

# PROTOTIPAÇÃO MÓVEL PARA RECONHECIMENTO DE PLACAS VEICULARES

Henrique Zardin de Lima\*      Profa. Dra. Anubis Graciela de Moraes Rossetto†  
Prof. Dr. João Mário Lopes Brezolin‡

2023

## Abstract

The increase in traffic demands innovations in vehicle monitoring, as the manual approach by police officers proves disadvantageous due to errors and delays. Existing solutions have limitations, highlighting the urgent need for an efficient, cost-effective method for automatic license plate recognition to enhance patrolling activities. The main objective is to develop an accessible embedded system for automatic license plate recognition, contributing to patrol efficiency by automating alerts. The implementation of license plate recognition systems is crucial for public safety, enabling the identification of stolen vehicles and irregularities. In addition to direct benefits, this technology represents a modernization for security agencies, reinforcing societal trust. Financial viability expands the adoption of this technology, contributing to the reduction of traffic-related crimes. The paper presents the development of a low-cost mobile prototype for automated license plate recognition.

**Keywords:** Vehicle Monitoring. Automatic Recognition. License Plates. Embedded System.

## Resumo

O aumento do tráfego demanda inovações no monitoramento veicular, uma vez que a abordagem manual por parte dos policiais se revela desvantajosa devido a erros e demora. As soluções existentes apresentam limitações, evidenciando a necessidade premente de um método eficiente, de menor custo para o reconhecimento automático de placas veiculares, com o intuito de aprimorar as atividades de patrulhamento. O objetivo principal consiste em desenvolver um sistema embarcado acessível voltado para o reconhecimento automático de placas veiculares, contribuindo assim para a eficiência do patrulhamento ao identificar alertas de forma automatizada. A implementação de sistemas de reconhecimento de placas veiculares se mostra crucial para a segurança pública, possibilitando a identificação de veículos roubados e irregularidades. Além dos benefícios diretos, essa tecnologia representa uma modernização

---

\*Orientando do trabalho (henriquezardindelima1@gmail.com).

†Coorientador do trabalho (anubisrossetto@ifsul.edu.br).

‡Orientador do trabalho (jmbrezolin@gmail.com).

para os órgãos de segurança, reforçando a confiança da sociedade. A viabilidade financeira amplia a adoção dessa tecnologia, colaborando para a redução de crimes relacionados ao trânsito. O trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo móvel de baixo custo para o reconhecimento automatizado de placas veiculares.

**Palavras-chaves:** Monitoramento Veicular. Reconhecimento Automático. Placas Veiculares. Sistema Embarcado.

## 1 Introdução

Conforme o órgão Sindipeças (2023), o Brasil está em um contexto de crescente tráfego veicular, e a incorporação de novas tecnologias para o monitoramento e segurança viária torna-se indispensável. No âmbito do patrulhamento realizado pelos oficiais, há uma urgência em melhorar o processo de reconhecimento de veículos com alertas em vias públicas. O reconhecimento manual apresenta desafios, como erros humanos e atrasos na identificação da placa, tornando-se desvantajoso em ambientes com alto volume de trânsito.

Queiroz (2015) destaca que o crescimento socioeconômico, aliado ao desenvolvimento desorganizado das cidades, impactou significativamente o trânsito. A saturação e o aumento no número de veículos resultam no desafio de controlar esses automóveis em circulação, levando ao aumento da quantidade de infrações e furtos. Essa referência enfatiza a importância de soluções tecnológicas para otimizar as atividades de reconhecimento de veículos, corroborando a necessidade do desenvolvimento de um sistema automatizado de reconhecimento de placas veiculares abordado neste trabalho.

Para superar esses desafios, este trabalho propõe um sistema automatizado de reconhecimento de placas veiculares, implementável em dispositivos móveis de forma acessível. Espera-se que essa solução proporcione um método eficiente, de menor custo, tamanho reduzido e mais ágil para o reconhecimento de veículos com alertas sobre irregularidades ou furto. O foco está na precisão e agilidade, contribuindo para a eficiência das atividades de patrulhamento e segurança pública. Por se tratar de um projeto de baixo custo, este assume seu diferencial pela viabilidade para implementação em larga escala, permitindo sua adoção em diversas áreas.

O trabalho teve início com o estudo da problemática do processamento de imagens aplicado ao reconhecimento de placas veiculares. Uma revisão de conceitos fundamentais, tecnologias existentes e desafios enfrentados por soluções similares foi conduzida nessa fase inicial. A etapa seguinte consistiu em uma revisão da literatura existente sobre sistemas de reconhecimento de placas veiculares, avaliando propostas correlatas e identificando vantagens e limitações. Essa revisão forneceu uma base sólida para o desenvolvimento do protótipo.

A escolha adequada de tecnologias para o desenvolvimento do sistema foi o objetivo seguinte, incluindo uma análise e comparação de diferentes abordagens tecnológicas. Eficiência, custo e escalabilidade foram considerados durante esse processo. Com as conclusões anteriores, foi possível desenvolver a estrutura física do sistema embarcado, envolvendo a seleção e integração de componentes, com foco na otimização do tamanho e custo financeiro do protótipo.

Utilizando as tecnologias selecionadas, o sistema que realizou o reconhecimento automatizado de veículos e de caracteres das placas foi desenvolvido, com ênfase na precisão e agilidade do processo de identificação. Paralelamente ao desenvolvimento do sistema embarcado, foi criado um aplicativo que permitiu a consulta automática das placas identificadas, proporcionando uma interface amigável para os profissionais envolvidos. No final do desenvolvimento, o sistema foi submetido a testes para avaliar sua eficiência. Métricas como taxa de acerto, velocidade de processamento e adaptabilidade a diferentes condições foram analisadas.

Essa capacidade de identificação de veículos roubados, furtados ou envolvidos em atividades criminosas, assim como daqueles que não estão em conformidade com suas obrigações legais, como licenciamento, IPVA e multas pendentes, é essencial. Conforme destacado por Corneto *et al.* (2017), para os agentes de trânsito nas cidades, a implementação de sistemas de identificação de placas veiculares auxilia na identificação ágil de furtos e infrações, proporcionando uma identificação mais precisa de condutores irregulares.

Além dos benefícios diretos para a segurança pública, a implementação desses sistemas de reconhecimento de placas veiculares representa uma oportunidade de modernização para os órgãos de segurança e trânsito, o que pode demonstrar o comprometimento desses órgãos em adotar tecnologias inovadoras que visam aprimorar a eficiência e qualidade dos serviços prestados. Isso resulta em uma melhor percepção da população em relação à atuação desses órgãos, aumentando a confiança da sociedade e promovendo um ambiente mais seguro para todos os cidadãos.

Além disso, de acordo com Belderrain (2004), um dos fatores que influenciam a adoção de novas tecnologias é tornar o custo de produção desses equipamentos mais viável, potencializando a adoção dessa tecnologia pelos veículos policiais, o que significa que um maior número de veículos estará equipado com sistemas de reconhecimento de placas, aumentando significativamente a efetividade das ações de patrulhamento e fiscalização.

Em suma, a implementação de sistemas de reconhecimento de placas veiculares apresenta uma série de vantagens, desde a melhoria da segurança pública e o cumprimento das obrigações legais dos motoristas até a modernização dos órgãos responsáveis pela fiscalização do trânsito. Além disso, a viabilidade financeira desses sistemas possibilita um maior número de veículos policiais utilizando essa tecnologia, ampliando assim sua eficácia na identificação e prevenção de irregularidades no trânsito.

Este documento está estruturado da seguinte maneira: na [seção 2](#), são apresentados os fundamentos teóricos relacionados ao reconhecimento de placas de veículos. A [seção 3](#) detalha as tecnologias aplicadas neste trabalho. Na [seção 4](#), são discutidos trabalhos anteriores e tópicos relevantes para o contexto deste estudo. A [seção 5](#) destaca os requisitos e a estrutura da solução proposta. Em seguida, na [seção 6](#), aborda-se a implementação e desenvolvimento do projeto. A [seção 7](#) apresenta a avaliação realizada e os resultados obtidos. Por fim, as [seção 8](#) contêm as conclusões finais.

## 2 Referencial Teórico

Nesta seção, serão apresentados os conceitos relativos ao reconhecimento de placas de veículos e as tecnologias que serão utilizadas no desenvolvimento do projeto. Esses conceitos fornecem a base para a realização da pesquisa em questão.

### 2.1 Tráfego de veículos

O Brasil experimentou um aumento constante no número de veículos no período de 2010 a 2022 (SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS, 2023). Esse crescimento resultou em um aumento correspondente nas violações de trânsito, destacando a necessidade de aprimorar o patrulhamento e o reconhecimento de veículos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), em 2021 foram registrados 342 mil furtos no país.

Tabela 1 – Tabela 8755 do IBGE - Número de furtos de veículos no Ano 2021

Região	Quantidade
Centro-Oeste	24 mil
Nordeste	48 mil
Norte	29 mil
Sudeste	189 mil
Sul	52 mil

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual - 4º trimestre, 2022

Esse cenário reforça a urgência de soluções eficientes para o monitoramento veicular, uma vez que o aumento constante da frota nacional e os índices significativos de crimes relacionados a veículos representam um desafio considerável para as forças de segurança. Pala (2022) ressalta que, em algumas ocasiões, a atividade de guarda se torna desgastante devido ao tempo de serviço e ao volume de veículos transitando pelas unidades. Nesse sentido, um dispositivo capaz de auxiliar no controle do tráfego de veículos nas unidades permite que o militar designado para o serviço de sentinela execute suas tarefas de maneira mais eficiente, evitando o desperdício de recursos e entregando melhores resultados à sociedade, com efetividade e excelência.

### 2.2 Aquisição e Tratamento da Imagem

Para compreender a relevância desta seção no âmbito da computação visual, é essencial abordar a etapa crucial de aquisição e tratamento da imagem. Este processo é fundamental para sistemas de reconhecimento de placas veiculares, pois define a qualidade das informações obtidas.

A obtenção da imagem é feita através da captura de vídeo, que consiste em um conjunto de imagens chamadas de "*frames*" reproduzidas sequencialmente para criar a sensação de movimento. A velocidade de reprodução é medida em *frames* por segundo (FPS). Por exemplo, 60 FPS indica que 60 imagens são exibidas em um segundo. O uso de vídeos é recomendado para processar imagens, pois elas são divididas em *frames*, o que aumenta a precisão na leitura de placas.

Para ilustrar, considere um cenário fictício em que um veículo passa diante da câmera em 8 *frames*. Isso significa que existem 8 oportunidades para a leitura da placa. Algumas dessas

imagens podem não ser adequadas devido a condições ambientais, porém a probabilidade de obter uma imagem viável para a leitura é maior em comparação à captura de uma única imagem. Portanto, quanto maior o número de *frames*, maior será a precisão na leitura da placa.

O reconhecimento do veículo é um fator fundamental para o reconhecimento em geral, porém, é uma tarefa que requer um processamento intensivo. Para reduzir essa carga de processamento, podem ser aplicados tratamentos de imagem, sendo a segmentação de imagens um dos métodos mais amplamente utilizados. Laroca (2018) destaca que essa técnica consiste em processar digitalmente a imagem para intensificar as regiões relevantes. O objetivo é minimizar o problema da poluição visual no tratamento da imagem, destacando as áreas onde o veículo pode estar. Isso facilita a identificação do objeto 'veículo', possibilitando, posteriormente, a identificação da placa e reduzindo a chance de o sistema processar dados desnecessários.

Na identificação da placa, também é comum utilizar a segmentação. No entanto, os caracteres são identificados por meio da comparação com templates padrão de um banco de dados. Faour *et al.* (2016) utiliza uma rede neural para identificar os caracteres, após a segmentação da imagem. No entanto, o principal desafio na leitura e identificação de placas reside no ambiente externo, uma vez que qualquer variação na posição das placas ou na iluminação pode afetar a precisão da detecção. Realizar o tratamento da imagem antes de fazer o reconhecimento da placa é uma etapa importante, pois o sucesso no reconhecimento depende significativamente da qualidade da imagem ou do quadro do vídeo. A placa do veículo pode estar localizada em qualquer lugar da imagem e é distinguida por características como limite de borda, tamanho, cor e presença de caracteres. Com o conhecimento desses atributos, o tempo de processamento para detectar uma placa de carro pode ser reduzido, processando apenas os *pixels* que possuem tais características. Essa etapa é crucial para evitar gargalos ou travamentos.

### 2.3 Processamento da Imagem

As imagens digitais são formadas por *pixels*, que são unidades básicas que contêm um valor e podem criar diferentes tipos de imagens. Geralmente, há três formatos usados para representar imagens: binário, escala de cinza e RGB (composto por vermelho, verde e azul). As imagens binárias possuem apenas 1 bit por pixel, representando preto (0) ou branco (1). Essa representação é importante, pois reduz a quantidade de informações nas imagens, tornando mais fácil o processamento ao lidar com menos dados, resultando em um desempenho melhor. Kocera *et al.* (2010) definem que a região da placa consiste normalmente em fundo branco e caracteres pretos. Portanto, as transições entre as cores preto e branco são muito intensas nessa região, facilitando a localização da placa, mas não do veículo.

As imagens em escala de cinza, também conhecidas como monocromáticas, são distintas pela intensidade luminosa em cada ponto, determinada pelo nível de cinza. Ao contrário das imagens binárias, em que os *pixels* têm apenas os valores 0 ou 1, em uma imagem em escala de cinza, cada ponto pode variar seu valor entre 0 e 255. Portanto, essas imagens contêm menos informação do que as imagens em RGB, mas ainda são suficientes para distinguir o objeto veículo de outros objetos. É recomendado, após localizar a placa, realizar um recorte na imagem contendo apenas a placa, a fim de reduzir o processamento desnecessário. Em seguida, a imagem da placa

do veículo deve passar por vários filtros de processamento digital para permitir a identificação da posição de cada caractere e facilitar a leitura das letras e números presentes na placa.

## 2.4 Reconhecimento Óptico de Caracteres

Esta ferramenta é chamada de OCR (Optical Character Recognition ou Reconhecimento Óptico de Caracteres). Ela permite converter imagens com texto impresso ou escrito à mão em texto digital. Um exemplo comum de uso é tirar uma foto de um documento físico e automaticamente transformar o texto escrito em texto digital. O OCR compara as características visuais de cada caractere identificado com as fontes armazenadas em seu banco de dados e também pode reconhecer as características específicas de um determinado caractere.

No entanto, o OCR nem sempre realiza o reconhecimento corretamente, especialmente quando a imagem a ser convertida possui baixa resolução, contém imagens de fundo ou apresenta um tamanho de fonte muito pequeno ou uma fonte diferente daquela usada no seu treinamento. Nessas situações, é comum que o sistema de OCR produza resultados incorretos na saída. Kocera *et al.* (2010) recomendam o uso de duas Redes Neurais Artificiais (RNAs) separadas para garantir uma leitura mais eficiente e corrigir a complexidade do reconhecimento de números e letras semelhantes, como "0" e "O", "2" e "Z", e "8" e "B". Nesse contexto, é recomendado criar um banco de dados próprio de imagens para ensinar o OCR a identificar os caracteres das placas de veículos, uma vez que no Brasil as placas possuem dois padrões de fonte: o antigo *Mandatory* e o novo *FE-Schrift*. A maioria dos bancos de imagens para OCR utiliza caracteres em palavras inteiras e separadas, e não apenas caracteres individuais.

## 3 Tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do sistema

Na presente seção, estão detalhadas as tecnologias que foram empregadas na implementação deste trabalho.

### 3.1 Raspberry Pi 4

O *Raspberry Pi 4* é um computador de placa única (*single-board computer*) desenvolvido pela *Raspberry Pi Foundation*. O *Raspberry Pi* é um dispositivo compacto, de baixo custo e baixo consumo de energia, projetado para fins educacionais, projetos de eletrônica e desenvolvimento de software. A versão usada será a *Raspberry Pi 4* que possui 8 gigabytes de memória RAM. Essa quantidade de memória permite um desempenho mais robusto em tarefas que exigem maior capacidade de processamento e gerenciamento de dados. Ele oferece melhorias significativas em relação aos modelos anteriores, incluindo um processador mais rápido, suporte a resolução 4K, portas USB 3.0, conexão *Ethernet Gigabit* e opções de armazenamento expansível.

### 3.2 Módulo de Câmera 5MP Raspberry Pi InfraRed Visão Noturna

O Módulo de Câmera 5MP *Raspberry Pi InfraRed Visão Noturna* é um acessório projetado para ser usado com o *Raspberry Pi*, permitindo capturar imagens e vídeos utilizando-o como plataforma de processamento. Sua característica especial é a visão noturna por infravermelho,

fornecendo iluminação adequada em condições de pouca luz ou escuridão, possibilitando capturar imagens em ambientes com baixa luminosidade. Com o Módulo de Câmera 5MP *Raspberry Pi InfraRed* Visão Noturna, é possível realizar projetos diversos, como monitoramento de segurança, visão computacional e captura de imagens em ambientes com pouca luz. Ele é facilmente conectado ao *Raspberry Pi* através do conector específico para câmera na placa.

### 3.3 OpenCV

O *OpenCV* (*Open Source Computer Vision Library*) é uma biblioteca de código aberto amplamente utilizada na área de visão computacional. Seu objetivo principal é fornecer um conjunto de funções e algoritmos otimizados para processamento de imagens e vídeos. Conhecida pela sua eficiência e desempenho, o *OpenCV* é amplamente utilizado em diversas aplicações de visão computacional, abrangendo desde projetos acadêmicos até sistemas de visão industrial. Além disso, o *OpenCV* oferece recursos para integração com outros *frameworks* e bibliotecas populares de aprendizado de máquina.

### 3.4 Python

*Python* é uma linguagem de programação interpretada, de alto nível e multiparadigma. Ela é amplamente utilizada em visão computacional devido à disponibilidade de bibliotecas populares e poderosas, como o *OpenCV*. O *OpenCV* oferece uma vasta gama de funções e algoritmos otimizados para processamento de imagens e vídeos, detecção de objetos, reconhecimento facial, calibração de câmera e muito mais. Essas bibliotecas facilitam o desenvolvimento eficiente de aplicações de visão computacional. *Python* também se destaca pela sua versatilidade e integração fácil com outras tecnologias e *frameworks* comumente utilizados em visão computacional.

### 3.5 Flutter

*Flutter* é um framework de desenvolvimento de aplicativos móveis, conhecido por sua abordagem de código único para construir aplicações tanto para Android quanto para iOS. Desenvolvido pela Google, o Flutter utiliza a linguagem de programação Dart. Com uma arquitetura baseada em widgets, o *Flutter* emprega reatividade, permitindo a atualização dinâmica da interface, tornando-o ideal para aplicações que constantemente atualizam as informações.

### 3.6 Tesseract OCR

O Tesseract OCR (Reconhecimento Óptico de Caracteres) é uma poderosa ferramenta de código aberto para a extração de texto de imagens. Integrando-se facilmente ao ecossistema *Python*, o Tesseract permite processar imagens de placas de veículos, reconhecendo e convertendo caracteres textuais presentes nas imagens. Sua capacidade de lidar com diferentes tipos de fontes e tamanhos de texto o torna uma escolha valiosa para a tarefa específica de leitura de placas.

### 3.7 Haarcascade

*Haarcascade* é uma técnica amplamente utilizada para reconhecimento de objetos em imagens. Essa abordagem, comumente aplicada em visão computacional, emprega um conjunto

de classificadores baseados em características visuais.

No contexto do reconhecimento de carros, *Haarcascade* demonstra sua eficácia ao identificar padrões distintivos, como formas e texturas, associados a veículos. Este método é particularmente útil em sistemas de vigilância, controle de tráfego e automação veicular.

A implementação do *Haarcascade* para reconhecimento de carros muitas vezes se beneficia de treinamentos específicos, nos quais o algoritmo é ajustado para reconhecer características particulares dos veículos em questão. Isso resulta em maior precisão e confiabilidade na detecção de carros em diferentes ambientes e condições de iluminação. Sua capacidade de processamento eficiente e precisão na identificação de objetos fazem dele uma ferramenta valiosa para esse trabalho.

### 3.8 MSER (Maximally Stable Extremal Regions)

É uma técnica avançada amplamente utilizada para o reconhecimento de objetos em imagens. Essa abordagem, popular na visão computacional, destaca regiões extremamente estáveis em relação às mudanças de escala, iluminação e contraste.

No contexto do reconhecimento de objetos, MSER destaca-se ao identificar regiões que permanecem estáveis em diferentes condições, tornando-o robusto e eficaz para diversas aplicações. Sua capacidade de adaptar-se a variações significativas na aparência dos objetos o torna valioso em cenários desafiadores.

A implementação do MSER frequentemente se beneficia de parâmetros ajustáveis para otimizar a detecção de regiões estáveis em diferentes contextos. Isso resulta em uma maior flexibilidade e adaptabilidade em projetos que exigem reconhecimento de objetos em ambientes variados.

O MSER é especialmente útil em aplicações como detecção de texto em imagens, reconhecimento de formas e rastreamento de objetos em vídeos. Sua capacidade de identificar regiões extremamente estáveis contribui para a precisão e confiabilidade em tarefas complexas de visão computacional.

## 4 Trabalhos relacionados

Para fundamentar esta pesquisa de maneira mais robusta, foram revisados trabalhos com temas relacionados à presente proposta. Nesta seção, são apresentadas as semelhanças e diferenças entre eles em relação à proposta apresentada neste estudo.

O trabalho realizado por Miranda (2021) propõe o desenvolvimento de um sistema para o reconhecimento de caracteres utilizando as bibliotecas *OpenCV* e *Pytesseract*, além de mencionar a viabilização do uso do *Raspberry Pi* para esse projeto. Essas bibliotecas foram selecionadas devido às suas capacidades de aplicar filtros de conversão em escala de cinza, limiarização e desfoque. A aplicação demonstrou a capacidade de reconhecer os caracteres presentes em uma imagem, embora não tenha alcançado total assertividade devido a interferências ambientais. Os resultados também evidenciaram que o processamento ocorre de forma clara e simplificada,

demandando menos recursos computacionais em comparação com outros métodos que utilizam aprendizado profundo e exigem uma CPU de alta capacidade de processamento.

No trabalho de Do et al. (2016), implementado em dispositivos móveis, foi realizada a segmentação de cada caractere por meio da identificação da região retangular na placa extraída. O algoritmo empregado envolveu a aplicação de binarização e a localização dos contornos na placa, seguidos pela detecção da região retangular. Cada contorno individual foi delimitado por uma caixa retangular, representando uma região. Em seguida, as regiões foram analisadas de acordo com critérios específicos, mantendo apenas aquelas que atendiam aos critérios para o reconhecimento de caracteres, enquanto as demais foram descartadas. Esse método não fez uso do reconhecimento do objeto veículo e da placa, mas sim diretamente dos caracteres, gerando uma dependência do enquadramento assertivo para o reconhecimento.

Além disso, Do et al. (2016) utilizou um método baseado em morfologia para a detecção de placas de veículos. Considerando que as placas de carros geralmente possuem formato retangular, esse método utilizou o atributo geométrico dessa forma para a detecção. Após a aplicação das operações morfológicas, a imagem de entrada foi binarizada para identificar os contornos e permitir a obtenção de uma região retangular na imagem. Esse método apresentou uma alta taxa de localização. Do et al. (2016) destacou que o método baseado em morfologia é ideal para implementação em dispositivos móveis, devido ao seu algoritmo menos complexo em comparação com outros métodos, como o método de detecção de bordas. Essa menor complexidade algorítmica torna o método mais eficiente e contribui para a redução do tempo de processamento em dispositivos móveis.

Ambos os trabalhos levam em consideração as restrições de processamento dos dispositivos utilizados e empregam a biblioteca OCR. Por sua vez, esses trabalhos relacionados contribuem para o avanço do reconhecimento de caracteres em imagens, oferecendo diversas perspectivas e abordagens que podem ser exploradas no desenvolvimento de sistemas eficientes e adaptáveis às necessidades específicas de cada aplicação.

## 5 Projeto da Solução

Esta seção aborda o levantamento de requisitos e a estrutura do hardware. Serão apresentados os requisitos essenciais identificados para o desenvolvimento do projeto, juntamente com uma análise da estrutura do hardware adotada para suportar as funcionalidades propostas. O entendimento desses elementos é crucial para a concretização e compreensão do sistema como um todo.

### 5.1 Requisitos funcionais e não funcionais

Com o objetivo de desenvolver um sistema eficiente de reconhecimento e pesquisa de placas veiculares, capaz de realizar identificações tanto em movimento no trânsito quanto quando o veículo está parado, foram identificados uma série de requisitos funcionais. Esses requisitos descrevem as funcionalidades essenciais que o sistema deve possuir para capturar e processar imagens dos veículos, realizar o reconhecimento da placa e fornecer informações relevantes sobre a

situação legal do veículo. A seguir, apresentam-se os principais requisitos funcionais identificados:

- captura de imagem do veículo: o sistema deve ser capaz de capturar imagens dos veículos, garantindo uma qualidade adequada para o reconhecimento da placa.
- tratamento da imagem utilizando filtros do *OpenCV*: Após a captura da imagem, o sistema deve aplicar filtros específicos disponíveis no *OpenCV* para melhorar a qualidade e facilitar o reconhecimento dos caracteres da placa.
- reconhecimento da placa do veículo: utilizando técnicas de processamento de imagens e algoritmos de reconhecimento, o sistema deve ser capaz de extrair o local da placa do veículo, garantindo uma taxa de precisão.
- ajuste de escala: o sistema deve aplicar novos filtros e técnicas de ajuste de escala para aprimorar ainda mais a qualidade da imagem da placa e facilitar a leitura dos caracteres.
- reconhecimento dos caracteres da placa: o sistema deve ser capaz de realizar o reconhecimento dos caracteres na imagem após os tratamentos.
- envio dos resultados do reconhecimento de caracteres para o sistema de pesquisa de placas: os resultados do reconhecimento da placa, juntamente com a imagem tratada, devem ser enviados ao sistema de pesquisa de placas para a consulta e obtenção das informações legais do veículo.
- requisição *GET* do aplicativo mobile para consulta da placa em um banco de dados externo: o aplicativo deve ser capaz de realizar uma requisição *GET* para consultar as informações do veículo com base na placa.
- exibição da situação legal do veículo com base nas informações obtidas: o aplicativo deve ser capaz de mostrar a situação legal do veículo com base nas informações obtidas, a fim de alertar o usuário.

Os requisitos não funcionais são critérios essenciais para o sistema que abrangem características como desempenho, confiabilidade, segurança, usabilidade e compatibilidade. No caso do sistema proposto, eles são fundamentais para garantir eficiência, estabilidade, segurança e usabilidade, sendo eles:

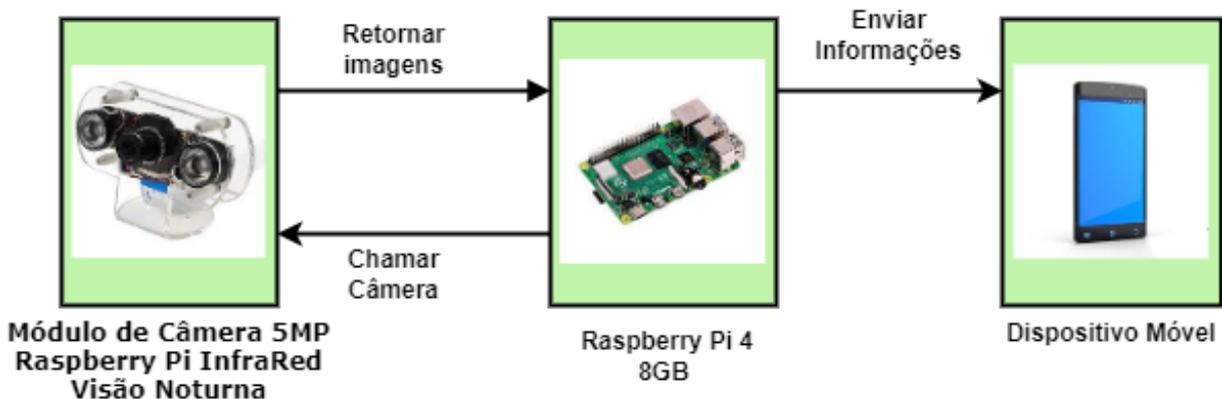
- eficiência e precisão no tratamento da imagem e reconhecimento dos caracteres: o sistema deve processar as imagens de forma eficiente, garantindo precisão no reconhecimento dos caracteres da placa.
- confiabilidade e estabilidade do sistema durante todo o processo: o sistema deve ser confiável e estável, sem apresentar falhas ou interrupções ao longo do processo de captura, tratamento da imagem e reconhecimento dos caracteres.
- compatibilidade do aplicativo mobile com a requisição *GET* ao banco de dados externo: o aplicativo mobile deve ser compatível com a requisição *GET* realizada ao banco de dados externo, permitindo a obtenção das informações do veículo com base na placa consultada.

- tempo de resposta aceitável para a consulta da placa e exibição da situação legal do veículo: o sistema deve fornecer um tempo de resposta aceitável ao realizar a consulta da placa e exibir a situação legal do veículo no aplicativo mobile, garantindo uma experiência de usuário satisfatória.
- segurança e proteção das informações transmitidas durante o processo: o sistema deve garantir a segurança e proteção das informações transmitidas, garantindo que não sejam acessadas ou comprometidas por terceiros não autorizados.
- usabilidade e interface amigável do aplicativo mobile: o aplicativo mobile deve possuir uma interface intuitiva e amigável, facilitando o uso e a compreensão das informações exibidas. Deve ser fácil de navegar e utilizar, proporcionando uma experiência agradável ao usuário.

## 5.2 Descrição da arquitetura do hardware

A estrutura de hardware utilizada foi composta por três principais componentes, conforme ilustrado na (Figura 1): o *Raspberry Pi 4 8GB*, o Módulo de Câmera 5MP *Raspberry Pi InfraRed Visão Noturna* e o dispositivo móvel. O *Raspberry Pi 4* desempenhou o papel de processamento principal, sendo escolhido devido ao seu baixo custo e tamanho reduzido. Neste trabalho, sua função foi aguardar a captura da imagem pelo Módulo de Câmera 5MP *Raspberry Pi InfraRed Visão Noturna*, processar a imagem e enviar informações para o dispositivo móvel por meio de conexão *Bluetooth*.

Figura 1 – Diagrama da arquitetura do hardware



Fonte: Própria.

O Módulo de Câmera *Raspberry Pi InfraRed Visão Noturna* de 5MP foi selecionado devido à sua boa compatibilidade com o *Raspberry Pi*, tamanho compacto, alta resolução e capacidade de capturar imagens em ambientes de baixa luminosidade. O dispositivo móvel está disponível para receber informações da placa do veículo e consultar o banco de dados do Sistema Nacional de Informações de Segurança Pública, Prisionais, de Rastreabilidade de Armas e Munições, de Material Genético, de Digitais e de Drogas (Sinesp) por meio de requisições *GET*, retornando dados básicos do veículo e verificando se está em situação de roubo ou furto, exibindo possíveis irregularidades para o oficial.

## 6 Desenvolvimento do Sistema

Neste capítulo, descreve-se como o trabalho foi desenvolvido, abrangendo desde a definição do sistema proposto até a implementação prática. O desenvolvimento ocorreu em etapas distintas, fazendo uso da biblioteca *OpenCV*, da linguagem de programação *Python*, e do Tesseract OCR. Em seguida, procedeu-se com a integração do sistema ao aplicativo mobile, permitindo consultas no sistema de pesquisa de placas e viabilizando a obtenção das informações legais do veículo.

### 6.1 Descrição do Sistema

O sistema opera da seguinte forma, conforme ilustrado na Figura 4: primeiramente, realiza-se a captura da imagem, seguida pela aplicação de filtros do *OpenCV* para transformá-la em escala de cinza. Posteriormente, ocorre o redimensionamento do *frame* para acelerar o processo de detecção, utilizando o filtro gaussiano para diminuir o ruído da imagem, marcando o primeiro passo (1).

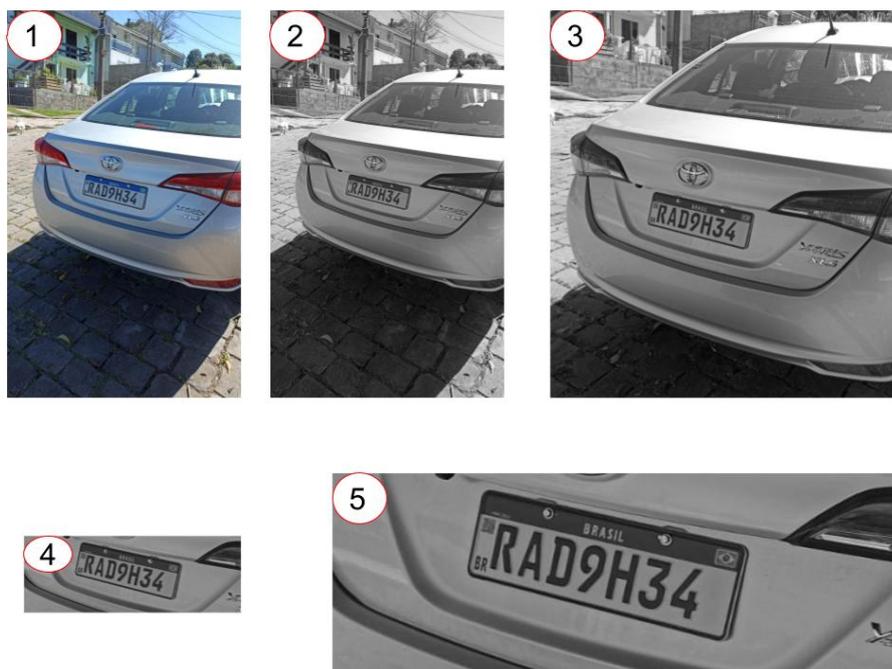
Em seguida, realiza-se o início do segundo passo sendo a comparação e filtragem de regiões. Essas regiões são filtradas com base em diferenças calculadas, sendo a detecção de carros realizada pela função *detectMultiScale* do classificador em cascata. Essa função identifica regiões na imagem que podem conter um objeto correspondente ao treinamento do classificador (2). Por fim, retângulos são desenhados nas regiões detectadas no *frame* original, e, em seguida, as regiões de interesse são recortadas e repassadas no terceiro passo (3).

No quarto passo, inicia-se o processo de localização da placa é iniciado através de uma transformação para redimensionar o quadro (*frame*) até um padrão específico para facilitar o reconhecimento. Isso é necessário devido ao treinamento do *haarcascade*, que foi realizado com uma dimensão específica (500x360 pixels) para proporcionar uma precisão otimizada sem comprometer significativamente o desempenho computacional. Após essa transformação, aplica-se um filtro gaussiano para reduzir o ruído na imagem. Posteriormente, são realizadas a comparação e filtragem de regiões.

Essas regiões são filtradas com base em diferenças calculadas, sendo a detecção de placas realizada pela função *detectMultiScale* do classificador em cascata com o padrão de reconhecimento de 150 pixels por 50 pixels (4). Posteriormente, as regiões de interesse são recortadas para obter a matriz da região da placa, chegando ao fim do quinto passo (5).

Na Figura 2, há uma ilustração de como as imagens ficam após cada etapa, desde a captura da imagem até o reconhecimento da região da placa. A primeira imagem representa a captura crua da imagem, a segunda ilustra os tratamentos iniciais da imagem para realizar a localização do objeto carro. Na terceira imagem, é apresentado o estado que a imagem assume após a localização do objeto carro e o tratamento para localizar o objeto placa. A quarta imagem mostra a captura do objeto placa, seguida da quinta, que representa o ajuste de escala antes de começar o tratamento para o OCR.

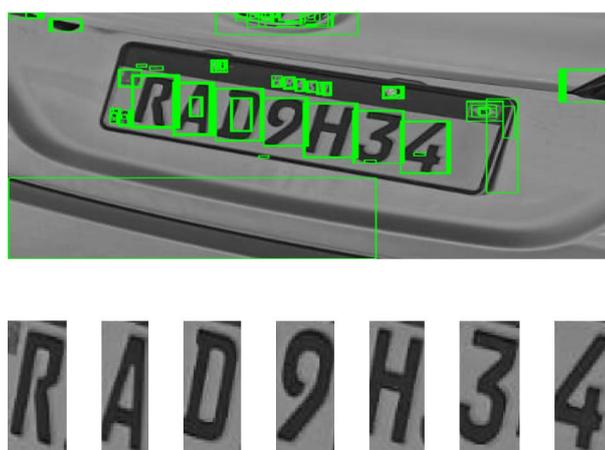
Figura 2 – Ilustração até a etapa do reconhecimento da placa



Fonte: Própria.

Posteriormente, são realizados o ajuste de escalas e a aplicação de filtros, incluindo realce, gaussiano e limiarização, para obter a melhor qualidade possível da imagem da placa, facilitando a leitura dos caracteres. Após o processamento dos filtros, é utilizado o filtro MSER, conforme ilustrado na Figura 3, para corrigir o problema de placas que não estejam em um ângulo reto. Isso se torna necessário, uma vez que o *Tesseract OCR* requer que os caracteres tenham o mesmo padrão de tamanho para realizar o reconhecimento corretamente. Em alguns casos, as placas podem estar ligeiramente inclinadas, tornando essa correção essencial, finalizando o sexto passo (6).

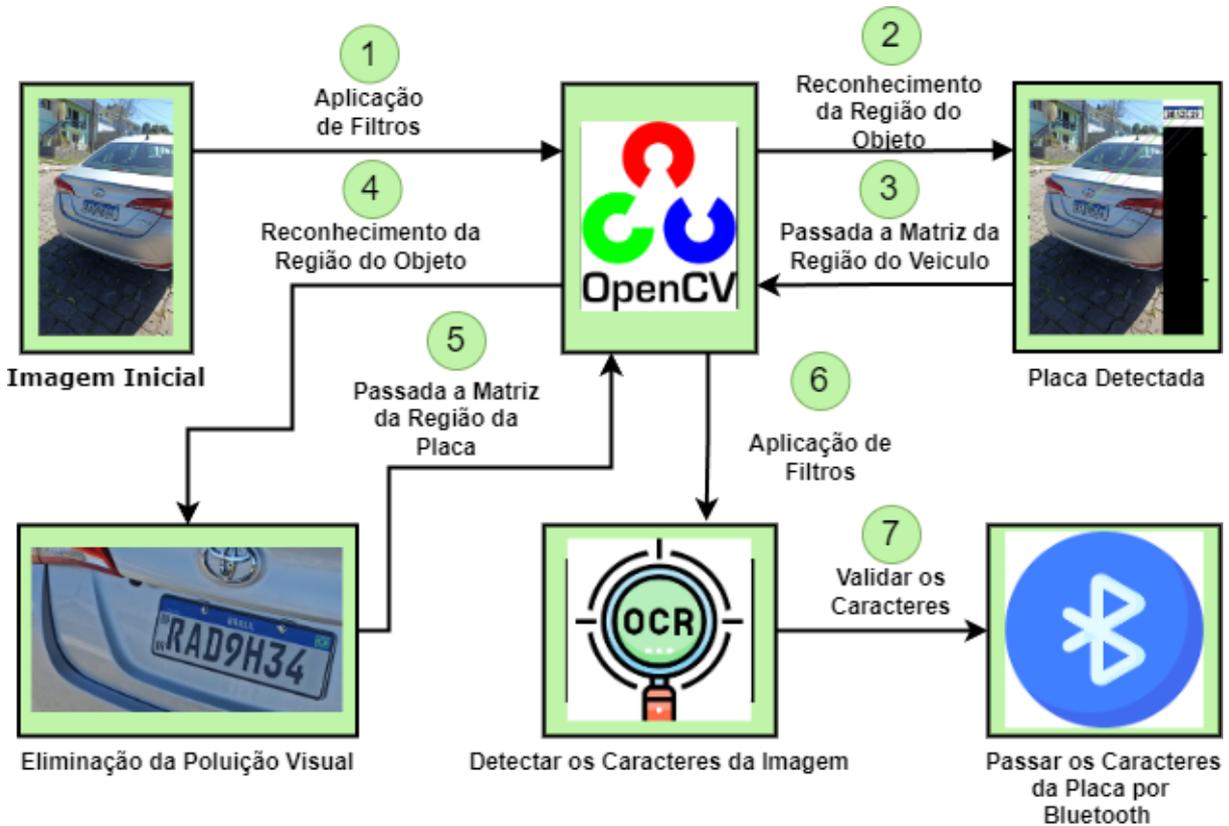
Figura 3 – Aplicação do Filtro MSER



Fonte: Própria.

Dessa forma, o sistema realiza o reconhecimento separado de cada caractere, obtendo uma melhor precisão, mas diminuindo o desempenho. Em seguida, ocorre a detecção dos caracteres da placa usando o Tesseract OCR, seguida por uma breve validação da estrutura da placa usando regex. A fim de validar a estrutura, que é composta por 4 letras e 3 números no padrão novo e, no antigo, por uma sequência de 3 letras e 4 números. Vale ressaltar abertamente que a detecção do padrão novo das placas tem sua precisão inferior à do padrão antigo, causado pela falta de padronização de alguns caracteres, como a letra "I", em que o traço de baixo é maior que o de cima, tornando-o parecido com a letra "L" e, conseqüentemente, dificultando a detecção.

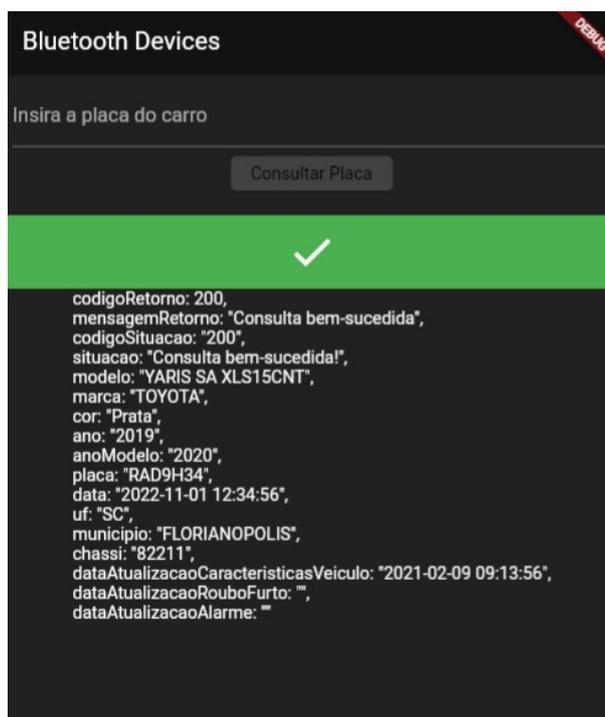
Figura 4 – Ilustração do funcionamento do sistema proposto



Fonte: Própria.

Posteriormente, os dados são transmitidos via Bluetooth utilizando a biblioteca para Python *PyBluez*, chegando ao final do sétimo passo (7) da Figura 4. No dispositivo móvel, é empregada a biblioteca *flutter bluetooth serial*, juntamente com o *Flutter*, para o aplicativo desenvolvido, cuja interface pode ser visualizada na Figura 5. Neste ponto, é efetuada uma requisição GET ao banco de dados disponível do SINESP a cada recebimento de informação via Bluetooth ou a um campo para que o oficial realize uma consulta manual. Para isso, é utilizada a biblioteca *http.dart* com o intuito de consultar as informações do veículo. Em seguida, o resultado é exibido na tela do dispositivo móvel, juntamente com as informações do veículo.

Figura 5 – Ilustração do aplicativo



Fonte: Própria.

## 7 Avaliação do Sistema

Para avaliar o desempenho do sistema, foram realizados testes de eficiência do projeto, levando em consideração dois parâmetros principais: o tempo decorrido desde a captura do *frame* até o retorno da requisição e a porcentagem de acerto no reconhecimento de placas. Esses testes foram conduzidos em capturas de imagens em momentos diferentes, ambos utilizando o *Raspberry Pi* e o módulo da câmera deste projeto. O veículo, onde se encontra o protótipo, estava predominantemente em movimento, visando obter uma avaliação em ambiente real.

O gráfico na Figura 6 apresenta os resultados dos testes realizados com o *Raspberry Pi*, avaliando a acurácia dos resultados obtidos para cada processo de reconhecimento, que incluem o reconhecimento do objeto veículo, placa e dos caracteres, os quais foram divididos em cinco situações distintas. Essas situações englobam ambientes noturnos, nos quais foram capturados 80 *frames* com veículos diferentes; ambientes diurnos, com 111 capturas; ambientes de entardecer, com 74 capturas; ambientes chuvosos, com 67 capturas em ambientes urbanos, além de um teste em ambiente diurno em rodovias, com 56 capturas.

Ambas as capturas foram realizadas com o dispositivo acoplado no painel do veículo, o mais próximo possível do centro, em um ponto que proporcionasse o ângulo mais aberto possível para as direções à frente do veículo. O teste em ambiente noturno obteve um dos piores resultados, devido à dificuldade de iluminação. Um dos principais desafios foi a luz dos faróis de veículos que trafegam em sentido contrário.

No entanto, com veículos trafegando no mesmo sentido, foi possível realizar as capturas

devido à iluminação auxiliar nas placas dos próprios veículos e à iluminação da área urbana. O teste diurno obteve os melhores resultados, mas ainda enfrentou, assim como nos outros testes, o desafio do reconhecimento de caracteres.

Isso ocorreu devido à distância dos veículos, ao ângulo do veículo e ao sistema ter dificuldade em distinguir alguns caracteres de outros semelhantes. Seguindo na figura, temos o período de entardecer, onde o teste foi realizado contra a luz do sol, a fim de dificultar a captura e testar situações mais próximas do cotidiano.

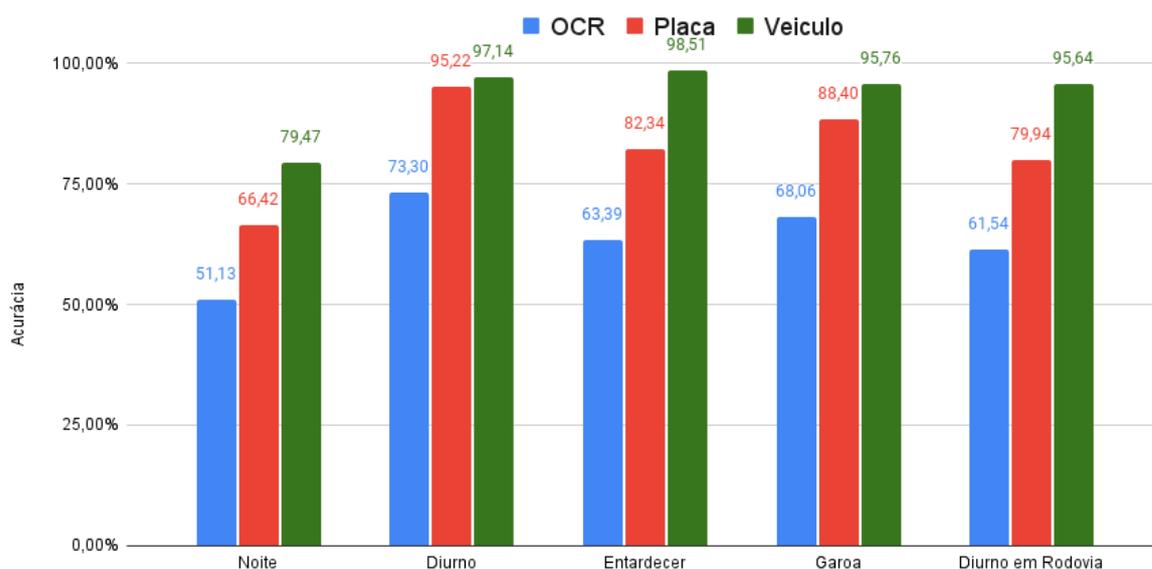
O ambiente de teste foi implementado em uma área urbana, minimizando a interferência da luz solar devido à ausência de espaços abertos. Durante o tráfego, veículos à frente proporcionaram sombra, mas em momentos de exposição direta à luz solar, ocorreram duas situações adversas para a captura: aumento da temperatura do equipamento, resultando em degradação do desempenho do processamento, e saturação da imagem devido à intensidade da luz solar, prejudicando a legibilidade dos caracteres das placas.

O próximo teste foi em situação de garoa, com menor interferência devido à colocação do equipamento em uma área onde o limpador de para-brisa estava em operação, diminuindo a interferência de gotículas de água na imagem. Por último, houve o teste em momento diurno, mas em ambiente rodoviário, onde surgiram mais desafios na detecção de veículos no sentido contrário, devido à velocidade, captura e ângulo da imagem. Os veículos que trafegavam no sentido contrário não eram capturados com clareza, pois algumas partes da imagem ficavam borradas. A captura do objeto carro muitas vezes era realizada, mas a detecção da placa e dos caracteres não era possível. No entanto, em relação a veículos no mesmo sentido, foi possível detectar o objeto veículo, placa e os caracteres.

Também é possível observar que a detecção do objeto carro teve a maior taxa de precisão, o que era esperado, pois naturalmente, nesse tipo de avaliação, os erros da detecção se acumulam para os próximos passos, prejudicando a detecção do objeto placa e o reconhecimento de caracteres. A técnica de *Haarcascade* mostrou ter uma boa precisão para detectar o objeto carro. No entanto, no caso do objeto placa, não foi possível atingir a mesma precisão, tendo como principais motivos a taxa de resolução da captura da imagem e o treinamento do *Haarcascade*.

Foram seguidos alguns critérios similares no treinamento em relação ao objeto carro e placa, como a busca por imagens de referência com ângulos diferentes e iluminações distintas, tanto para o padrão das placas nova quanto antiga. No treinamento do objeto carro, foram utilizadas imagens de veículos com cores diferentes. Em ambos treinamentos também foram usadas uma série de imagens negativas, visto que para treinar a detecção é preciso ter um banco de imagens positivas e negativas. O banco de imagens para o treinamento do objeto carro incluiu uma mistura de imagens tanto do banco de imagens aberto da Rodo Sul quanto de um banco de imagens próprio, capturadas usando o *Raspberry*. No caso do objeto placa, foi usado o banco de imagens capturadas apenas com o próprio *Raspberry*. Isso ocorreu porque, ao utilizar o banco de dados da Rodo Sul no treinamento, não foi possível atingir uma taxa de precisão aceitável, devido às diferenças na captura das imagens.

Figura 6 – Resultados dos testes



Fonte: Própria.

No que diz respeito ao tempo de execução, o sistema apresentou, em seus melhores casos, uma média de 5.78 FPS desde a captura do *frame* até o reconhecimento dos caracteres, em um ambiente climatizado. Em testes que envolviam as piores situações, incluindo ambiente não climatizado, capturas com iluminação muito baixa e o objeto carro na captura não estivesse alinhado, os tempos de execução foram inferiores a 1 FPS.

Entre o envio das informações ao dispositivo móvel, a realização da requisição e o retorno da situação do veículo, nos melhores casos, o tempo foi de 2,68 segundos. Os resultados variaram consideravelmente devido à conexão com a internet e às capacidades dos dispositivos *smartphones*, sendo a consulta ao banco SINESP o fator predominante, com uma média de aproximadamente 2 segundos.

Os testes em ambiente real revelaram desafios no projeto. Nas vias pavimentadas, com o controle climático do veículo funcionando corretamente, o sistema desempenhou seu trabalho de maneira adequada. No entanto, em vias não pavimentadas, o projeto foi impactado por vibrações do veículo e condições adversas, incluindo temperaturas elevadas devido à exposição direta ao sol. A ausência de controle climático resultou em uma diminuição significativa no desempenho do processamento.

## 8 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo elaborar um protótipo de baixo custo capaz de realizar o reconhecimento de veículos por meio da computação visual. O intuito é contribuir para projetos futuros e possibilitar sugestões para trabalhos subsequentes, visando propagar ideias de melhorias a partir desse sistema. Ao longo deste trabalho, fica bem enfatizada a importância de um sistema eficiente e acessível para aprimorar as atividades de reconhecimento veicular.

O protótipo desenvolvido foi capaz de capturar *frames*, aplicar filtros e realizar o reconhecimento visual de veículos, proporcionando uma base sólida para futuros projetos. Durante os testes de eficiência, foi observada uma taxa de acerto em torno de 63% nos casos de teste, com um tempo de execução aceitável, aproximadamente 3 segundos, possibilitando obter percepções valiosas sobre o desempenho do sistema em diferentes condições. Isso gera ênfase em alguns caminhos possíveis de aprimoramento, sendo um deles o hardware.

Nesse caso envolveria a substituição da câmera e do *Raspberry* por outras arquiteturas para proporcionar uma maior capacidade de processamento, a fim de explorar melhor os filtros e os sistemas de reconhecimento visual. Recomenda-se uma arquitetura que contenha mais núcleos de processamento para facilitar o reconhecimento de caracteres, permitindo aumentar a taxa de precisão e reduzir o tempo de execução. Além disso, seria interessante explorar abordagens para solucionar problemas em ambientes não climatizados e com muitas vibrações.

Outra abordagem seria continuar explorando os sistemas de reconhecimento, com destaque para o aperfeiçoamento do treinamento utilizando o *Haarcascade* nos objetos veículo e placa. Isso estaria vinculado a melhorias no tratamento de imagem para aprimorar a precisão e à exploração de técnicas mais eficientes para o reconhecimento de caracteres, com o objetivo de reduzir a carga de processamento do *Raspberry* e aprimorar o reconhecimento de caracteres.

É importante destacar que a melhoria na arquitetura do projeto acarretaria em um aumento nos custos de produção, os quais ficariam em torno de R\$1500 neste projeto. No entanto, essa atualização permitiria uma exploração mais eficaz do reconhecimento de objetos e caracteres, proporcionando maior capacidade de processamento e, conseqüentemente, resultando em maior precisão e desempenho.

A abordagem de melhorar o sistema mantendo a mesma arquitetura mostra-se bastante limitada, exigindo mais horas de desenvolvimento, com garantias limitadas de resultados. A recomendação final é direcionar esforços para implementar melhorias no hardware e nos algoritmos, buscando um equilíbrio entre eficácia e viabilidade financeira, a fim de consolidar o protótipo como uma solução mais robusta e eficiente para o reconhecimento de veículos por meio da computação visual.

Analisando o trabalho como um todo, foi possível visualizar que ainda há muitos pontos de melhoria, sendo possível seguir caminhos diferentes de aprimoramento, cabendo ao desenvolvedor a escolha de qual abordagem seguir. Este trabalho gera um ponto de partida significativo, abrindo caminho para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área.

## Referências

BELDERRAIN, M. Fatores de adoção de tecnologia e as relações entre custo e benefício. *Revista Produção Online*, vol. 4, p. 1–16, 2004. Citado na página 3.

CORNETO, G. L. et al. A new method for automatic vehicle license plate detection. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, v. 15, n. 1, p. 75–80, 2017. Citado na página 3.

- DO, H. N. et al. Automatic license plate recognition using mobile device. In: IEEE. *2016 International conference on advanced technologies for communications (ATC)*. [S.l.], 2016. p. 268–271. Citado na página 9.
- FAOUR, R.; SHANWAR, B.; ZARKA, N. *RECOGNITION OF VEHICLE NUMBERPLATE USING MATLAB*. 2016. Citado na página 5.
- IBGE. Tabela 8755 - número de furtos nos últimos 12 meses, por tipo de furto. IBGE - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual - 4º trimestre, 2022. Citado na página 4.
- KOCERA, H. E.; CEVIK, K. K. e. Reconhecimento de placas de veículos baseados em redes neurais artificiais. in world congress on information technology. p. 1–6, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- LAROCA, R.; MENOTTI, D. e. Automatic license plate recognition: An efficient and layout-independent system based on the yolo detector. in proceedings of the 31st sibgrapi conference on graphics, patterns and images. IEEE, p. 179–186, 2018. Citado na página 5.
- MIRANDA, L. P. C. d. Estudo da viabilidade da construção de dispositivo de baixo custo para o reconhecimento de placas veiculares. 2021. Citado na página 8.
- PALA, S. V. V. Viabilidade do uso de tecnologias de reconhecimento de placas para apoio à atividade de guarda do cbmdf. 2022. Citado na página 4.
- QUEIROZ, L. C. d. Estado da motorização individual no brasil-relatorio 2015. rio de janeiro. 2015. Disponível em: <[http://www.observatoriodasmetrolopes.net/download/automoveis\\_e\\_motos2015.pdf](http://www.observatoriodasmetrolopes.net/download/automoveis_e_motos2015.pdf)>. Acesso em: 18 Junho. 2023. Citado na página 2.
- SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS. *Relatório da Frota Circulante Edição de 2023*. 2023. Disponível em: <[https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2023/RelatorioFrotaCirculante\\_2023.pdf](https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2023/RelatorioFrotaCirculante_2023.pdf)>. Acesso em: 23 Maio. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 4.