CONTROLE DE SEMÁFOROS DE TRÂNSITO COM VISÃO COMPUTACIONAL

Amanda Kamilly Castro da Silva, Erick Alberto Bruno da Silva, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira.

[1]Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil,
akamillycs@gmail.com, erick.silva.7771.ea@gmail.com, helioesperidiao@gmail.com

Resumo

O crescimento da frota de veículos e dos congestionamentos evidencia a necessidade de soluções mais eficientes para o gerenciamento do tráfego urbano. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Controle de Semáforos de Trânsito baseado em Visão Computacional e Inteligência Artificial, desenvolvido para adaptar o funcionamento dos semáforos de acordo com a demanda veicular observada. O sistema utiliza modelos da família YOLO para detectar veículos em vídeos e utiliza a quantidade de veículos identificados em cada fluxo como parâmetro para determinar a prioridade e o tempo de sinal verde. A solução integra Visão Computacional, Inteligência Artificial, Sistemas Embarcados e comunicação serial, conectando o módulo de processamento a um circuito físico desenvolvido com ESP32 e LEDs para representar os estados semafóricos. Os testes realizados em vídeos representativos de diferentes condições de fluxo demonstraram que o sistema foi capaz de ajustar a prioridade e os tempos de sinalização conforme a quantidade de veículos detectados. Os resultados indicam a viabilidade da abordagem como uma solução experimental de baixa complexidade para o controle adaptativo de tráfego, apresentando potencial para futuras aplicações em cenários de cidades inteligentes.
Palavras-chave: Visão Computacional; Inteligência Artificial; Controle de Tráfego; Sistemas Inteligentes de Transporte; Sistemas Embarcados.
Área do Conhecimento: Engenharias
Subárea: Engenharia de Computação

Introdução

O crescimento acelerado da frota de veículos e da população urbana tem intensificado os problemas relacionados à mobilidade nas cidades, resultando em congestionamentos, aumento do tempo de deslocamento e impactos econômicos significativos. No Brasil, os congestionamentos representam prejuízos que podem alcançar cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, além de contribuírem para o aumento do consumo de combustível e da emissão de poluentes (ANTP, 2025[HL1.1]). Esses fatores afetam a qualidade de vida da população e evidenciam a necessidade de soluções mais eficientes para o gerenciamento do tráfego urbano. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de sistemas capazes de responder dinamicamente às condições do trânsito.

Os sistemas semafóricos convencionais geralmente utilizam temporizações previamente estabelecidas, definindo períodos fixos para a abertura e o fechamento dos sinais de trânsito. Embora esse modelo seja funcional em determinadas situações, ele apresenta limitações diante das variações na quantidade de veículos presentes em cada via ao longo do dia. Como consequência, uma via pode permanecer com o sinal verde mesmo apresentando baixa demanda, enquanto outra apresenta maior concentração de veículos aguardando a liberação do tráfego. Nesse contexto, tecnologias de controle adaptativo permitem ajustar os tempos semafóricos de acordo com as condições observadas no tráfego, buscando proporcionar maior flexibilidade ao gerenciamento dos fluxos veiculares (FHWA, 2017)

Nesse cenário, os Sistemas Inteligentes de Transporte (Intelligent Transportation Systems – ITS) apresentam-se como uma alternativa para aprimorar o gerenciamento da mobilidade urbana por meio da integração de tecnologias de computação, comunicação e automação (IEEE, 2019). Entre essas tecnologias, a Visão Computacional e a Inteligência Artificial possibilitam analisar imagens e vídeos para identificar automaticamente veículos e obter informações sobre o fluxo de tráfego. Modelos da família YOLO (You Only Look Once) destacam-se pela capacidade de realizar a detecção de diferentes

classes de objetos com elevada velocidade de processamento, característica relevante para aplicações de monitoramento veicular (BOCHKOVSKIY; WANG; LIAO, 2020). Dessa forma, a utilização dessas técnicas possibilita obter informações do tráfego que podem ser empregadas como parâmetros para sistemas de controle semafórico adaptativo.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um Controle de Semáforos de Trânsito baseado em Visão Computacional e Inteligência Artificial, capaz de detectar veículos em vídeos, estimar a demanda dos fluxos monitorados e utilizar essas informações para adaptar a prioridade e o tempo de sinalização dos semáforos. A proposta integra técnicas de detecção de objetos, processamento de imagens, sistemas embarcados e comunicação serial entre o módulo computacional e o circuito físico de sinalização. Busca-se, dessa forma, demonstrar a aplicação de conceitos da Engenharia da Computação no desenvolvimento de uma solução experimental de baixo custo para o controle adaptativo de tráfego, contribuindo para estudos relacionados à otimização do fluxo veicular e às aplicações de tecnologias voltadas às cidades inteligentes.

Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem experimental e quantitativa, voltada ao desenvolvimento de um sistema inteligente para controle adaptativo de tráfego urbano. A metodologia foi organizada em etapas que abrangem o levantamento bibliográfico, o desenvolvimento do módulo de detecção de veículos, o processamento das informações de tráfego, a implementação da lógica de controle semafórico e a avaliação do comportamento do sistema em diferentes condições de fluxo.

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), Visão Computacional, Inteligência Artificial aplicada à detecção de objetos e controle adaptativo de tráfego. A partir da literatura analisada, observou-se que os ITS integram diferentes tecnologias para auxiliar no monitoramento e gerenciamento do tráfego, contribuindo para a melhoria da mobilidade urbana (IEEE, 2019). Também foi identificado que estratégias de controle adaptativo podem ajustar a sinalização de acordo com as condições observadas na via, em contraste com sistemas baseados exclusivamente em temporizações fixas (FHWA, 2017). No âmbito da Visão Computacional, verificou-se a aplicação de modelos de detecção de objetos para identificar veículos automaticamente em imagens e vídeos, sendo a família YOLO uma das abordagens utilizadas em aplicações que demandam processamento em tempo real (BOCHKOVSKIY; WANG; LIAO, 2020). Esses resultados fundamentaram a escolha das técnicas empregadas no sistema proposto.

Na etapa de desenvolvimento, foi implementado um módulo de Visão Computacional utilizando Python e OpenCV para o processamento dos vídeos. A identificação dos veículos é realizada por meio de modelos da família YOLO (You Only Look Once), permitindo detectar objetos presentes nos frames e classificá-los de acordo com suas categorias. Para o controle do tráfego, são consideradas as classes 2, 3, 5 e 7 da base COCO, correspondentes, respectivamente, a carros, motocicletas, ônibus e caminhões. A definição dessas classes segue a organização do conjunto de dados COCO utilizada pelos modelos YOLO, na qual cada categoria possui um identificador numérico específico (ULTRALYTICS, 2026).

A cada frame processado, o sistema analisa as detecções realizadas pelo modelo e contabiliza os objetos pertencentes às classes de veículos consideradas. As detecções válidas são delimitadas visualmente por caixas na imagem e acompanhadas de sua classe e nível de confiança. A quantidade obtida em cada frame é utilizada como informação de entrada para a lógica de controle dos semáforos.

O sistema foi estruturado para representar dois fluxos de tráfego, correspondentes aos Semáforos 1 e 2. Para a realização dos experimentos, foram utilizados dois vídeos representativos dos fluxos monitorados, gerados artificialmente por meio da ferramenta de Inteligência Artificial Sora, desenvolvida pela OpenAI (OPENAI, 2024). A utilização de vídeos gerados por IA permitiu criar cenários controlados de circulação de veículos, possibilitando a realização dos testes sob diferentes condições de fluxo e a avaliação do comportamento do sistema de detecção e controle semafórico. Os vídeos foram utilizados como entrada para o módulo de Visão Computacional, sendo processados frame a frame para a identificação dos veículos. A quantidade de veículos detectada em cada frame foi utilizada para comparar a demanda entre os dois fluxos e determinar qual semáforo deveria receber prioridade no próximo ciclo.

A seleção do próximo semáforo é realizada por meio da comparação entre as quantidades de veículos detectadas nos dois fluxos. Quando o número de veículos detectados no Semáforo 1 é superior ao do Semáforo 2, o Semáforo 1 recebe prioridade. Quando o Semáforo 2 apresenta maior quantidade de veículos, ele recebe prioridade. Em situações de empate, o sistema prioriza o Semáforo 1.

O controle semafórico possui três estados: verde, amarelo e vermelho. A transição entre esses estados segue uma sequência definida pelo algoritmo. O período de sinal amarelo é configurado em 5 segundos, enquanto o tempo de sinal verde é determinado dinamicamente de acordo com a quantidade de veículos detectada no momento da atualização do ciclo.

O tempo de sinal verde é determinado de forma proporcional à quantidade de veículos detectados no fluxo prioritário. Essa estratégia foi adotada com base no princípio de que a demanda veicular pode ser utilizada como parâmetro para ajustar a duração do sinal verde em sistemas de controle adaptativo. Estudos e diretrizes de controle semafórico indicam que a quantidade de veículos presente em uma aproximação está relacionada ao tempo necessário para o atendimento da demanda, sendo possível utilizar estimativas de tempo por veículo para o dimensionamento do intervalo de verde (FHWA, 2008; ASTARITA et al., 2017). Dessa forma, neste trabalho foi adotado experimentalmente um fator de 1,2 s por veículo, definido como parâmetro do controlador para estabelecer uma relação proporcional entre a quantidade de veículos detectados e o tempo de sinal verde.

O tempo de verde é calculado por $T_v = \min(20, \max(5, 1{,}2N))$, em que representa a quantidade de veículos detectados no fluxo prioritário. O resultado é limitado entre 5 e 20 segundos, garantindo tempos mínimo e máximo de verde. O valor calculado é limitado ao intervalo de 5 a 20 segundos, evitando períodos de verde excessivamente curtos ou longos. Esses limites são compatíveis com a necessidade de estabelecer parâmetros mínimos e máximos para o funcionamento do controlador (FHWA, 2008; ASTARITA et al., 2017). Assim, quanto maior a quantidade de veículos detectados, maior tende a ser o tempo de verde atribuído ao fluxo prioritário, respeitando os limites definidos para os sistemas.

Foi desenvolvido um sistema microcontrolado utilizando o ESP32-CAM para representar fisicamente o funcionamento dos semáforos definidos pelo sistema computacional. O microcontrolador recebe, por meio de comunicação serial, os comandos correspondentes aos estados semafóricos determinados pelo algoritmo, como verde, amarelo e vermelho. A partir do comando recebido, o ESP32-CAM realiza o acionamento do LED correspondente, enquanto os demais permanecem desligados. Dessa forma, o circuito físico reproduz as decisões realizadas pelo controlador de tráfego, permitindo visualizar a transição entre os estados do semáforo e demonstrar a integração entre o processamento computacional e o sistema embarcado.

É importante destacar que a quantidade de veículos utilizada pelo controlador não é acumulada entre os frames processados. A cada novo frame, o contador é reinicializado e representa exclusivamente a quantidade de veículos detectados naquele instante. Caso um mesmo veículo permaneça presente em frames consecutivos, ele poderá ser identificado novamente, pois o sistema não utiliza técnicas de rastreamento para atribuir identificadores únicos às detecções. Essa característica é considerada na interpretação dos resultados, uma vez que as detecções de diferentes frames não são somadas entre si. Portanto, o valor utilizado pelo controlador representa uma estimativa instantânea da demanda observada na via, e não uma contagem acumulada ou o número de veículos únicos que trafegaram durante o vídeo.

A validação do sistema foi realizada por meio do processamento de vídeos contendo diferentes condições de fluxo veicular. Durante os testes, foram observados a quantidade de veículos detectados em cada fluxo, o semáforo selecionado para receber prioridade, os estados dos sinais luminosos e os tempos de sinal verde definidos pelo controlador. Os resultados obtidos foram organizados em diferentes cenários de teste e utilizados para analisar o comportamento do sistema diante das variações na quantidade de veículos detectados.

A Figura 1 apresenta o fluxo de funcionamento do sistema, desde a entrada dos vídeos até o acionamento físico dos semáforos. Na Etapa 1, são fornecidos os vídeos dos dois fluxos de tráfego; na Etapa 2, os frames são processados em Python e OpenCV; e, na Etapa 3, o modelo YOLO realiza a detecção e classificação dos veículos. Na Etapa 4, as detecções das classes consideradas são contabilizadas em cada fluxo, obtendo-se (N1) e (N2). Na Etapa 5, esses valores são comparados para definir o fluxo prioritário, enquanto a Etapa 6 determina o tempo de sinal verde de acordo com a quantidade de veículos detectados. Na Etapa 7, o comando é enviado ao ESP32-CAM por

comunicação serial e, na Etapa 8, o microcontrolador aciona os LEDs correspondentes aos estados verde, amarelo e vermelho. Assim, a figura sintetiza a integração entre detecção de veículos, tomada de decisão e acionamento físico dos semáforos.

Figura 1 – Diagrama de funcionamento de captura de imagem



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

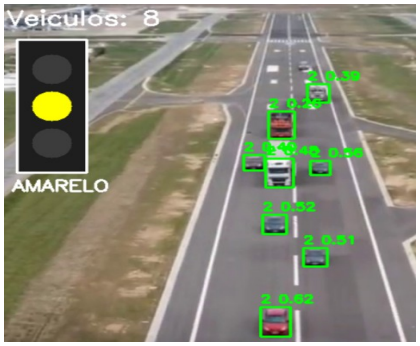
Resultados

O sistema foi executado em vídeos representativos de diferentes condições de fluxo veicular, permitindo avaliar o módulo de detecção e a lógica de controle semafórico. Durante o processamento, os veículos identificados foram delimitados por caixas de detecção e classificados conforme suas categorias.

As detecções foram utilizadas para contabilizar os veículos presentes em cada fluxo e determinar a prioridade e o tempo de sinal verde. Assim, foi possível observar alterações no comportamento do controlador diante de diferentes quantidades de veículos.

A Figura 2 apresenta um exemplo do processamento realizado pelo sistema, no qual os veículos detectados são identificados diretamente nos frames do vídeo. Os valores apresentados em verde correspondem às informações fornecidas pelo modelo de detecção: o valor à esquerda representa o nível de confiança da classificação, indicando a probabilidade estimada de o objeto pertencer à categoria identificada, enquanto o valor à direita corresponde ao código da categoria detectada. Por exemplo, o código 2 representa a categoria de carro. Para o processamento, são consideradas aceitáveis as detecções que apresentam nível de confiança igual ou superior a 0,4.

Figura 2 – Detecção e contabilização de veículos durante o processamento do vídeo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Foi construído um protótipo de bancada utilizando um ESP32-CAM e LEDs para representar fisicamente os estados dos semáforos. A Figura 3 apresenta um dos testes realizados, no qual são observados, na tela do computador, os dois vídeos utilizados pelo sistema e as respectivas sinalizações. No vídeo à esquerda, o fluxo apresenta o semáforo aberto, enquanto no vídeo à direita o semáforo permanece fechado. No protótipo, o LED acionado representa o estado definido pelo controlador, permitindo verificar a comunicação entre o processamento dos vídeos e o circuito físico. O teste demonstra, portanto, a integração entre a detecção dos veículos, a decisão de prioridade e o acionamento da sinalização semafórica.

Figura 3 – Demonstração do Semáforo 1 com LEDs.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para analisar o comportamento do controlador, os dados obtidos durante os testes podem ser organizados conforme apresentado na Tabela 1, relacionando a quantidade de veículos identificados e o tempo de sinalização definido pelo sistema.

Tabela 1 - Relação entre fluxo veicular e tempo de sinal verde

Cenário	Veículos S1	Veículos S2	Tempo verde – S1	Tempo verde – S2
1	11	5	12 s	6 s
2	5	8	5 s	9 s
3	13	10	15 s	12 s

Fonte: elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram a relação entre a demanda veicular identificada e o comportamento do controlador. Nos cenários avaliados, o fluxo com maior quantidade de veículos recebeu maior tempo de sinal verde, conforme os parâmetros definidos no algoritmo, enquanto demandas menores resultaram em períodos de verde reduzidos.

Os testes também permitiram verificar a integração entre a detecção, o controlador semafórico e a representação física dos estados luminosos. A utilização da contagem de veículos como variável de entrada tornou o funcionamento do semáforo dependente das condições observadas nos vídeos.

Os resultados demonstram a viabilidade experimental da utilização de Visão Computacional e Inteligência Artificial para obter informações sobre o fluxo veicular e aplicá-las a uma lógica de controle semafórico adaptativo.

Discussão

A análise dos resultados indica que a integração entre Visão Computacional e Inteligência Artificial permitiu utilizar a demanda veicular como entrada para o controle adaptativo, em consonância com

abordagens que empregam YOLO para monitoramento veicular (GHEORGHE et al., 2024) e estimativa de densidade para ajuste dos tempos semafóricos (SHELKE et al., 2024).

A principal limitação está no uso de vídeos previamente gravados e na ausência de rastreamento individual, tempo de espera e outras métricas de tráfego. Em São José dos Campos, sistemas semafóricos inteligentes conectados ao CSI permitem monitoramento do trânsito em tempo real e, em 2026, o município informou possuir 282 equipamentos conectados (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2026). Em comparação, a solução desenvolvida apresenta menor complexidade e caráter experimental, constituindo uma base para futuras ampliações.

Conclusão

Os resultados demonstraram que as informações provenientes da detecção de veículos podem ser utilizadas no controle adaptativo dos dois semáforos simulados, permitindo ajustar o tempo de verde conforme a demanda observada. A integração entre detecção, lógica de controle, comunicação serial e circuito físico possibilitou reproduzir as decisões do controlador na sinalização luminosa.

Como limitações, destacam-se o uso de vídeos previamente gravados e a utilização da quantidade de veículos detectados como principal variável de decisão. Como trabalhos futuros, pretende-se incorporar métricas adicionais de tráfego, técnicas de rastreamento individual e testes em condições mais próximas do ambiente real. Além disso, propõe-se representar cada semáforo como um nó em uma estrutura de grafos, na qual as vias e conexões entre as interseções sejam representadas por arestas. Essa abordagem permitiria ampliar o sistema para múltiplos semáforos e estudar estratégias de coordenação entre diferentes interseções, possibilitando uma tomada de decisão integrada para o gerenciamento do tráfego.

Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). Congestionamentos nas grandes cidades causam prejuízos de até 2% do PIB brasileiro. São Paulo, 5 nov. 2025.

ASTARITA, V.; GIOFRÈ, V. P.; GUIDO, G.; VITALE, A. The use of adaptive traffic signal systems based on floating car data. Wireless Communications and Mobile Computing, v. 2017, 2017.

BOCHKOVSKIY, A.; WANG, C.-Y.; LIAO, H.-Y. M. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection. arXiv, 2020.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). Adaptive Signal Control Technology. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2017.

GHEORGHE, C.; DUGULEANA, M.; BOBOC, R. G.; POSTELNICU, C. C. Analyzing real-time object detection with YOLO algorithm in automotive applications: a review. Computer Modeling in Engineering & Sciences, v. 141, n. 3, p. 1939-1981, 2024.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Auckland, New Zealand: IEEE, 2019.

OPENAI. Sora: creating video from text. San Francisco: OpenAI, 2024.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (Município). São José amplia semáforos inteligentes. São José dos Campos, 27 abr. 2026. Disponível em: https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2026/abril/27/sao-jose-amplia-semaforos-inteligentes/.

SHELKE, N. A.; SHUBHAM; SRIVASTAVA, S.; JAIN, S. Adaptive traffic signal control system for vehicle detection and traffic density estimation. 2024.

ULTRALYTICS. COCO Dataset. Ultralytics Documentation, 2026.