ativo)	240
Sensor DHT22	2.5
Sensor HC-SR04	15
Módulo GPS GY-GPS6MV2	30
LM2596S (perda estimada)	20
Margem extra (picos/ruído)	30
<b>Consumo total estimado</b>	<b>337,5 mA</b>
Bateria utilizada	7.4 V – 2000 mAh
Duração estimada	<b>aprox. 5,9 horas</b>

$$\text{Autonomia (h)} = \frac{\text{Capacidade da bateria (Ah)}}{\text{Corrente total (A)}} \quad (1)$$

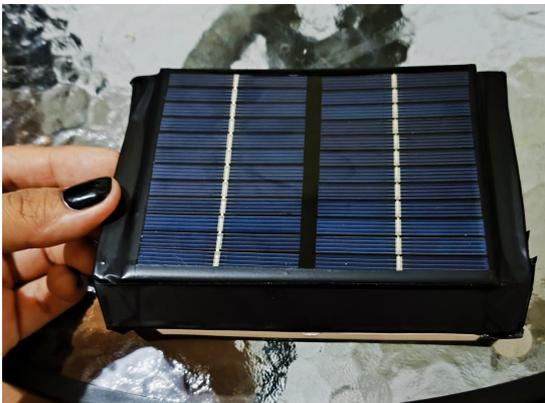
A comunicação facilitada também entra nas vantagens e inovação proposta, a interface de interação com o usuário, feita por meio do aplicativo Telegram, oferece praticidade e familiaridade, dispensando a necessidade de aplicativos proprietários ou conhecimentos técnicos avançados. Destaca-se também sua acessibilidade econômica, uma vez que foi concebida com base em componentes de baixo custo e de fácil aquisição, permitindo que a solução seja replicável por diferentes públicos (desenvolvedores ou usuários) e aprimorada de forma a elevar a confiabilidade no protótipo.

Entretanto, é importante destacar uma limitação enfrentada ao longo do desenvolvimento: não foi possível estabelecer controle direto sobre componentes internos do veículo, como os sistemas de vidros ou alarmes. Embora essa funcionalidade estivesse presente no projeto original, não foram identificadas alternativas técnicas ou legais viáveis para viabilizar essa integração sem comprometer a segurança ou exigir modificações diretas no sistema automotivo. Dessa forma, optou-se por manter o SafeLifeCar como uma solução totalmente independente da infraestrutura eletrônica do automóvel, preservando sua flexibilidade de instalação e uso em diferentes contextos.

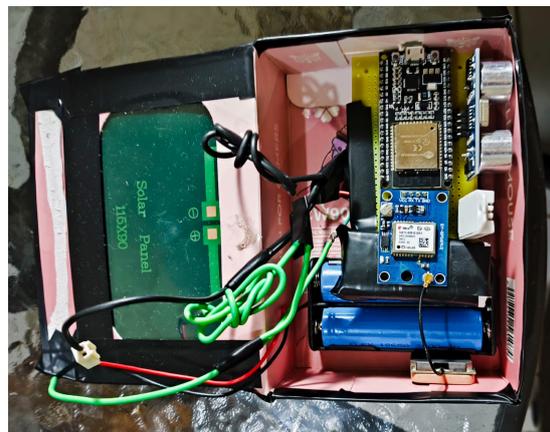
A seguir, são apresentadas diversas imagens que ilustram tanto a configuração física do protótipo quanto as funcionalidades observadas durante as etapas de teste. A Figura 3 exibe a montagem completa do circuito, destacando o posicionamento da placa ESP32, a integração dos sensores (DHT22 para temperatura e umidade, HC-SR04 para detecção de presença e módulo GPS para geolocalização) e demais componentes eletrônicos, todos organizados de maneira compacta em uma estrutura que favorece a instalação em ambientes automotivos.



**Figura 3. Protótipo modelado em 3D**



**Figura 4. Estruturação do dispositivo**

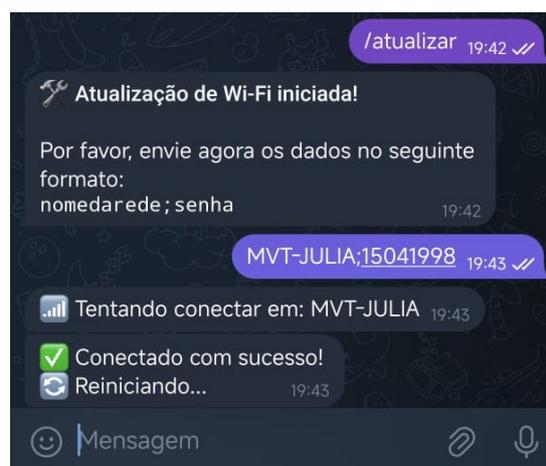


**Figura 5. Integração dos componentes**

As Figuras 6 e 7 apresentam a interface de comunicação estabelecida entre o sistema embarcado e o usuário, por meio da plataforma Telegram. Nessas imagens, observa-se a inicialização do bot, a apresentação do estado operacional do dispositivo e a exibição das opções de comando disponíveis. Também são exibidas as respostas automatizadas às requisições enviadas pelo usuário, demonstrando a funcionalidade do sistema em prover, em tempo real, dados provenientes dos sensores, tais como temperatura interna do veículo, detecção de presença e coordenadas geográficas obtidas via módulo GPS.



**Figura 6. Início da comunicação com o bot no Telegram**



**Figura 7. Interações via comandos com o bot**

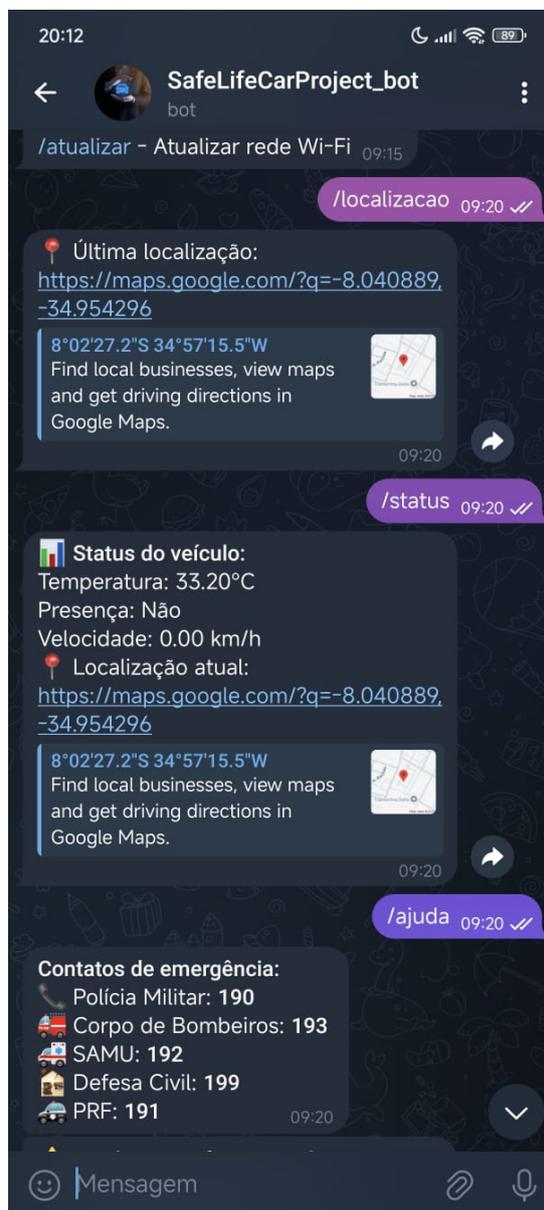
A Figura 8 evidencia o funcionamento da lógica de segurança, com o envio de alertas em situações de risco, como a detecção de temperatura elevada juntamente à presença detectada no interior do veículo. Nesse exemplo, é possível observar o envio de um alerta quando há simultaneamente a detecção de temperatura interna elevada e presença no interior do veículo, o que caracteriza uma situação de perigo iminente, como o esquecimento de uma criança ou animal de estimação.

Por fim, a Figura 9 ilustra a funcionalidade de monitoramento da qualidade da conexão com a internet. O sistema é capaz de identificar a degradação do sinal Wi-Fi e, preventivamente, emitir uma última mensagem ao usuário contendo a localização geográfica do veículo antes da perda de conectividade. Esse mecanismo aumenta significativamente a confiabilidade do sistema, mesmo em áreas de cobertura limitada ou com sinal instável.

As imagens apresentadas reforçam a eficácia e a capacidade de resposta do sistema SafeLifeCar, que demonstrou desempenho consistente em detectar situações de risco e manter o usuário informado, mesmo em ambientes com sinal de internet instável. Sua concepção modular, aliada à flexibilidade de conectividade e autonomia energética, o torna uma solução promissora para segurança veicular preventiva.



**Figura 8. Alertas de perigo emitidos automaticamente pelo sistema**



**Figura 9. Alerta de sinal fraco com envio de localização para contingência**

## 6. Conclusão e trabalhos futuros

A crescente complexidade dos sistemas veiculares modernos impõe novos desafios à segurança no trânsito, exigindo soluções tecnológicas integradas e adaptáveis aos diversos contextos de risco. Diante desse cenário, o projeto SafeLifeCar demonstrou-se uma

proposta viável e eficaz no monitoramento ambiental interno de veículos, com ênfase na proteção de indivíduos vulneráveis, como crianças e animais de estimação. Por meio da combinação de sensores embarcados, conectividade sem fio e comunicação inteligente via *bot* do Telegram, o sistema é capaz de detectar situações de emergência e agir de forma autônoma, enviando alertas em tempo real.

A arquitetura modular do *software*, implementada em linguagem C++ na plataforma ESP32 com o auxílio da IDE do Arduino, favorece a manutenção, expansibilidade e reutilização do código em diferentes contextos. Todos os testes foram conduzidos *in loco*, em ambiente controlado, de forma a simular com precisão o uso real do sistema em veículos. A partir desses ensaios, foi possível validar a precisão das leituras sensoriais, a confiabilidade do processo de comunicação via rede Wi-Fi e a eficácia das notificações geradas pelo sistema em tempo real. Destaca-se, ainda, a capacidade do SafeLifeCar de identificar e reagir preventivamente a situações de sinal fraco, antecipando a perda de conectividade e garantindo o envio da última localização conhecida, o que reforça sua robustez operacional mesmo em cenários adversos.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o SafeLifeCar representa uma alternativa tecnicamente sólida, de baixo custo e alta aplicabilidade no contexto da segurança veicular. Sua independência em relação ao sistema eletrônico do veículo e sua capacidade de operar em diferentes redes tornam-no uma solução acessível e promissora para ampliar a proteção de vidas humanas e animais no ambiente automotivo. A documentação completa, incluindo esquemas elétricos, imagens do protótipo, código-fonte completo e vídeo de demonstração do funcionamento do sistema SafeLifeCar, está disponível para consulta no repositório indicado.

Para a continuidade deste trabalho, recomenda-se a incorporação de um módulo GSM de modo a garantir o envio de alertas mesmo na ausência de conexão Wi-Fi, assegurando maior confiabilidade em áreas sem cobertura sem fio. Ademais, sugere-se expandir o alcance do sistema para toda a cabine do veículo, instalando módulos de sensores em cada assento e interligando-os via rede mesh (ESP-NOW). Dessa forma, a malha de dispositivos cobriria todos os pontos em que um indivíduo (criança ou animal) pudesse estar deixado inadvertidamente, independentemente de sua posição no interior do automóvel. Essas diretrizes visam tornar o SafeLifeCar ainda mais confiável, preciso e capaz de atender simultaneamente vários ocupantes, mesmo em cenários de conectividade limitada ou situações acidentais.

## Referências

ALI, Muhammad; RAMLI, Rusyaizila. Prevention Alert System for a Child Left in a Parked Vehicle. **Journal of Management Science**, v. 19, n. 2, p. 13, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.57002/jms.v19i2.233>.

BARBOSA, Maria et al. Uma Proposta Open Source de Baixo Custo para Proteção e Geolocalização de Bebês em Veículos Automotores (SafeBaby). **Caderno de Tecnologia e Biotecnologia**, p. 095–101, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14210/cotb.v12.p095-101>.

BASHIR, Anees et al. IoT enabled Vehicles Auto Kids Recognition System. **Advances in Engineering Technology**, p. 1–5, fev. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ASET56582.2023.10180634>.

COSTA, Driely; GRUNDSTEIN, Andrew. An analysis of children left unattended in parked motor vehicles in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, p. 649, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph13070649>.

GOMES, Luiz Henrique L. S.; MARINS, João Carlos B.; CARNEIRO-JUNIOR, Miguel A. Respostas termorregulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 31, p. 104–110, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-05822013000100017>.

HAZIZAN, A.; LAZAM, N. A. M.; HASSAN, N. I. Development of child safety car alert system using Arduino and GSM module. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 834, n. 1, p. 012071, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/834/1/012071>.

KAVITHA, P. et al. IoT-Enhanced Automatic Child Detection System for Cars. **2024 5th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)**, p. 503–508, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ICESC60852.2024.10690044>.

KUMAR, M. Amareswara et al. Babycare warning system based on IoT and GSM to prevent leaving a child in a parked car. **AIP Conference Proceedings**, v. 3028, n. 1, p. 020071, jul. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/5.0212518>.

LIMA, R. B. S. D. O.; FRANCISCO, G. R. Cadeira infantil veicular inteligente (Civi). **Centro Paula Souza - Faculdade de Tecnologia (FATEC) Santo André**, 2015. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/civi-cadeira-infantil-veicular-inteligente/64622908>  
Acesso em: 10 mai. 2025.

MCLAREN, C.; NULL, J.; QUINN, J. Heat stress from enclosed vehicles: Moderate ambient temperatures cause significant temperature rise in enclosed vehicles. **Pediatrics**, v. 116, n. 1, p. 103–112, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2004-2368>.

NULL, J. Pediatric vehicular heatstroke fact sheet. **Department of Meteorology and Climate Science**, 2023. Disponível em: <http://noheatstroke.org> Acesso em: 20 mai. 2025.

PROJETO SAFELIFECAR. **Repositório**. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1KTyuaOFK\\_VPcm\\_ficq4TzPd8XdDnrRD8](https://drive.google.com/drive/folders/1KTyuaOFK_VPcm_ficq4TzPd8XdDnrRD8) Acesso em: 12 jun. 2025.

SHAHRUNNAJIB, N. N. Smart children movement detector (Wi-Fi sensor). **Politeknik Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah**, 2023. Disponível em:  
<http://repository.psa.edu.my>. Acesso em: 12 mai. 2025.

ZARIN, F. B. et al. Machine learning classification to detect unattended child in vehicle using sensor signal: a review. In: PROCEEDINGS of the IEEE 8th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET). [S.l.: s.n.], 2023. P. 414–418. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSECS58457.2023.10256369>.