

UNIVERSIDADE PAULISTA

CHRISTIAN HENRIQUE DE SOUSA

MALU MARTINS

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROLE  
SEMAFÓRICO PARA VIAS EXCLUSIVAS DE ÔNIBUS

Projeto de pesquisa do curso de Ciência da Computação apresentado à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Paulista como requisito para a aprovação de Iniciação Científica sob orientação do Prof. Me. Matheus Mitsuo de A. Kotaki

RIBEIRÃO PRETO

2025

## **1 INTRODUÇÃO**

Um dos grandes entraves da contemporaneidade é destacado pelo crescimento exacerbado da frota mundial de veículos. Segundo dados da International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA), em 2023 foram produzidos cerca de 94 milhões de veículos, 10% a mais que no ano anterior [1]. A consequência agravante desta problemática segue no número crescente de acidentes de trânsito. De acordo com os dados publicados pelo Global Road Safety Facility (GRSF), em média, 1,35 milhões de pessoas são mortas por ano [2].

O semáforo, inaugurado primordialmente em 1868 na cidade de Londres, foi desenvolvido para atenuar essa situação. Composto por três cores universais - verde, indicando que o motorista deve seguir o tráfego; amarelo, alertando para diminuir a velocidade e preparar-se para parar; e vermelho, exigindo a parada total - ele é essencial para a organização do trânsito. Entretanto, o sistema convencional não se adapta às condições reais e dinâmicas das vias, muitas vezes resultando em engarrafamentos desnecessários e paradas injustificadas.

É nesse contexto que surge o semáforo inteligente. Diferente do tradicional, este novo sistema se adapta automaticamente às demandas das vias, ajustando o tempo de sinalização de acordo com o fluxo de veículos.

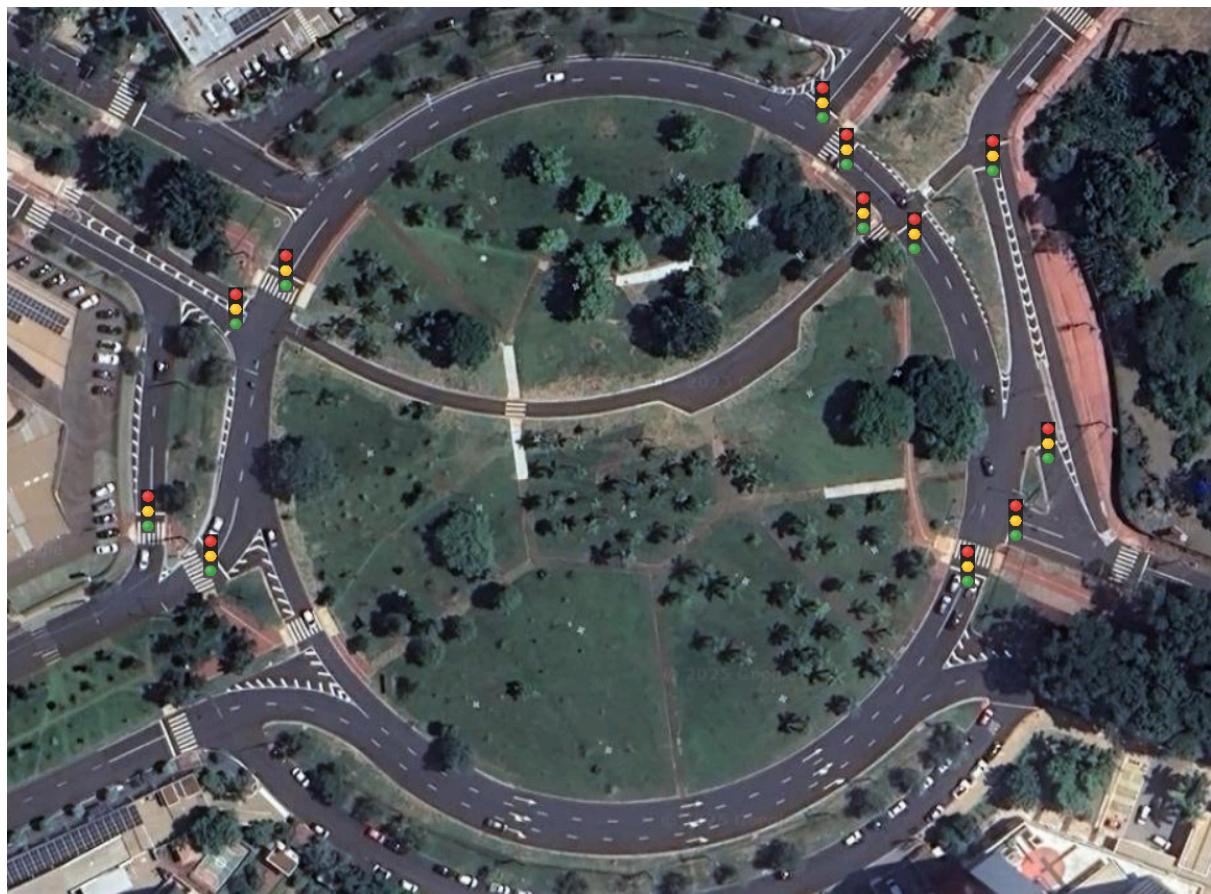
A Internet das Coisas (IoT) tem desempenhado um papel fundamental na modernização das cidades, promovendo soluções mais eficientes para problemas complexos [3]. A aplicação da IoT no meio urbano permite a coleta e análise de dados em tempo real, possibilitando uma gestão mais inteligente do tráfego. No entanto, para melhorar a confiabilidade do sistema, Edge Computing surge como uma abordagem essencial, permitindo o processamento dessas informações próximo à fonte. Com essa tecnologia, os dispositivos de IoT podem tomar decisões localmente, sem depender constantemente da conectividade com servidores remotos, garantindo operações mais rápidas e resilientes [4].

Cidades inteligentes utilizam essas tecnologias para melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos, reduzindo congestionamentos, aumentando a segurança e otimizando o uso dos recursos urbanos. Nesse cenário, o desenvolvimento de um semáforo inteligente baseado em IoT e Edge Computing se apresenta como uma solução viável para aprimorar a fluidez do trânsito e minimizar impactos negativos causados pelo crescimento da frota de veículos.

Com uma frota de veículos superior a 500 mil, Ribeirão Preto ocupa a 16<sup>a</sup> posição entre as cidades com mais veículos no Brasil [5], o que agrava ainda mais os desafios de mobilidade urbana. A pressão sobre o sistema de transporte na cidade é imensa, e a necessidade de soluções inovadoras para melhorar o fluxo de tráfego e a segurança nas ruas é urgente.

Um problema recorrente nas cidades, como em Ribeirão Preto, é o funcionamento inadequado dos semáforos das faixas exclusivas de ônibus, que muitas vezes permanecem abertos mesmo na ausência desses veículos, bloqueando o fluxo das demais vias e intensificando os congestionamentos. Além de comprometer a eficiência do trânsito e causar atrasos desnecessários, essa paralisação forçada em vias movimentadas aumenta a vulnerabilidade dos motoristas a assaltos e outros crimes, tornando a segurança viária um desafio adicional. O problema descrito ocorre em um ponto específico da cidade apresentado na figura 1.

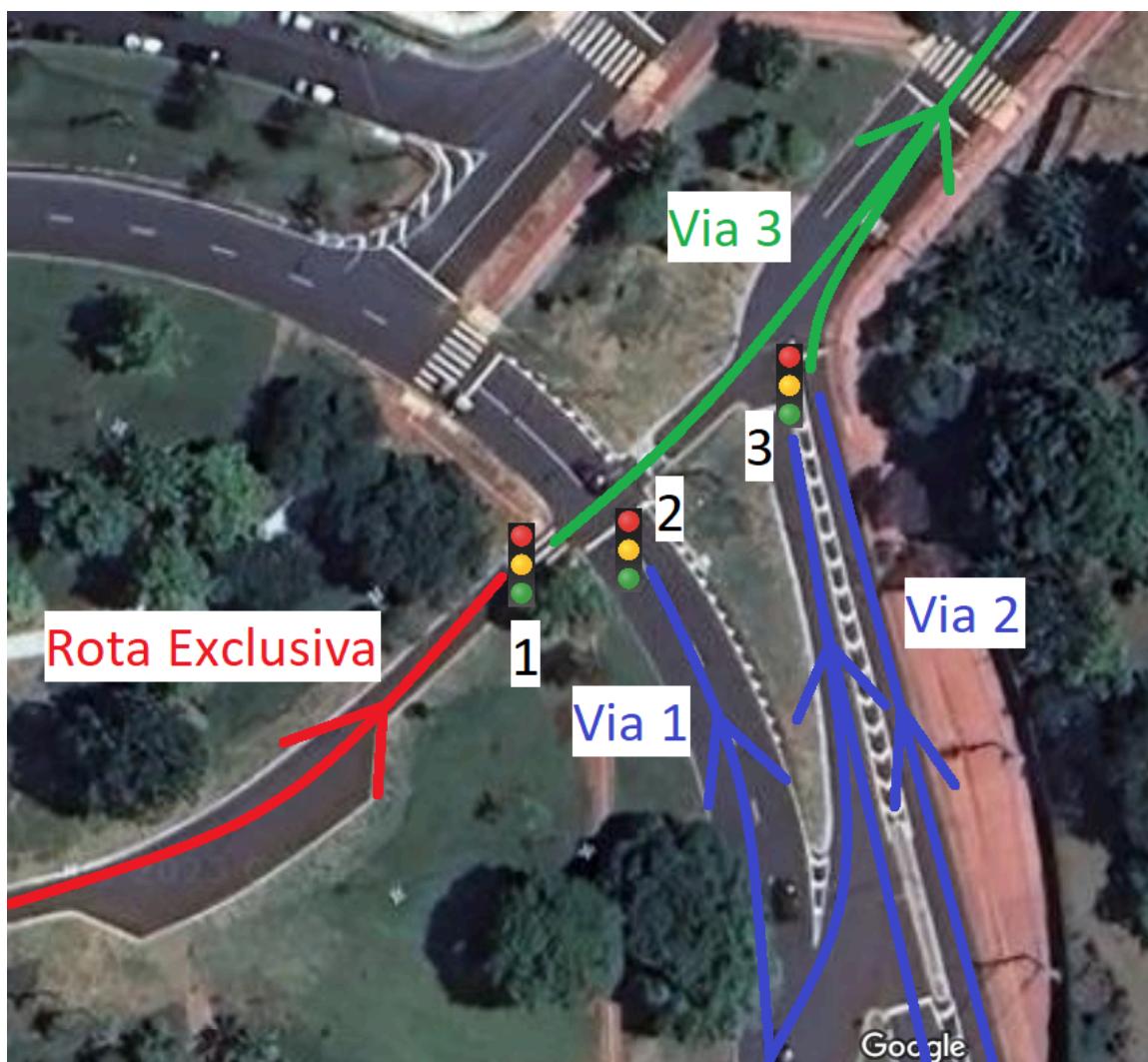
**Figura 1 - Rotatória Novo Mercadão, Ribeirão Preto**



**Fonte:** Adaptado de [6].

A figura 2 aborda mais detalhadamente o problema. Uma rota exclusiva para ônibus, em vermelho, atravessa a rotatória de tal forma que o ônibus chegue à outra via (via 3 - verde) mais rapidamente. Ao chegar no final dessa rota, o ônibus tem que cruzar o fluxo dos veículos da rotatória (vias 1 e 2 - azul), assim, há dois semáforos (semáforos 2 e 3) que bloqueiam os veículos possibilitando ao ônibus chegar à via 3. Entretanto, esses semáforos, por serem temporizados, mesmo que não haja um ônibus presente na rota exclusiva, fecham o fluxo dos veículos nas vias 1 e 2 diminuindo a eficiência do trânsito e aumentando as chances de acidentes. Além de que, quando há um ônibus na rota exclusiva ele tem que aguardar o semáforo 1 abrir para poder acessar a via 3. A criação de um sistema inteligente que interrompa o fluxo das vias 1 e 2 somente quando um ônibus for detectado na rota exclusiva, contribui para um tráfego mais seguro e eficiente.

**Figura 2** - Detalhe da rota exclusiva do ônibus



**Fonte:** Adaptado de [6].

A partir de pesquisas pode-se notar que a solução para esse problema poderia ser feita a partir de diferentes abordagens com o uso de diversos tipos de sensores, entretanto a utilização de visão computacional é mais frequente. Essa abordagem necessita de um alto poder de processamento de dados, de forma que, tal processamento ocorra em servidores, necessitando que o sistema tenha uma conexão de qualidade o que pode causar inconvenientes uma vez que ela for perdida.

Como no problema abordado, a partir das imagens adquiridas, é preciso somente reconhecer a presença ou ausência do ônibus, tal processamento pode ser feito, de forma local, no próprio sistema de aquisição removendo a necessidade da conexão com servidor para o seu funcionamento.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente de controle semafórico utilizando ESP32 com uma câmera e os conceitos de Edge Computing e Visão Computacional para detectar a presença do ônibus na via e otimizar o tempo de abertura dos semáforos. Tal sistema processará todos os dados localmente sem a necessidade de uma conexão com um servidor para tanto, além de apresentar uma solução de baixo custo para o problema abordado.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo Geral desse projeto é desenvolver um Sistema Inteligente de Semáforos de baixo custo, capaz de detectar a presença do ônibus em sua rota exclusiva e ajustar o fluxo semafórico das vias, proporcionando um trânsito mais seguro, eficiente e fluido. A proposta é implementar e simular esse sistema utilizando tecnologias de Sistemas Embarcados, Edge Computing e Visão Computacional.

### Objetivos Específicos

- Desenvolver o sistema embarcado para o funcionamento do semáforo.
- Implementar uma solução de Visão Computacional embarcada para monitoramento da presença de um ônibus.
- Programar o controle adaptativo do fluxo semafórico.
- Desenvolver um modo de operação com tempo fixo para situações em que o fluxo de dados não esteja disponível.
- Simular o funcionamento do sistema utilizando miniaturas de veículos para validar a eficácia da solução em um ambiente controlado.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir de pesquisas realizadas foram identificados alguns sistemas autônomos de controle de tráfego.

Em [7] foi identificado um sistema que utiliza uma Raspberry Pi para processar imagens capturadas em tempo real por câmeras de vigilância. Esse sistema emprega técnicas avançadas de visão computacional, utilizando a biblioteca OpenCV para detectar e contar veículos dentro de uma área de interesse, conforme ilustrado na figura 3. Os dados processados são enviados para um banco de dados na nuvem, mais especificamente o Firebase. O banco de dados em nuvem é integrado a uma central de controle de tráfego, responsável por tomar decisões estratégicas para a otimização do fluxo veicular. Essas decisões podem incluir a alteração automática do tempo dos semáforos com base na densidade do tráfego detectada ou até mesmo a intervenção manual dos operadores do sistema. Além de otimizar a temporização dos semáforos para melhorar o fluxo veicular, o sistema também pode gerar alertas em tempo real para notificar congestionamentos críticos e sugerir rotas alternativas para condutores.

**Figura 3** - Trecho do vídeo para fins experimentais

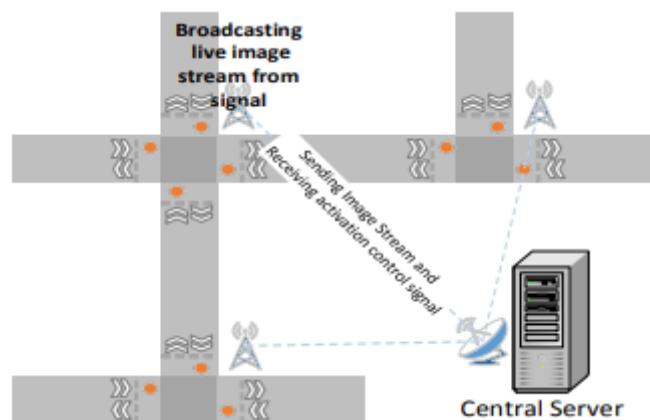


Fonte: [7].

Um sistema alternativo de controle de tráfego utiliza o Arduino UNO para a captura e transmissão de imagens de tráfego, permitindo um gerenciamento dinâmico dos semáforos com base no fluxo real de veículos [8]. Nesse projeto, cada cruzamento é equipado com um dispositivo embarcado composto por um Arduino UNO, uma câmera VC0706 para captura de imagens e um módulo Ethernet W5100 para comunicação com um servidor central, como

ilustrado na figura 4. As imagens são coletadas periodicamente e enviadas ao servidor, onde um algoritmo de visão computacional processa os dados e identifica a quantidade de veículos presentes em cada via. A partir desses dados, o servidor calcula os tempos ideais para cada semáforo e envia instruções para os dispositivos Arduino UNO responsáveis pelo controle da sinalização em cada cruzamento. O principal objetivo desse projeto é oferecer um controle automatizado e inteligente do tráfego, reduzindo congestionamentos por meio da otimização dinâmica dos tempos semafóricos.

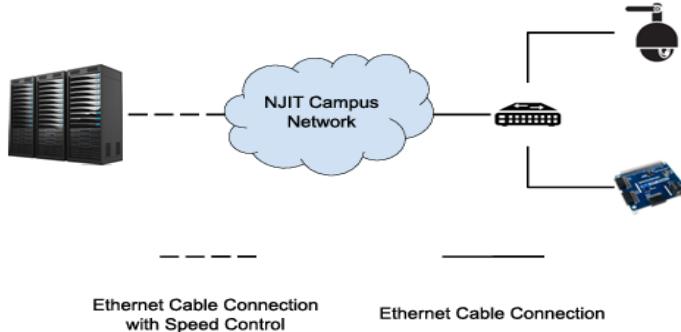
**Figura 4 - Design do Sistema**



Fonte: [8].

Outra abordagem para o monitoramento do tráfego é um modelo híbrido baseado em computação de borda (Edge Computing) para otimizar a detecção de congestionamentos e a medição de velocidade no trânsito [9]. Diferente de sistemas que dependem exclusivamente da nuvem para processamento, essa solução, ilustrada na figura 5, distribui a carga computacional entre dispositivos de borda e um centro de gerenciamento de tráfego (TMC), reduzindo a sobrecarga da rede e melhorando a análise em tempo real. A metodologia empregada considera desafios como qualidade variável dos vídeos, condições climáticas adversas e limitações de hardware, equilibrando a precisão da detecção com a capacidade computacional disponível. Os resultados obtidos demonstram que a abordagem híbrida resolve problemas relacionados tanto à execução exclusivamente na nuvem quanto a exclusivamente na borda, garantindo maior eficiência e confiabilidade na análise do tráfego urbano.

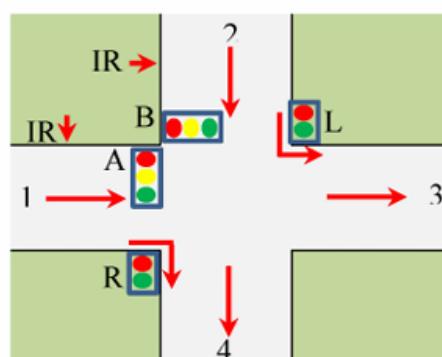
**Figura 5** - Diagrama de conexão dos dispositivos



Fonte: [9].

Uma alternativa proposta em outro estudo é o uso de sensores infravermelhos (IR) acoplados a microcontroladores para ajustar dinamicamente os tempos de sinalização com base na densidade do tráfego, assim como ilustrado na figura 6, que mostra a disposição dos componentes do projeto, tais como os sensores infravermelhos em relação à posição dos semáforos [10]. Em alternativa aos sistemas baseados apenas em temporizações fixas, essa abordagem permite uma resposta mais adaptativa, otimizando o fluxo viário em tempo real com um algoritmo contendo estados do semáforo já programados, portanto, sem o uso de ferramentas de inteligência artificial. Além disso, a integração com comunicação sem fio via módulos XBee possibilita a priorização de veículos de emergência, garantindo deslocamentos mais ágeis e seguros. No entanto, desafios como a calibração precisa dos sensores e a necessidade de infraestrutura compatível ainda limitam a adoção em larga escala. O artigo indica que, ao combinar sensores distribuídos com processamento local eficiente, é possível reduzir congestionamentos sem a necessidade de investimentos massivos em reestruturação urbana.

**Figura 6** - Posicionamento dos semáforos e sensores do projeto



Fonte: [10].

A partir da pesquisa bibliográfica pode-se concluir que a maioria dos sistemas utilizam de conceitos de visão computacional para detectar veículos. Ainda que o sistema eletrônico realize a captura de imagens localmente, por limitações dos microcontroladores envolvidos, esses dados são processados na nuvem necessitando de uma conexão estável para que possam operar. Entretanto, quando a visão computacional não requer alta capacidade de processamento do sistema embarcado, é possível realizá-lo localmente (Edge Computing), como é o caso de um sistema que necessita somente classificar uma imagem em “há um ônibus” ou “não há um ônibus”.

#### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

O principal componente será o módulo ESP-32 CAM, um microcontrolador ESP-32 com câmera embutida. O modelo escolhido foi um *Freenove ESP32-S3-WROOM*, devido à sua maior capacidade de processamento em relação ao ESP-32 CAM comum, além de ser acompanhado por um módulo de cartão de memória. Este componente será responsável por realizar a detecção de imagens e executar o processamento dos algoritmos de forma inteiramente embarcada, para que o sistema não seja dependente de conexões de rede, que são vulneráveis a oscilações e interferências, garantindo assim um funcionamento autônomo.

A utilização da ESP-32-S3-WROOM como sistema central para controle do semáforo inteligente é uma solução de baixo custo em comparação com abordagens tradicionais que exigem infraestrutura mais complexa. Alguns sistemas, por exemplo, utilizam vários sensores, como infravermelhos, RFID e ultrassônicos, para identificar com precisão veículos específicos, como ônibus, diferenciando-os de carros e pedestres. Da mesma forma, sistemas de visão computacional convencionais muitas vezes dependem de servidores centrais robustos e conexões de alta velocidade para processar as imagens em tempo real, o que implica custos elevados com hardware e conectividade. Em contrapartida, a ESP-32 pode executar modelos simples de visão computacional embarcados, reduzindo a dependência de infraestrutura externa. Segundo valores encontrados no AliExpress [11], a ESP-32 utilizada no projeto custa em torno de R\$82,55, e mesmo considerando circuitos adicionais necessária, o custo final permanece significativamente inferior ao de alternativas que requerem sensores sofisticados ou servidores dedicados, o que torna a solução mais acessível para implementação em larga escala.

Para a finalidade dos testes, serão usados 3 LEDS (verde, amarelo e vermelho) para simular o comportamento do semáforo de acordo com a lógica de controle.

Além do hardware para a montagem do sistema, serão usadas ferramentas de programação como a linguagem de programação C para a ESP-32, através da Arduino IDE.

Para a visão computacional, será utilizado o Edge Impulse, uma plataforma de *Edge Computing* que permite a criação, otimização e implantação de modelos de aprendizado de máquina diretamente em dispositivos embarcados. O treinamento será realizado com um conjunto de dados coletado pela ESP-32 CAM, utilizando a biblioteca EloquentEsp32cam para capturar imagens e criar o conjunto de dados necessário para o treinamento. O modelo será treinado com base nas imagens de ônibus em miniatura, a fim de simular ônibus reais, e validado em tempo real na ESP-32 CAM, garantindo sua compatibilidade com o dispositivo. O processo de aprendizagem será conduzido com a técnica de *labeling*, onde as imagens capturadas serão rotuladas para otimizar a precisão da detecção de veículos.

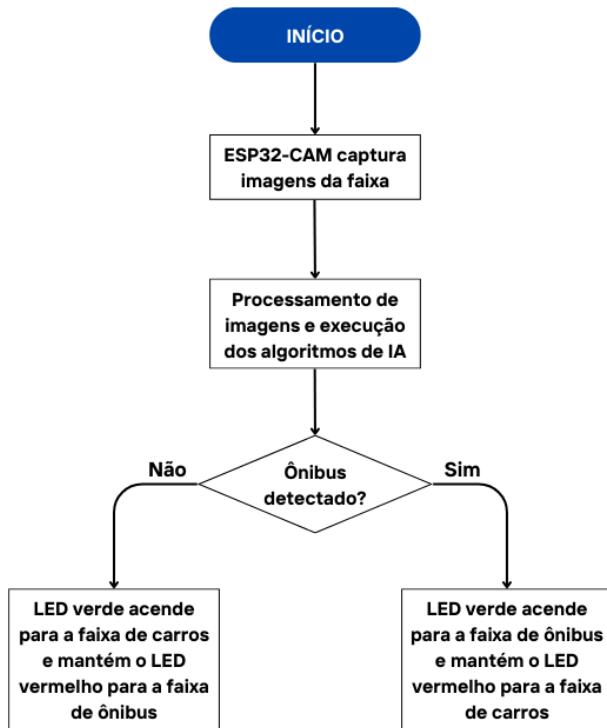
Assim, a ESP-32 CAM será capaz de identificar a presença de ônibus na faixa exclusiva e acionar os LEDs do semáforo de acordo com a lógica de controle, otimizando o fluxo do trânsito com base nas condições em tempo real.

#### **4.1 Arquitetura básica do sistema**

O sistema integra os componentes de hardware e software num processo que se inicia com a coleta de imagens em tempo real pela ESP-32 CAM, que é capaz de executar algoritmos de processamento enquanto realiza a captura de imagens. Esse componente ficará responsável por analisar as imagens capturadas e executar os algoritmos de visão computacional treinados na plataforma Edge Impulse. Devido às limitações de hardware, é essencial que seja realizado um pré-processamento de imagens, deixando-as mais leves, filtrando o ruído e fazendo ajustes de contraste e brilho. O Edge Impulse fornecerá ferramentas para otimizar esse processo e garantir a eficiência do modelo de borda.

Todo o sistema seguirá um ciclo contínuo de captura, processamento e controle dos LEDs do semáforo, de acordo com o fluxograma mostrado na figura 7.

**Figura 7** - Fluxograma do funcionamento básico do sistema

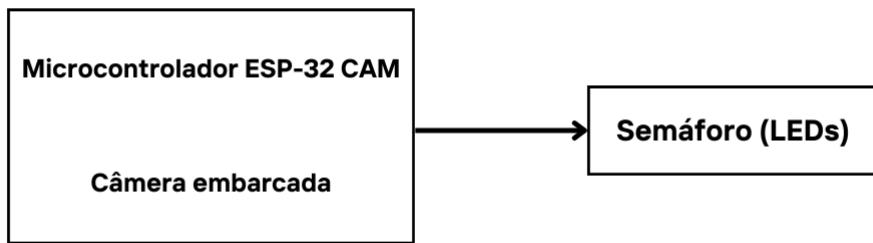


Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao iniciar o sistema, a ESP32-CAM coleta imagens em tempo real das faixas de veículos, enquanto a execução dos algoritmos de reconhecimento de objetos e o processamento de imagens é realizado, checando constantemente se existe ou não algum ônibus na faixa. Caso um ônibus seja detectado, o semáforo exclusivo passa a acender a luz verde com um determinado tempo de intervalo. Caso não, a prioridade passa a ser a faixa de carros, otimizando assim o tempo que os veículos despendem no trânsito. Dessa forma, evita-se a interrupção desnecessária do fluxo de veículos na ausência de ônibus, reduzindo o risco de acidentes e melhorando a eficiência do trânsito, conforme proposto na introdução.

A Figura 8 apresenta o diagrama da arquitetura do sistema, ilustrando a comunicação entre os componentes. O microcontrolador atua como unidade central de processamento, responsável por coordenar o funcionamento do semáforo com base na captura e análise das imagens. Ele processa as informações da ESP-32 CAM e, conforme os resultados da visão computacional, controla o acionamento dos LEDs, simulando o funcionamento do semáforo real.

**Figura 8** - Diagrama de blocos da arquitetura básica do sistema



Fonte: Elaborada pelos autores.

## 5 RESULTADOS ESPERADOS

Com a implementação do sistema proposto, espera-se otimizar o fluxo do trânsito ao reduzir o tempo de espera desnecessário nos semáforos exclusivos para ônibus. O uso da ESP-32 CAM, em conjunto com o Edge Impulse, permitirá a detecção eficiente de ônibus em tempo real, garantindo que o sinal verde da faixa de ônibus seja ativado apenas quando necessário. Dessa forma, espera-se alcançar uma melhoria na eficiência do trânsito, minimizando interrupções desnecessárias causadas por ciclos de semáforo não otimizados, além de aumentar a segurança do trânsito, evitando paradas abruptas de veículos.

Para validar os resultados, os testes práticos serão conduzidos de forma experimental, simulando o funcionamento de um semáforo real por meio de miniaturas. Para isso, será construída uma maquete representando o ambiente urbano, incluindo a via, os veículos e outros elementos do trânsito, como bicicletas e pedestres. Essa abordagem permitirá avaliar o desempenho do sistema em condições controladas, observando sua capacidade de detectar o ônibus na faixa exclusiva e ajustar a sinalização do semáforo de acordo com a lógica implementada.

## 6 CRONOGRAMA

## BIBLIOGRAFIA

- [1] OICA. 2023 Production Statistics. Disponível em: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2023-statistics/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- [2] GRSF. Beyond the Numbers: Estimating the Disability Burden of Road Traffic Injuries. Disponível em: [https://www.globalroadsafetyfacility.org/publications?f%5B0%5D=pub\\_region%3A78](https://www.globalroadsafetyfacility.org/publications?f%5B0%5D=pub_region%3A78). Acesso em: 15 mar. 2025.
- [3] ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, n. 1, p. 22-32, fev. 2014. DOI: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [4] SHI, W.; CAO, J.; ZHANG, Q.; LI, Y.; XU, L. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 5, p. 637-646, out. 2016. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2579198.
- [5] BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Frota de veículos 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>. Acesso em: 19 mar. 2025.
- [6] GOOGLE. Localização no Google Maps. Disponível em: [https://www.google.com.br/maps/@-21.2157665,-47.8217948,19z/data=!5m1!1e4?entry=ttu&g\\_ep=EgoYMDI1MDIxOS4xJKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com.br/maps/@-21.2157665,-47.8217948,19z/data=!5m1!1e4?entry=ttu&g_ep=EgoYMDI1MDIxOS4xJKXMDSoASAFQAw%3D%3D). Acesso em: 24 fev. 2025.
- [7] SINGH, S.; SINGH, B.; RAMANDEEP; SINGH, B.; DAS, A. Automatic Vehicle Counting for IoT based Smart Traffic Management System for Indian Urban Settings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET OF THINGS: SMART INNOVATION AND USAGES (IoT-SIU), 4., 2019, Ghaziabad, India. *Anais...* p. 1-6, 2019. DOI: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777722.
- [8] OSMAN, T.; PSYCHE, S. S.; SHAFI FERDOUS, J. M.; ZAMAN, H. U. Intelligent traffic management system for cross section of roads using computer vision. In: IEEE 7TH ANNUAL COMPUTING AND COMMUNICATION WORKSHOP AND CONFERENCE (CCWC), 7., 2017, Las Vegas, NV, USA. *Anais...* p. 1-7, 2017. DOI: 10.1109/CCWC.2017.7868350.
- [9] LIU, G.; SHI, H.; KHREISHAH, A.; KIANI, A.; LEE, J.; ANSARI, N.; LIU, C.; YOUSEF, M. M. Smart traffic monitoring system using computer vision and edge computing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 23, n. 8, p. 10245-10257, 2021. DOI: 10.1109/TITS.2021.3109481.
- [10] GHAZAL, B.; ELKHATIB, K.; CHAHINE, K.; KHERFAN, M. Smart traffic light control system. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL, ELECTRONICS, COMPUTER ENGINEERING AND THEIR APPLICATIONS (EECEA), 3., 2016. *Anais...* DOI: 10.1109/EECEA.2016.7470780.

[11] ALIEXPRESS. Placa sem fio Freenove ESP32-S3-WROOM CAM. Disponível em: [https://pt.aliexpress.com/item/1005004960637276.html?spm=a2g0o.productlist.seoads.1.442d1ab0jtFuEI&p4p\\_pvid=202409231235192093616797249250005095013\\_1&](https://pt.aliexpress.com/item/1005004960637276.html?spm=a2g0o.productlist.seoads.1.442d1ab0jtFuEI&p4p_pvid=202409231235192093616797249250005095013_1&). Acesso em: 30 fev. 2025.