

**UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU**

GUILHERME SILVA MORENO – RA: 825137659

LUCAS PERES SIMÕES – RA: 825154655

MIKE BRIAN MAGATI DOS SANTOS – RA: 825130703

PEDRO HENRIQUE GUIMARÃES RESTANI – RA: 825155169

RICARDO SIQUEIRA LOIOLA – RA: 825154725

**SGAC+**

Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamentos

São Paulo

2025

## **RESUMO**

Este artigo apresenta o Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamentos, o SGAC+, uma solução baseada em IoT voltada não apenas à otimização de controle de semáforo, e sim, ao monitoramento inteligente de segurança urbana. A proposta integra sensores de tráfego, comunicação 5G/LoRaWAN, processamento distribuído e algoritmos de aprendizado por reforço para ajustar dinamicamente os tempos semafóricos conforme as condições reais das vias. Como diferencial, o SGAC+ incorpora um módulo de análise comportamental por visão computacional capaz de identificar situações de risco em cruzamentos. O objetivo é reduzir congestionamentos, melhorar o tempo médio de viagem, diminuir a emissão veicular e aumentar a segurança em pontos urbanos.

**Palavras-Chave:** Segurança Urbana; Semáforos Adaptativos; Análise Comportamental; Sistemas Inteligentes de Transporte; Internet das Coisas.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. EXPLICAÇÃO DA ESCOLHA.....</b>	<b>5</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>5. ANÁLISE DE SOLUÇÕES EXISTENTES .....</b>	<b>8</b>
<b>6. PROPOSTA DE SOLUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>7. IMPACTO E VIABILIDADE .....</b>	<b>11</b>
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>9. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um desafio crescente nas grandes cidades, onde o alto índice de congestionamento impacta diretamente a economia, o meio ambiente e a qualidade de vida. Esse problema é agravado pelo uso de semáforos tradicionais com ciclos fixos, incapazes de se adaptar às variações reais do fluxo de veículos ao longo do dia.

Com o avanço das Cidades Inteligentes, o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) tornou-se fundamental para otimizar a infraestrutura urbana. Nesse cenário, os sistemas semafóricos inteligentes despontam como soluções essenciais. Por meio de sensores, câmeras e conectividade IoT, juntos a algoritmos de Inteligência Artificial, esses sistemas monitoram o tráfego em tempo real e ajustam dinamicamente a duração dos ciclos semafóricos, priorizando vias com maior demanda.

Com isso, além dos benefícios de tráfego, como a redução de congestionamentos, a menor emissão de poluentes e maior fluidez do trânsito, cresce, também a necessidade de considerar aspectos relacionados à segurança urbana, especialmente em cruzamentos onde há registros frequentes de furtos e roubos por toda cidade. No entanto, a maioria das soluções existentes foca exclusivamente no controle de tráfego, deixando de lado a análise comportamental e a detecção precoce de riscos.

Diante dessas circunstâncias, este artigo apresenta o SGAC+, um sistema adaptativo aprimorado que integra IoT, aprendizado por reforço e visão computacional para otimizar o tráfego e, simultaneamente, monitorar situações de risco em áreas de alto fluxo. A proposta visa unir mobilidade eficiente e segurança urbana, ampliando o papel dos semáforos inteligentes dentro do contexto de cidades modernas e conectadas.

## **2. EXPLICAÇÃO DA ESCOLHA**

### **2.1. Definição do Problema.**

A mobilidade urbana atualmente é um grande problema nas grandes cidades. O crescimento da frota veicular, somando à infraestrutura viária limitada, acaba resultando em congestionamentos crônicos, aumentando o tempo de deslocamento, a emissão de poluentes e o consumo de combustível. Nos tempos atuais, os semáforos convencionais, que operam em ciclos de tempo fixo, são incapazes de responder às dinâmicas de fluxo de tráfego, agravando o problema.

Além disso, cruzamentos urbanos se tornaram pontos recorrentes de segurança pública, como assaltos, abordagens suspeitas e riscos a pedestres, com maior ocorrência em regiões com intensa circulação. Nesse contexto, tecnologias de visão computacional e análise comportamental emergem como ferramentas capazes de monitorar padrões em tempo real, permitindo que sistemas de semáforos inteligentes possam não apenas ser capazes de otimizarem o fluxo de tráfego, mas também contribuírem para a segurança pública.

### **2.2. Justificativa do Tema.**

A Transição para Cidades Inteligentes exige a adoção de tecnologias que tornem a gestão urbana mais eficiente, responsável e integrada. Os semáforos inteligentes representam uma aplicação direta da Internet das Coisas (IoT) e da Inteligência Artificial (IA) para solucionar o problema central de mobilidade. A implementação dessa tecnologia é justificada por sua capacidade de reduzir congestionamentos, melhorar a segurança viária, reduzir o impacto ambiental que veículos geram e, consequentemente, elevar a qualidade de vida dos cidadãos.

Além disso, o contexto urbano brasileiro evidencia um segundo desafio crítico: a segurança em vias públicas. Locais de paradas obrigatórias como semáforos, apresentam maior índice de assaltos, abordagens suspeitas e situações de vulnerabilidade para pedestres, motoristas e ciclistas. A integração de visão computacional e análise comportamental ao semáforo permite que além de otimizar o tráfego, também detecte comportamentos suspeitos e

potenciais ameaças. Assim, a proposta do SGAC+ se justifica por unir mobilidade eficiente e monitoramento inteligente, aprimorando tráfego e segurança nas ruas, alinhando-se a demandas reais das grandes cidades.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Internet das Coisas (IoT) em Cidades Inteligentes.**

A IoT é o pilar das Cidades Inteligentes, sendo definida como uma rede de objetos físicos incorporados com sensores, *software* e outras tecnologias para conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet (MACHADO, 2020).

- Sensores e Coleta de Dados: Em ambientes urbanos, a IoT permite a instalação de sensores em pontos estratégicos (lixeiras, postes, veículos e, crucialmente, semáforos) para coletar dados em tempo real sobre o ambiente e a infraestrutura.
- Comunicação V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*): A comunicação entre veículos e a infraestrutura semafórica é viabilizada pela IoT, permitindo que o sistema receba informações diretas sobre a demanda de tráfego e a presença de veículos de emergência.

#### **3.2. Soluções de Semáforos Inteligentes.**

Os sistemas de semáforos inteligentes representam a evolução dos sistemas de controle de tráfego (CTS) (SANTOS; PEREIRA, 2022).

- Sistemas Adaptativos: Utilizam *loops* indutivos ou câmeras de visão computacional para detectar a presença de veículos nas aproximações. O tempo de verde é ajustado em tempo real com base na demanda atual.
- Sistemas de Otimização Baseada em IA/ML: Empregam algoritmos de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina), como o Aprendizado por Reforço (*Reinforcement Learning*), para aprender padrões de tráfego ao longo do tempo e tomar decisões ótimas de tempo de fase, visando a maximização da fluidez em toda a rede viária, e não apenas em um único cruzamento.

## **4. METODOLOGIA.**

A pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica, análise de benchmarking e modelagem conceitual do sistemas SGAC+. O objetivo é avaliar a viabilidade técnica e o impacto social de um semáforo inteligente que integra otimização de tráfego e monitoramento de segurança urbana.

### **4.1 Processo de Pesquisa.**

- Levantamento Bibliográfico:

Coleta de artigos científicos, teses e relatórios sobre:

- IoT no trânsito;
- Semáforos adaptativos;
- Visão computacional para a segurança pública
- Análise Comportamental e reconhecimento facial
- Projetos de Smart Cities no Brasil e no exterior.

- Análise de Casos de Sucesso:

Estudo de sistemas inteligentes já implementados em cidades como:

- Pittsburgh (EUA), Singapura e Barcelona;
- Cidades brasileiras que utilizam videomonitoramento avançado (Rio de Janeiro, Curitiba, Recife).

- Modelagem Conceitual do SGAC+:

Desenvolvimento do modelo conceitual da solução proposta, incluindo:

- Módulo IoT: sensores de tráfego, câmeras, comunicação 5G/LoRaWAN;
- Módulo de Inteligência de Tráfego: algoritmos de Aprendizado por Reforço;
- Módulo de Segurança Urbana: visão computacional para análise comportamental e reconhecimento facial autorizado;
- Plataforma de Gestão: centralização dos dados para tomada de decisão.

Essa estrutura permite justificar a viabilidade técnica, o impacto social, a inovação e a necessidade da proposta SGAC+ como solução integrada para trânsito e segurança urbana.

## **5. ANÁLISE DE SOLUÇÕES EXISTENTES**

### **5.1 Pittsburgh (EUA) – Sistema SURTRAC.**

O SURTAC (Scalable Urban Traffic Control), desenvolvido pela Carnegie Mellon University, é um sistema de controle de tráfego urbano, ela combina câmeras, sensores de detecção e algoritmos adaptativos de IA. Seus resultados incluem a redução de até 25% no tempo de viagem, 40% no tempo parado e 21% nas emissões. Entre suas vantagens estão a alta eficiência operacional, redução de poluentes e escalabilidade para grandes redes de semáforos, porém, enfrentando custo elevado de implantação e dependência de infraestrutura moderna. (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2013)

### **5.2 Singapura – Sistema Integrado de Gestão de Tráfego.**

O Sistema Integrado de Gestão de Tráfego de Singapura é considerado um dos mais avançados globalmente, utilizando sensores de Internet das Coisas, comunicação de alta velocidade e IA para previsão de demanda. Seus resultados incluem a redução de 15% a 20% no congestionamento e melhoria da velocidade média dos veículos. As suas vantagens incluem a integração com transporte público, monitoramento constante e ampla infraestrutura digital, enquanto as limitações envolvem um alto custo inicial e necessidade de alta tecnologia nacional. (INTELLISTRIDE, 2024)

### **5.3 São Paulo (Brasil) – Sistema Detecta.**

O Sistema usa câmeras inteligentes, reconhecimento de padrões e integração com centro policiais para reduzir crimes, alcançando queda de 20% a 40% nas ocorrências. Suas vantagens incluem maior segurança urbana e integração rápida com policiamento, mas não atua na otimização do tráfego e depende de resposta humana. (SÃO PAULO, SSP)

### **5.4 SGAC+.**

O SGAC+ integra a mobilidade segurança urbana em um único sistema, combinando otimização de tráfego (Pittsburgh), infraestrutura IoT escalável (Singapura) e o monitoramento inteligente (São Paulo). Diferente das soluções existentes, que focam em um aspecto, o SGAC+ oferece a redução de congestionamento, detecção de riscos, diminuição de assaltos em semáforos e melhoria simultânea de fluxo e segurança, tornando-se uma solução mais completa e adequada ao contexto da sociedade brasileira.

## **6. PROPOSTA DE SOLUÇÃO.**

A proposta consiste na implantação do Sistema de Gerenciamento Adaptativo de Cruzamento+ (SGAC+), baseado em Internet das Coisas, IA e visão computacional, integrando otimização de tráfego e segurança urbana inteligente.

### **6.1 Arquitetura do Sistema.**

- Camada de Sensores (Hardware):
  - Câmeras de Visão Computacional: Instaladas nos postes semafóricos para contagem e classificação de veículos (carros, motos, ônibus) e análise de comportamentos suspeitos ao redor do cruzamento.
  - Módulo de Segurança Urbana: Câmeras com capacidade de detectar situações anormais (movimentações bruscas, abordagem suspeita, tentativa de assalto) e, quando autorizado legalmente, reconhecimento facial para identificação de indivíduos procurados.
  - Sensores de Prioridade: Módulos GPS/RFID em veículos de emergência para sinalização prioritária ao semáforo.
- Camada de Comunicação:
  - Uso de redes de baixa latência (5G ou LoRaWAN) para transmitir em tempo real dados de tráfego, imagens analisadas e alertas de segurança para a Plataforma Central.
- Plataforma Central:
  - Módulo de Aprendizado por Reforço (RL): Processa volume, velocidade e formação de filas, definindo o tempo ideal de verde para minimizar espera e congestionamento.
  - Módulo de Análise Comportamental: Sistema de visão computacional que identifica padrões de risco (aglomerações atípicas, comportamento violento, invasão de pista, corrida repentina).

## 6.2. Benefícios Esperados

<b>PROBLEMA SOLUCIONADO</b>	<b>MÉTRICA DE DESEMPENHO ESPERADA</b>
Congestionamento	Redução do tempo de viagem (em média 15-25%).
Emissões de Poluentes	Redução do consumo de combustível e emissão de CO <sub>2</sub> (em até 10-15%).
Segurança Viária	Diminuição do número de paradas e arranques, reduzindo acidentes.
Resposta a Emergências	Priorização imediata, reduzindo o tempo de resposta do socorro.
Riscos de Assaltos em Semáforos	Detecção de comportamentos suspeitos e envio automático de alertas ao COI.
Criminalidade Urbana em Cruzamentos	Redução de tentativas de assalto e abordagens violentas em até 20-40% em pontos críticos (com base em cidades que utilizam o videomonitoramento).
Monitoramento Preventivo	Captação de anomalias em tempo real, permitindo ações preventivas.

Fonte: Elaboração Própria - 2025

## **7. IMPACTO E VIABILIDADE.**

### **7.1 Impacto Tecnológico:**

O SGAC+ moderniza a infraestrutura dos semáforos ao integrar os sensores IoT, comunicação em baixa latência. A adoção de visão computacional e análise comportamental amplia a capacidade de detecção de incidentes e riscos, fortalecendo a segurança urbana. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados, todas as informações serão tratadas, garantindo que os dados pessoais sejam utilizados de forma transparente, segura e dentro dos limites legais. Toda coleta de dados é restrita e somente armazenada quando necessário para análise de incidentes, dentro do próprio servidor da prefeitura.

### **7.2 Impacto Econômico:**

A implementação tem um custo inicial moderado, estimado entre R\$10.000 e R\$ 18.000 por cruzamento, porém apresenta forte potencial de retorno ao reduzir congestionamentos, consumo de combustível e acidentes, estima-se gerar economia anual de R\$3.000 a R\$6.000. A diminuição de acidentes representa uma economia de R\$12.000 a R\$24.000 por ano, enquanto o módulo de segurança urbana pode reduzir ocorrências em assaltos em até 30%, evitando R\$9.000 a R\$45.000 anuais.

No geral, o retorno financeiro por cruzamento pode variar entre R\$24.000 e R\$75.000, permitindo que investimento seja recuperado em aproximadamente um ano.

### **7.3 Impacto Social:**

A melhoria da fluidez reduz atrasos e acidentes, consequentemente reduzindo o estresse. O módulo de segurança aumenta a sensação de proteção da população em cruzamentos, pontos críticos para assaltos no Brasil.

### **7.4 Impacto Ambiental:**

Com menos paradas e arranques, a redução de CO<sub>2</sub> e poluentes locais é reduzida consideravelmente. Redução entre 10% e 15% são esperadas conforme resultados de sistemas adaptativos internacionais.

## **7.5 Viabilidade Técnica:**

O sistema é compatível apenas com semáforos modernos e será necessário a troca dos semáforos antigos para a implementação do sistema. Requer também uma conexão estável, equipe técnica treinada e políticas claras para tratamento de dados sensíveis. A modularidade permite expansão futura, seja para novos cruzamentos ou integração com centros de operações municipais.

## **8. CONCLUSÃO**

### **8.1. Considerações Finais**

O SGAC+, ampliado com recursos de IoT, o uso de Inteligencia Artificial e visão computacional, representa uma evolução na gestão do tráfego urbano e na segurança pública.

Além de otimizar tempos nos semáforos e diminuir os congestionamentos, o SGAC+ incorpora mecanismos de detecção de situações de risco, análise comportamental, fortalecendo a segurança dos usuários pontos frequentes de assaltos e incidentes.

### **8.2 Limitações e Trabalhos Futuros**

Limitações:

- A operação eficiente depende de infraestrutura estável e equipe técnica treinada para interpretar alertas e gerenciar o sistema.
- A adoção de câmeras com inteligência embarcada e redes de comunicação de baixa latência eleva o custo inicial por cruzamento.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Relizar estudos de microssimulação para avaliar cenários reais (como corredores urbanos específicos).
- Testar o módulo de análise comportamental em ambientes controlados, para medir a quantidade de falsos positivos/negativos.
- Explorar integração com sistemas de segurança pública para otimizar ações preventivas e respostas emergenciais.

## 9. REFERÊNCIAS

- CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. *SURTRAC: Scalable Urban Traffic Control*. Pittsburgh: The Robotics Institute, 2013. Disponível em: [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2013/1/13-0315.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2013/1/13-0315.pdf). Acesso em: 20 nov. 2025.
  
- INTELLISTRIDE. *How Singapore's Smart Traffic System is Redefining Urban Mobility*. 12 nov. 2024. Disponível em: <https://www.intellistride.com/blog/how-singapores-smart-traffic-system-is-redefining-urban-mobility/>. Acesso em: 20 nov. 2025.
  
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Segurança Pública. *Detecta: Cinturão Eletrônico de Videomonitoramento*. São Paulo: SSP-SP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ssp.sp.gov.br/midia/Midia/00000262.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.
  
- MACHADO, R. S. *Cidades Inteligentes e o Big Data do Trânsito*. Rio de Janeiro: Editora Cidade Conectada, 2020.
  
- SANTOS, L. P.; PEREIRA, M. F. *Smart Cities: Desafios e Soluções em Transporte*. Revista de Gestão Urbana, v. 15, n. 3, p. 45–60, 2022.
  
- SILVA, B. O. *Infraestrutura Digital para o Século XXI*. 4. ed. Curitiba: Editora Tecnológica, 2023.