



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO SOARES AMORIM JÚNIOR

**USO DA FERRAMENTA SUMO NO GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO:
ESTUDO DE CASO DO CRUZAMENTO DA AVENIDA BRASIL COM A AVENIDA
TANCREDO NEVES**

SÃO LUÍS

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Amorim Junior, Francisco Soares.

USO DA FERRAMENTA SUMO NO GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO
URBANO : eSTUDO DE CASO DO CRUZAMENTO DA AVENIDA BRASIL
COM A AVENIDA TANCREDO NEVES / Francisco Soares Amorim
Junior. - 2024.

46 f.

Orientador(a): Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz.
Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2024.

1. Análise de Trânsito. 2. Planejamento Urbano. 3.
Sumo. 4. . 5. . I. Gonçalves Luz, Priscila Maria Sousa.
II. Título.

FRANCISCO SOARES AMORIM JÚNIOR

**USO DA FERRAMENTA SUMO NO GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO:
ESTUDO DE CASO DO CRUZAMENTO DA AVENIDA BRASIL COM A AVENIDA
TANCREDO NEVES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito à obtenção de título de Bacharel
em Engenharia Civil, da Universidade Federal
do Maranhão, Campus Bacanga.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Priscila Maria Sousa
Gonçalves Luz

SÃO LUÍS

2024

FRANCISCO SOARES AMORIM JÚNIOR

**USO DA FERRAMENTA SUMO NO GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO:
ESTUDO DE CASO DO CRUZAMENTO DA AVENIDA BRASIL COM A AVENIDA
TANCREDO NEVES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito à obtenção de título de Bacharel
em Engenharia Civil, da Universidade Federal
do Maranhão, Campus Bacanga.

Aprovado em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz (Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Daniel Beserra Costa
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Msc. Daniel Ricardo Araújo Amaro
Universidade Federal do Maranhão

RESUMO

A fluidez do tráfego urbano é crucial para o bom funcionamento das cidades, impactando diretamente a qualidade de vida dos cidadãos e a economia local. Quando o tráfego é fluido, há menos congestionamentos, o tempo de deslocamento diminui e o transporte de bens e serviços é mais eficiente. A falta de fluidez, por outro lado, resulta em engarrafamentos, atrasos, aumento do consumo de combustível, poluição do ar e estresse para os motoristas, além de prejudicar o transporte público. Além disso, ferramentas, como aplicativos de navegação por GPS (Google Maps, Waze, etc.) oferecem rotas alternativas e atualizações de trânsito em tempo real aos motoristas, ajudando-os a evitar áreas congestionadas e melhorando a fluidez do tráfego. Por fim, a adoção de soluções de mobilidade urbana sustentável, como bicicletas, transporte público eficiente e veículos elétricos, também contribui para a redução do número de veículos nas vias, promovendo um tráfego mais ágil e menos poluente. A ferramenta SUMO é amplamente utilizada no gerenciamento de tráfego urbano, proporcionando uma plataforma eficiente para simulação e análise de cenários complexos de trânsito. Com o aumento da urbanização e o conseqüente crescimento da demanda por soluções de mobilidade, o uso de tecnologias como o SUMO torna-se essencial para a otimização de fluxos de tráfego, redução de congestionamentos e melhoria da segurança viária. Desse modo, o objetivo geral do trabalho foi explorar a aplicabilidade do SUMO na modelagem do tráfego no cruzamento das Avenidas Brasil e Tancredo Neves na cidade de São Luís - MA. A metodologia utilizada foi uma pesquisa quantitativa, baseada no método estudo de caso. Os resultados mostraram que Assim diante dos 3 casos apresentados, o caso 3 apresentou um melhor ganho de tempo e redução no tempo de espera no cruzamento estudado. Assim, conclui-se que a ferramenta se consolida como um recurso essencial para a elaboração de estratégias que visam à melhoria do trânsito em áreas urbanas densamente movimentadas, como o cruzamento estudado.

Palavras-chave: Análise de Trânsito. Planejamento Urbano. Cruzamento Viário. Mobilidade Urbana. SUMO.

ABSTRACT

The fluidity of urban traffic is crucial to the smooth running of cities, directly impacting on citizens' quality of life and the local economy. When traffic is fluid, there is less congestion, travel times are reduced and the transportation of goods and services is more efficient. Lack of fluidity, on the other hand, results in traffic jams, delays, increased fuel consumption, air pollution and stress for drivers, as well as damaging public transport. In addition, tools such as GPS navigation applications (Google Maps, Waze, etc.) offer alternative routes and real-time traffic updates to drivers, helping them to avoid congested areas and improving traffic flow. Finally, the adoption of sustainable urban mobility solutions, such as bicycles, efficient public transport and electric vehicles, also contributes to reducing the number of vehicles on the roads, promoting more agile and less polluting traffic. The SUMO tool is widely used in urban traffic management, providing an efficient platform for simulating and analyzing complex traffic scenarios. With the increase in urbanization and the consequent growth in demand for mobility solutions, the use of technologies such as SUMO has become essential for optimizing traffic flows, reducing congestion and improving road safety. The general objective of this study was to explore the applicability of SUMO in traffic modeling at the intersection of Avenida Brasil and Avenida Tancredo Neves in the city of São Luís - MA. The methodology used was quantitative research, based on the case study method. The results showed that of the three cases presented, case 3 showed the best time gain and reduction in waiting times at the intersection studied. It can therefore be concluded that the tool is an essential resource for drawing up strategies aimed at improving traffic in densely populated urban areas, such as the junction studied.

Keywords: Traffic Analysis. Urban Planning. Road intersection. Urban Mobility. SUMO.

LISTA DE ABREVIATURAS

DETRAM - Departamento Nacional de Trânsito do Maranhão

ITS - Sistemas De Transporte Inteligente

OSM - Open Street Maps

SUMO - Simulation of Urban MObility

TRANSYT - TRAffic Network StudY Tool

VISSIM - Verkehr In Städten – SIMulationsmodell

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Congestionamento por pedágio.....	12
Figura 02 – Exemplo de nós, vias e conexões	22
Figura 03 – Código 17, Exemplo de criação de nós, tipos, vias e conexões.....	22
Figura 04 – Resultado obtido a partir do código 17	23
Figura 05 – Código 18, Exemplo de criação de rotas.....	24
Figura 06 – Arquivos de entradas necessários para o SUMO	24
Figura 07 – Mapa de bairros e arruamento de São Luís - MA	27
Figura 08 – Contagens de veículos através de vídeo monitoramento	28
Figura 09 – Criação das vias e dos fluxos	29
Figura 10 – Arquivo de Fluxos e volume de veículos por hora	30
Figura 11 – Definição da largura de via e velocidade média	31
Figura 12 – Caso 1 (Restrição de Movimento).....	33
Figura 13 – Caso 2 (Adição de Semáforo)	34
Figura 14 – Caso 3 (Redução no tempo de vermelho e verde).....	35
Figura 15 – Simulação do Caso 1 (Restrição de movimento)	36
Figura 16 – Resultado da simulação do caso 1	37
Figura 17 – Simulação do Caso 2 (Adição de Semáforo com tempo padrão do programa) ..	39
Figura 18 – Resultado da simulação 2.....	39
Figura 19 – Simulação do Caso 3 (Alteração nos tempos de vermelho e verde).....	41
Figura 20 – Resultado da simulação do caso 3	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo geral	10
1.1.2 Objetivos específicos	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 Congestionamento e suas principais causas	11
2.2 Tecnologias de gestão de tráfego	14
2.3 Congestionamento urbano no estado do Maranhão	16
2.4 Gerenciamento de tráfego urbano	17
2.5 Ferramentas de simulação de tráfego	19
2.6 SUMO	21
2.7 Aplicações do SUMO em Estudos de Tráfego	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 Coleta de dados	28
3.1.1 Ferramentas utilizadas para simulação dos casos	28
3.2 Implementação do cruzamento com o programa	29
3.3 Tratamento dos Dados	30
3.4 Simulação dos Casos	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O tráfego na cidade de São Luís, capital do Maranhão, enfrenta desafios significativos, típicos de áreas urbanas em crescimento. A cidade apresenta problemas de congestionamento, especialmente durante os horários de pico, devido ao aumento da frota de veículos, infraestrutura rodoviária inadequada e expansão urbana desordenada. Pontos críticos como a Avenida dos Holandeses, que passou por mudanças recentemente, onde foi retirado todas as rotatórias da via, Avenida Daniel de La Touche e Avenida Guajajaras são frequentemente citados como áreas de maior congestionamento.

Além disso, destaca-se ainda que o transporte público, que deveria aliviar a pressão do tráfego, ainda é insuficiente em termos de cobertura e qualidade, agravando a dependência dos veículos particulares. A falta de sincronia nos semáforos, o crescimento desordenado e a falta de investimentos em mobilidade urbana contribuem para uma situação de tráfego que impacta negativamente a qualidade de vida dos moradores.

A simulação de tráfego urbano tem se tornado uma ferramenta crucial no planejamento e na gestão eficiente das cidades modernas, onde o aumento da frota de veículos e a crescente complexidade das redes viárias apresentam desafios significativos (Cardoso, 2017). Nesse contexto, o uso de simuladores como o SUMO (*Simulation of Urban MObility*) permite a criação de modelos detalhados que reproduzem fielmente as dinâmicas de tráfego em cenários urbanos específicos, possibilitando a análise e o processamento de dados em busca de soluções que otimizem o fluxo veicular, reduzam congestionamentos e melhorem a segurança viária.

Para tanto, Baines e Padget (2014) explicam que o SUMO é uma plataforma de código aberto que permite a simulação de grandes redes viárias, oferecendo suporte para análise detalhada do comportamento dos veículos em diferentes cenários.

Desse modo, pode-se mencionar que o cruzamento da Avenida Brasil com a Avenida Tancredo Neves, localizado no Bairro Cidade Operária, em São Luís - MA, é um exemplo de área urbana onde a gestão do tráfego apresenta dificuldades que afetam diretamente a qualidade de vida dos cidadãos. A região é marcada por um elevado volume de veículos, especialmente durante os horários de pico, o que resulta em congestionamentos frequentes, aumento no tempo de viagem e uma maior incidência de acidentes.

Nesse cenário, surge o questionamento de como a ferramenta SUMO pode ser utilizada para processar e analisar dados de tráfego, visando à melhoria do fluxo veicular e à redução de congestionamentos sobre o cruzamento da avenida Brasil com a avenida Tancredo Neves no Bairro Cidade Operária na capital São Luís - MA. Por isso, o objetivo desse trabalho consistiu

em explorar a aplicabilidade do SUMO na modelagem do tráfego no cruzamento das Avenidas Brasil e Tancredo Neves na cidade de São Luís - MA, estimando que os resultados obtidos com a simulação forneçam subsídios para a implementação de medidas concretas que possam ser replicadas em outras áreas da cidade, contribuindo para um trânsito mais seguro e eficiente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Explorar a aplicabilidade do SUMO na modelagem do tráfego no cruzamento das Avenidas Brasil e Tancredo Neves.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o fluxo de veículos no cruzamento da Avenida Brasil com Tancredo Neves por meio da simulação na ferramenta SUMO.
- Identificar pontos de congestionamento, tempos de espera e possíveis causas de problemas de tráfego nesse cruzamento.
- Propor estratégias de melhoria no gerenciamento do tráfego urbano no cruzamento da Avenida Brasil com Tancredo Neves com base nos dados obtidos pela simulação na ferramenta SUMO.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Congestionamento e suas principais causas

O congestionamento urbano é um fenômeno que afeta cidades em todo o mundo, trazendo consigo uma série de problemas técnicos, sociais, econômicos e ambientais. Esses problemas estão interligados e têm implicações profundas na qualidade de vida das populações urbanas, no desenvolvimento econômico das cidades e na sustentabilidade ambiental (Ferraz; Torres, 2014).

De acordo com o dicionário online Michaelis, o congestionamento é definido como “aglomeração de pessoas ou de tráfego que dificulta a circulação em uma determinada área” (Congestionamento, 2023). Os congestionamentos diminuem a velocidade do fluxo de veículos, interrompem o fluxo contínuo do tráfego e causam vários inconvenientes no cotidiano das pessoas, como atrasos, custos e agressões.

Do ponto de vista técnico, o congestionamento é frequentemente resultado de uma infraestrutura inadequada para o volume de tráfego que precisa suportar. Muitas cidades, especialmente em países em desenvolvimento, cresceram rapidamente sem o planejamento adequado para o trânsito. Isso resulta em estradas mal dimensionadas, falta de manutenção, sinalização deficiente e sistemas de controle de tráfego obsoletos.

As colisões entre veículos em movimento são uma causa frequente de congestionamento de tráfego. Normalmente, os veículos circulam livremente dentro dos limites de velocidade estabelecidos, mas, mesmo que esses limites sejam respeitados, podem ocorrer colisões e acidentes que diminuem a velocidade ou até interrompem o fluxo de veículos na via (Matthies; Blöbaum, 2017, p. 72).

A ausência de sistemas inteligentes de gerenciamento de tráfego, como a sincronização semafórica e a coleta de dados em tempo real, agrava ainda mais a situação, causando filas intermináveis e aumentando o tempo de deslocamento. Além disso, a falta de alternativas de transporte público de qualidade contribui para o aumento da dependência de veículos particulares, sobrecarregando ainda mais as vias (Cardoso, 2017).

Os congestionamentos também aumentam a poluição causada pelos motores de combustão interna, com consequências que afetam negativamente a qualidade de vida nas áreas urbanas. Além da poluição do ar, que contribui para o efeito estufa, o congestionamento também causa um aumento significativo da poluição sonora nas áreas urbanas devido ao barulho dos carros e ao fato de as pessoas ficarem irritadas e presas em vias congestionadas (Matthies; Blöbaum, 2017).

Como exemplo, a Figura 01 mostra o congestionamento causado por estradas com pedágio que impedem o tráfego normal de veículos.

Figura 01 - Congestionamento por pedágio



Fonte: Rede Brasil Atual, 2024.

O aumento dos custos operacionais para as empresas, que precisam lidar com atrasos e maior consumo de combustível, também é uma consequência direta do congestionamento. Isso, por sua vez, pode aumentar o custo dos produtos e serviços, impactando negativamente a economia local. Além disso, o congestionamento pode desestimular investimentos em áreas mais afetadas, dificultando o desenvolvimento econômico dessas regiões.

Outro ponto a ser mencionado, são os problemas ambientais. O impacto ambiental do congestionamento é talvez um dos aspectos mais preocupantes. Veículos parados ou se movendo lentamente emitem maiores quantidades de gases poluentes, como monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e partículas finas, que contribuem para a poluição do ar (Melo, 2020).

Essa poluição está associada a uma série de problemas de saúde pública, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e até câncer. Além disso, o congestionamento contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas. As áreas urbanas congestionadas também sofrem com o aumento da poluição sonora, que afeta a qualidade de vida dos moradores e pode causar problemas de saúde como hipertensão e estresse.

As condições climáticas adversas, como chuvas intensas, neblina ou gelo, também contribuem para a ocorrência de acidentes e, conseqüentemente, para a formação de congestionamentos. Nessas condições, os motoristas tendem a reduzir a velocidade, aumentar o espaçamento entre os veículos e, em muitos casos, ficar mais cautelosos, o que, apesar de ser uma medida de segurança, contribui para a redução da capacidade das vias.

Por fim, Batista Júnior e Coutinho (2013) citam que o transporte de cargas nas áreas urbanas, especialmente durante o horário comercial, é outro fator que contribui para o congestionamento. Caminhões e veículos de grande porte ocupam mais espaço nas vias e geralmente trafegam em velocidades menores do que os veículos de passeio. A falta de regulamentação específica que restrinja a circulação desses veículos em horários de pico agrava o problema, gerando congestionamentos mais intensos e prolongados.

A carga e descarga de mercadorias em vias públicas também contribuem para a obstrução do tráfego, especialmente em áreas comerciais densas. Sem uma infraestrutura adequada para essas operações, como zonas exclusivas para carga e descarga, os veículos de transporte acabam bloqueando faixas de tráfego, criando gargalos que dificultam o fluxo normal dos veículos (Silva; Amaral; Simões, 2022).

Diante desses desafios, é imperativo que as cidades implementem soluções integradas para mitigar os problemas associados ao congestionamento. Investimentos em infraestrutura, como a construção de novas vias, a ampliação do transporte público e a implementação de sistemas inteligentes de gerenciamento de tráfego, são fundamentais (Gora, 2018).

Além disso, políticas que incentivem o uso de transportes sustentáveis, como bicicletas e veículos elétricos, podem ajudar a reduzir a carga sobre o sistema viário. Medidas como o rodízio de veículos e a cobrança de pedágios urbanos também podem ser eficazes para controlar o volume de tráfego nas áreas mais congestionadas (Gomide, 2023). No entanto, essas soluções precisam ser adaptadas ao contexto local e implementadas de forma a garantir que não perpetuem ou agravem as desigualdades sociais.

Assim, pode-se compreender que o congestionamento urbano é um problema multifacetado que resulta da combinação de fatores como o crescimento descontrolado da frota de veículos, a falta de infraestrutura viária adequada, o planejamento urbano deficiente, o comportamento inadequado dos motoristas, os acidentes de trânsito e o transporte de cargas. Cada uma dessas causas contribui de maneira única para a complexidade do problema, tornando necessário um esforço coordenado para implementar soluções integradas.

2.2 Tecnologias de gestão de tráfego

As tecnologias de gestão de tráfego urbano desempenham um papel crucial na melhoria da mobilidade e na redução dos problemas relacionados ao congestionamento em cidades cada vez mais populosas. Com o avanço das tecnologias digitais, sistemas de monitoramento e controle do trânsito tornaram-se mais sofisticados, permitindo um gerenciamento mais eficiente e integrado do fluxo de veículos (Barbosa; Monteiro, 2020).

Nas explicações de Cambruzzi e Kraus Jr (2023), a gestão do tráfego envolve o uso de diversas tecnologias que trabalham em conjunto para monitorar, controlar e otimizar o fluxo de veículos nas vias urbanas. De acordo com os autores, entre as principais tecnologias estão os sistemas de controle de tráfego adaptativo, sensores de tráfego, câmeras de vigilância, Sistemas de Transporte Inteligente (ITS, na sigla em inglês), e softwares de análise de dados de tráfego.

Os sistemas de controle de tráfego adaptativo, por exemplo, ajustam automaticamente os tempos dos semáforos com base no fluxo de veículos em tempo real, ajudando a minimizar congestionamentos e a melhorar o tempo de viagem. Sensores de tráfego, como aqueles que utilizam tecnologias de radar, laços indutivos ou câmeras, coletam dados sobre a quantidade, velocidade e direção dos veículos, fornecendo informações essenciais para a gestão eficiente do trânsito.

As aplicações dessas tecnologias são variadas e podem ser observadas em diversas cidades ao redor do mundo. Uma das utilizações mais comuns é na sincronização semafórica, onde os semáforos são programados para trabalhar de forma coordenada, a fim de otimizar o fluxo de veículos em vias principais. Além disso, em cidades como Londres e Cingapura, o uso de pedágios urbanos, que cobram tarifas dos veículos que entram em áreas congestionadas, é uma estratégia eficaz para reduzir o tráfego em áreas centrais.

Esses sistemas de pedágio utilizam tecnologias como câmeras de reconhecimento automático de placas (ANPR) e sensores de tráfego para monitorar e cobrar automaticamente os motoristas. Outro exemplo de aplicação é o uso de sistemas de informação ao motorista, que fornecem dados em tempo real sobre as condições do trânsito, sugerindo rotas alternativas para evitar congestionamentos. Esses sistemas são integrados a aplicativos de navegação, como Google Maps e Waze, que têm se tornado indispensáveis para muitos motoristas (Raia Júnior, 2010, p. 135).

Pode-se observar que a adoção de tecnologias de gestão de tráfego oferece uma série de benefícios tanto para as autoridades municipais quanto para os usuários das vias urbanas. Em primeiro lugar, a redução dos congestionamentos resulta em menor tempo de deslocamento, aumentando a eficiência e produtividade dos trabalhadores e reduzindo o estresse associado ao trânsito. Em segundo lugar, a melhoria na fluidez do tráfego contribui para a diminuição do

consumo de combustível, o que, por sua vez, reduz as emissões de gases poluentes e o impacto ambiental do transporte. Em terceiro lugar, essas tecnologias também têm o potencial de melhorar a segurança nas vias, ao monitorar e regular a velocidade dos veículos e ao identificar rapidamente situações de risco, como acidentes ou bloqueios.

Além disso, a capacidade de coletar e analisar grandes volumes de dados sobre o tráfego permite que as cidades planejem de forma mais eficaz o desenvolvimento de infraestrutura e tomem decisões informadas sobre políticas de mobilidade.

Nesta assertiva, Dias (2018) ressalta que apesar dos inúmeros benefícios, a implementação de tecnologias de gestão de tráfego enfrenta desafios significativos. Um dos principais obstáculos é o alto custo inicial de instalação e manutenção desses sistemas, o que pode ser uma barreira para cidades com recursos financeiros limitados.

A complexidade técnica dos sistemas de gestão de tráfego exige que as autoridades municipais tenham acesso a profissionais qualificados para operá-los e mantê-los em funcionamento. Outro desafio segundo o autor, é a necessidade de integração entre diferentes sistemas e tecnologias, que muitas vezes são fornecidos por diferentes fabricantes e podem não ser compatíveis entre si.

Cavalcanti (2011), acrescenta que a dependência de tecnologia também levanta preocupações sobre a segurança cibernética, pois esses sistemas podem ser alvos de ataques que comprometam sua operação. A privacidade dos dados coletados também é uma questão importante, exigindo a implementação de políticas robustas para proteger as informações dos usuários.

Em relação ao impacto das tecnologias de gestão de tráfego nas cidades modernas, Gora (2018) menciona que este é inegável. Elas têm transformado a maneira como as cidades lidam com o crescimento do trânsito, proporcionando soluções mais inteligentes e sustentáveis para os problemas de mobilidade.

Em cidades como Barcelona e Amsterdã, que têm investido significativamente em sistemas de transporte inteligente, os resultados são visíveis na forma de redução de congestionamentos, melhoria na qualidade do ar e maior satisfação dos cidadãos com a mobilidade urbana. Essas tecnologias contribuem para a construção de cidades mais conectadas, onde diferentes modos de transporte, como veículos particulares, transporte público, bicicletas e pedestres, podem coexistir de forma harmoniosa e eficiente.

Portanto, Raia Júnior (2010) destaca que as tecnologias de gestão de tráfego representam uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios da mobilidade urbana no século XXI. Embora existam desafios a serem superados, como os custos iniciais e as questões de segurança,

os benefícios superam em muito as limitações, oferecendo soluções que não apenas melhoram o fluxo de tráfego, mas também contribuem para um ambiente urbano mais sustentável e seguro.

Segundo o autor ora mencionado, à medida que as cidades continuam a crescer e a enfrentar novos desafios de mobilidade, a adoção dessas tecnologias será essencial para garantir que a infraestrutura de transporte possa atender às necessidades da população de maneira eficiente e eficaz. O futuro das cidades dependerá, em grande parte, da capacidade de integrar essas inovações de forma inteligente e equitativa, criando um ambiente onde todos possam se mover com facilidade e segurança.

2.3 Congestionamento urbano no estado do Maranhão

O estado do Maranhão, localizado na Região Nordeste do Brasil, tem vivenciado um crescimento urbano significativo nas últimas décadas, especialmente em sua capital, São Luís, e em outras cidades como Imperatriz e Caxias. Com esse crescimento, surgem desafios relacionados à mobilidade urbana, sendo o engarrafamento um dos problemas mais críticos. A falta de infraestrutura adequada, o aumento descontrolado da frota de veículos, o planejamento urbano deficiente e a carência de transporte público eficiente são fatores que contribuem para o agravamento do trânsito nas áreas urbanas maranhenses (Cocco, 2021).

Silva e Santos (2018), explicam que o Maranhão, como muitos outros estados brasileiros, tem experimentado uma urbanização acelerada, particularmente em São Luís, que concentra grande parte das atividades econômicas, educacionais e culturais do estado. O crescimento populacional, aliado à expansão desordenada da cidade, gerou uma pressão excessiva sobre a infraestrutura viária existente, que não foi planejada para suportar o atual volume de tráfego.

Neste cenário, a urbanização no Maranhão, especialmente em São Luís, ocorreu de forma desorganizada, sem a devida previsão para a expansão do sistema viário e sem a implementação de políticas de mobilidade urbana que promovessem um equilíbrio entre as diversas modalidades de transporte. Bairros periféricos surgiram sem que houvesse uma estrutura de transporte adequada, forçando seus habitantes a dependerem do automóvel para se deslocar até o centro da cidade, contribuindo para o aumento dos engarrafamentos.

Na concepção de Silva e Santos (2018), outro fator que tem exacerbado os engarrafamentos nas áreas urbanas do Maranhão é o rápido crescimento da frota de veículos. Dados recentes do Departamento Nacional de Trânsito do Maranhão – DETRAM, indicam que o número de automóveis registrados no estado tem crescido substancialmente, sem que a infraestrutura viária acompanhe esse aumento. Em São Luís, por exemplo, o número de veículos

em circulação já ultrapassa a capacidade das vias principais, especialmente durante os horários de pico, resultando em longos congestionamentos.

Esse crescimento da frota é impulsionado pela melhoria das condições econômicas e pelo acesso facilitado ao crédito, o que permite que mais pessoas adquiram veículos particulares. No entanto, a falta de investimentos em alternativas de transporte público eficiente faz com que o carro seja visto como a única opção viável para muitas pessoas, alimentando um ciclo vicioso de aumento do tráfego e piora nas condições de mobilidade urbana (Corrêa, 2019)

Outro ponto importante a ser mencionado é a questão dos engarrafamentos urbanos no Maranhão, onde estes têm impactos significativos na vida dos cidadãos e na economia do estado. O tempo perdido no trânsito é um dos principais problemas, afetando a produtividade dos trabalhadores e gerando estresse e desgaste físico e mental. Além disso, os congestionamentos aumentam o consumo de combustível e a emissão de poluentes, contribuindo para a degradação ambiental e elevando os custos de transporte.

O comércio local também sofre com os efeitos dos engarrafamentos, já que o fluxo de clientes é prejudicado e os custos de logística aumentam devido à lentidão no tráfego. Para os serviços de emergência, como ambulâncias e bombeiros, os congestionamentos representam um desafio adicional, dificultando o acesso rápido a áreas críticas e potencialmente colocando vidas em risco (Pereira *et al.*, 2021).

Assim, observa-se que o crescimento desordenado das cidades, o aumento da frota de veículos, a deficiência na infraestrutura viária e a falta de um transporte público eficiente são os principais fatores que contribuem para esse cenário. Para melhorar a mobilidade urbana no estado, é necessário um investimento significativo em planejamento urbano, infraestrutura de transporte e políticas públicas que incentivem o uso de alternativas ao automóvel particular. Somente assim será possível reduzir os engarrafamentos e melhorar a qualidade de vida nas cidades maranhenses.

2.4 Gerenciamento de tráfego urbano

O gerenciamento de tráfego urbano é uma tarefa complexa que envolve uma série de questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais. Essas questões estão interligadas e requerem abordagens integradas para serem eficazmente abordadas. Monteiro (2004) explica que do ponto de vista técnico, o gerenciamento de tráfego urbano enfrenta desafios significativos, especialmente em cidades que cresceram rapidamente sem o devido planejamento de infraestrutura.

Entre os principais problemas técnicos estão a falta de infraestrutura adequada, como vias mal projetadas, semáforos não sincronizados e falta de sinalização apropriada. Além disso, a integração de novas tecnologias, como sistemas de controle de tráfego em tempo real, exige uma infraestrutura tecnológica robusta, que nem sempre está disponível (Monteiro, 2004).

A implementação de sistemas de transporte inteligente (ITS), que utiliza sensores, câmeras e software avançado para monitorar e gerenciar o tráfego, requer investimentos em tecnologia e treinamento de profissionais qualificados para operar e manter esses sistemas. A complexidade técnica aumenta ainda mais quando se considera a necessidade de integrar diferentes modos de transporte, como carros, ônibus, bicicletas e pedestres, em um sistema de gerenciamento unificado (Silva, 2021).

O autor supramencionado, ainda enfatiza que as questões econômicas relacionadas ao gerenciamento de tráfego urbano são igualmente desafiadoras. A implementação de soluções eficazes de gestão de tráfego, como a construção de novas vias, a modernização de sistemas de controle de tráfego e a expansão do transporte público, exige investimentos significativos. A longo prazo, o congestionamento pode desincentivar o investimento em determinadas áreas da cidade, exacerbando as desigualdades econômicas e limitando o crescimento econômico regional.

Neste contexto, as questões sociais no gerenciamento de tráfego urbano estão relacionadas à equidade e à acessibilidade. Um dos principais desafios é garantir que todas as camadas da sociedade tenham acesso a transporte eficiente e acessível. Em muitas cidades, as áreas de baixa renda são frequentemente as mais afetadas por um transporte público ineficiente, o que limita o acesso dos residentes a empregos, educação e serviços de saúde.

Villaça (2011) menciona que o tempo excessivo gasto no trânsito pode ter um impacto negativo na qualidade de vida, aumentando o estresse, reduzindo o tempo disponível para atividades pessoais e sociais e afetando a saúde mental e física das pessoas. O gerenciamento de tráfego eficaz deve, portanto, considerar não apenas a eficiência do transporte, mas também a justiça social, garantindo que as soluções de mobilidade atendam às necessidades de todos os grupos sociais, incluindo os mais vulneráveis.

Além disso, o tráfego urbano é uma fonte importante de emissões de gases de efeito estufa, que contribuem para as mudanças climáticas (Stumpf, 2019). A gestão eficaz do tráfego pode, portanto, ter um impacto significativo na redução dessas emissões.

Portanto, compreende-se que o gerenciamento de tráfego urbano é um desafio multifacetado que exige uma abordagem integrada para abordar as questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais. A solução eficaz desses desafios requer não apenas

investimentos em infraestrutura e tecnologia, mas também um compromisso com a justiça social e a sustentabilidade ambiental.

À medida que as cidades continuam a crescer, o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis para o gerenciamento de tráfego será essencial para garantir a qualidade de vida urbana e promover o desenvolvimento econômico e ambientalmente sustentável. Somente com uma abordagem abrangente e equilibrada será possível criar sistemas de mobilidade urbana que atendam às necessidades de todos os cidadãos, promovendo cidades mais justas, eficientes e habitáveis.

2.5 Ferramentas de simulação de tráfego

As ferramentas de simulação de tráfego têm suas origens nos anos 1950 e 1960, quando os primeiros modelos matemáticos começaram a ser desenvolvidos para estudar o comportamento do tráfego rodoviário. Esses primeiros modelos eram bastante simplificados e limitados em termos de capacidade de processamento e precisão. Com o avanço da computação nas décadas seguintes, esses modelos evoluíram, permitindo simulações mais complexas e realistas.

Nos anos 1970 e 1980, surgiram os primeiros softwares dedicados à simulação de tráfego, como o TRANSYT (*TRAffic Network Study Tool*), que permitia a análise de redes de tráfego e a otimização dos tempos de semáforos. Na década de 1990, o avanço das tecnologias de informação e o aumento da capacidade computacional possibilitaram o desenvolvimento de ferramentas mais sofisticadas, como o VISSIM (*Verkehr In Städten – SIMulationsmodell*), um dos simuladores de tráfego mais utilizados no mundo (De Sousa *et al.*, 2017).

Com o tempo, essas ferramentas passaram a incorporar modelos microsimulados, que permitem a análise detalhada do comportamento individual de veículos e pedestres, além de incluir aspectos como a interação entre diferentes modos de transporte. Nos últimos anos, com o advento da inteligência artificial e da big data, as ferramentas de simulação de tráfego têm se tornado cada vez mais precisas e capazes de processar grandes volumes de dados em tempo real.

Desse modo, é interessante falar das vantagens das ferramentas de simulação de tráfego. Gora (2018) menciona que as ferramentas de simulação de tráfego oferecem diversas vantagens para o planejamento e gestão de sistemas de transporte, sendo amplamente utilizadas por engenheiros de tráfego, planejadores urbanos e pesquisadores.

A primeira vantagem é o planejamento e otimização do tráfego, onde as simulações permitem testar diferentes cenários de tráfego e avaliar o impacto de diversas intervenções,

como a construção de novas vias, a alteração de rotas de ônibus ou a implementação de sistemas de controle de tráfego. Isso ajuda a otimizar o fluxo de veículos e a reduzir congestionamentos antes de qualquer ação ser implementada no mundo real.

Outra vantagem segundo o autor é a análise de cenários e previsões, onde as ferramentas de simulação permitem a análise de cenários futuros, como o crescimento populacional e o aumento da frota de veículos. Isso possibilita que as autoridades planejem com antecedência e tomem decisões baseadas em previsões de tráfego, evitando problemas antes que eles ocorram.

Pendergrass (2018) acrescenta como mais uma vantagem a redução de custos e riscos. Os autores explicam que ao testar soluções de tráfego em um ambiente virtual, as ferramentas de simulação ajudam a evitar o desperdício de recursos e a minimizar riscos associados a intervenções mal planejadas. A simulação permite identificar problemas potenciais e ajustar as soluções propostas antes de sua implementação.

As simulações de tráfego também podem incluir a avaliação do impacto ambiental das diferentes soluções, como as emissões de gases poluentes e o consumo de combustível. Isso é essencial para o desenvolvimento de políticas de mobilidade mais sustentáveis e para a redução da pegada de carbono nas cidades.

Gora (2018), cita a vantagem de Capacitação e Treinamento, e explica:

Ferramentas de simulação são utilizadas para capacitar e treinar profissionais da área de transporte e tráfego, permitindo que eles pratiquem a gestão de diferentes situações de tráfego em um ambiente controlado. Isso contribui para a formação de profissionais mais preparados para lidar com os desafios do tráfego urbano (Gora, 2018, p. 60).

E, por fim como última vantagem, está no engajamento e participação pública: As simulações podem ser utilizadas para demonstrar aos cidadãos os benefícios de determinadas intervenções no tráfego, facilitando o engajamento público e a aceitação das mudanças propostas. Visualizações gráficas e animações baseadas em simulações ajudam a comunicar de forma clara e acessível as consequências das políticas de mobilidade.

Assim, compreende-se que as ferramentas de simulação de tráfego são instrumentos poderosos que permitem a análise detalhada e a otimização dos sistemas de transporte urbano, contribuindo para a criação de cidades mais eficientes, seguras e sustentáveis. Com a contínua evolução tecnológica, essas ferramentas se tornarão ainda mais precisas e indispensáveis para o planejamento e a gestão de tráfego nas cidades do futuro.

2.6 SUMO

SUMO, que significa *Simulation of Urban MObility*, é uma ferramenta de simulação de tráfego de código aberto amplamente utilizada para modelar o tráfego urbano e suburbano. Desenvolvida para permitir a simulação de redes viárias complexas e o comportamento de veículos, pedestres e outros modos de transporte, o SUMO é uma ferramenta poderosa para pesquisadores, planejadores urbanos e engenheiros de tráfego (Rodrigues, 2016).

Desde sua criação, em 2000, mas disponibilizada desde 2001, o SUMO se destacou pela flexibilidade e precisão, sendo amplamente utilizado por acadêmicos, governos e indústrias para analisar e melhorar a mobilidade urbana. O software permite a modelagem de sistemas complexos de tráfego, incluindo veículos, pedestres, transporte público e infraestrutura viária, oferecendo uma visão detalhada de como diferentes intervenções podem impactar o fluxo de tráfego (Krajzewicz *et al.*, 2016).

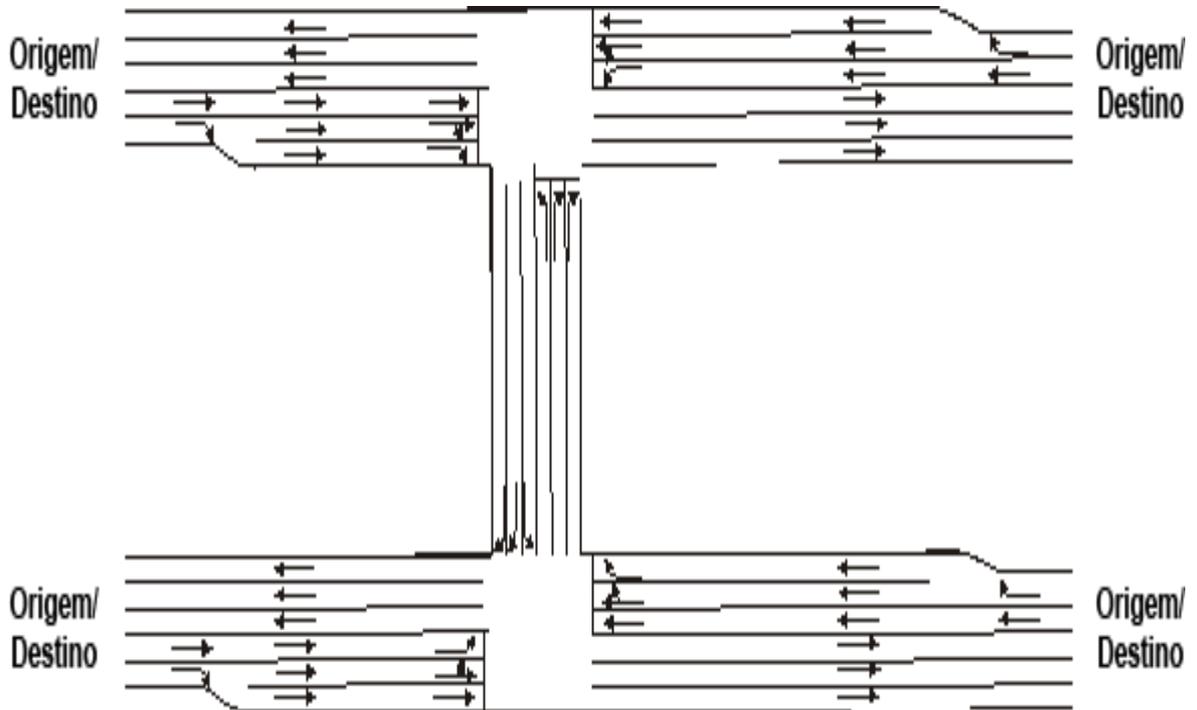
Destarte, o SUMO oferece uma série de funcionalidades, incluindo a capacidade de simular fluxos de tráfego em grande escala, modelar interações entre veículos e pedestres, e testar diferentes cenários de mobilidade. Ele permite a integração de dados em tempo real, a avaliação de estratégias de gestão de tráfego e a simulação de políticas de mobilidade, como a introdução de veículos autônomos ou a implementação de sistemas de transporte inteligente (ITS). Por ser de código aberto, o SUMO é altamente personalizável, permitindo que os usuários adaptem o software às suas necessidades específicas e contribuam para o desenvolvimento contínuo da ferramenta (Krajzewicz *et al.*, 2012).

Uma das grandes vantagens do SUMO é sua capacidade de simular grandes redes viárias com alto nível de detalhe, permitindo que os usuários representem realisticamente o comportamento dos veículos e as interações entre eles. A ferramenta permite a simulação de diversos tipos de veículos, desde carros e caminhões até bicicletas e pedestres, com comportamentos individuais, como aceleração, frenagem e mudanças de faixa. Além disso, o SUMO é altamente parametrizável, permitindo a integração de diferentes tipos de sensores, semáforos e regras de trânsito, adaptando-se a diferentes realidades urbanas (Corrêa, 2019)

Dessa forma, como dados de entrada para a simulação, são necessárias rotas (*routes*) e uma rede (*network*), o ambiente no qual a simulação ocorre, descrito em um arquivo XML. A rede consiste em nós (*nodes* ou cruzamentos), vias (*edges*), tipos (*types*), tanto de vias como de veículo e conexões (*connections*) entre pistas. Conforme mostrado no exemplo da Figura 02, os nós, definem os possíveis pontos de partida e/ou destino de uma rota. Essas rotas são formadas por ruas que podem ter uma ou mais faixas. A interseção de duas ou mais ruas é

regulada por cruzamentos. As setas indicam a direção autorizada do tráfego nas ruas, bem como possíveis mudanças ou trocas de faixa (Rodrigues, 2016).

Figura 02 – Exemplo de nós, vias e conexões



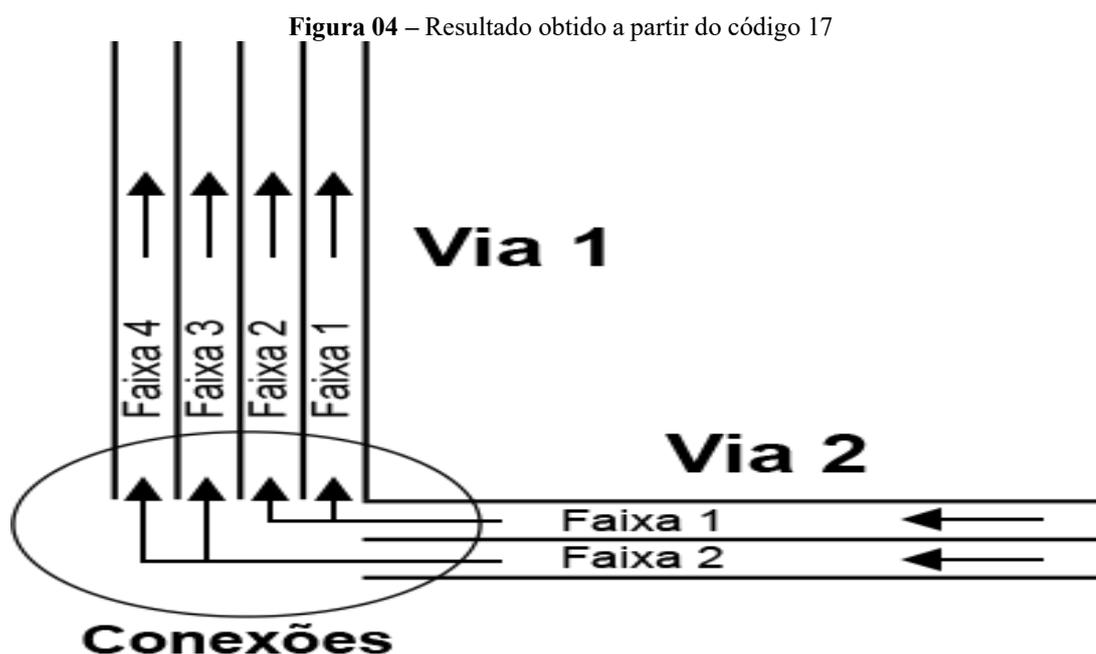
Fonte: Adaptado de SUMO Wiki.

A figura 03, mostra a criação de nós, tipos, caminhos e conexões. Um nó é formado por coordenadas cartesianas. As pistas têm um nó de origem e um nó de destino e também podem ser classificadas em tipos. Os tipos definem o número de pistas, o limite de velocidade e a prioridade da pista. As conexões definem as possíveis mudanças entre as pistas. Para defini-las, os pontos inicial e final de uma via devem ser inseridos. O resultado é mostrado na Figura 04.

Figura 03 - Exemplo de criação de nós, tipos, vias e conexões

```
<nodes>
  <node id="1" x="100.0" y="50.0" />
  <node id="2" x="100.0" y="150.0" />
  <node id="3" x="200.0" y="50.0" />
</nodes>
<types>
  <type="a" priority="3" numLanes="4" speed="70" />
  <type="b" priority="2" numLanes="2" speed="40" />
</types>
<edges>
  <edge id="via1" from="1" to="2" type="a" />
  <edge id="via2" from="3" to="1" type="b" />
</edges>
<connections>
  <connection from="via2" to="via1" fromLane="1" toLane="1" />
  <connection from="via2" to="via1" fromLane="1" toLane="2" />
  <connection from="via2" to="via1" fromLane="2" toLane="3" />
  <connection from="via2" to="via1" fromLane="2" toLane="4" />
</connections>
```

Fonte: Stumpf (2019).



O roteamento inclui a criação das características físicas dos veículos, as rotas que eles podem seguir e a criação do próprio veículo. A primeira parte define os diferentes tipos de veículos que podem ser usados no modelo, como carros e ônibus. Esses tipos podem ser especificados por aceleração (*accel*), desaceleração (*decel*), comprimento (*length*), velocidade máxima (*maxSpeed*), imperfeição de controle do veículo (*sigma*), que varia de 0 a 1, e cor (*color*). Os tipos podem ser usados para definir diferentes modelos de veículos ou pistas. Todos os atributos relacionados à velocidade do veículo são calculados em metros por segundo (m/s) (Krajzewicz *et al.*, 2016).

A Figura 05, mostra os atributos necessários para criar rotas, onde é necessário inserir a sequência de estradas que compõem a rota (*edges*). Também, uma rota pode incluir uma parada, que é determinada pela pista em que o veículo será estacionado e em até que tempo será estacionado (*until*). O atributo *parking* de estacionamento determina se o veículo será estacionado no centro da pista ou em sua lateral (Krajzewicz *et al.*, 2016).

Assim, os veículos podem ser criados individualmente ou como parte de um fluxo de veículos. Os veículos individuais consistem em um tipo (*type*), a rota que seguirão (*route*), uma hora de início (*start*) e uma cor específica (*color*). Um fluxo de carros deve conter a hora de início do fluxo (*begin*), o intervalo no qual os carros são inseridos no ambiente (*period*), o número de carros (*number*), a rota à qual o fluxo pertence (*route*) e a posição na qual os carros são inseridos na rota (*departPos*). (Krajzewicz *et al.*, 2016).

Figura 05 - Código 18, Exemplo de criação de rotas

```

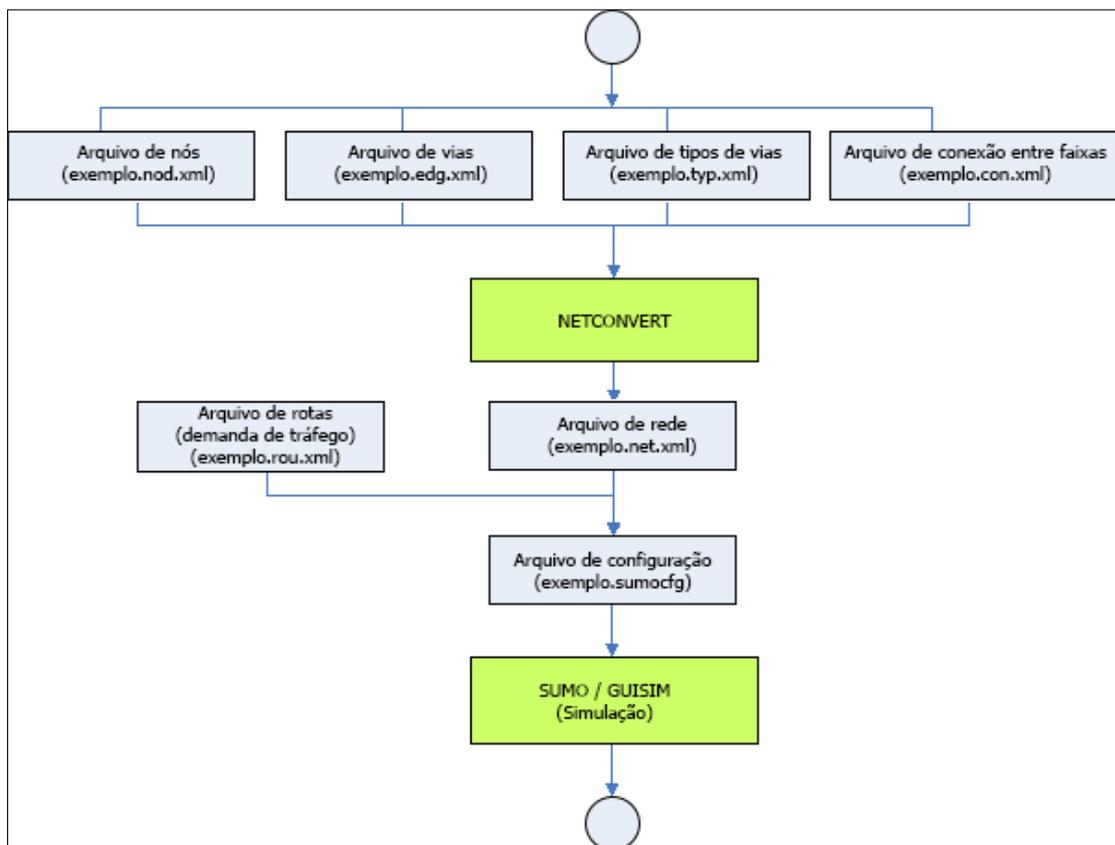
<routes>
  <vType id="type1" accel="0.8" decel="4.5" sigma="0.5" length="5" maxSpeed="70" color="1,1,0" />
  <route id="route0" edges="inicio meio fim" />
  <route id="route0_estacionamento" edges="inicio meio fim">
    <stop lane="meio_0" until="100" parking="false"/>
  </route>
  <vehicle id="0" type="type1" route="route0" depart="0" color="1,0,0" />
  <flow begin="0" departPos="free" id="carRight" period="1" number="70" route="routeRight" type="car" />
</routes>

```

Fonte: Adaptado de SUMO Wiki

O SUMO tem uma ferramenta chamada NETEDIT que é usada para converter arquivos contendo, nós, rotas, tipos e conexões em uma rede pronta para receber fluxos de carros. A partir dos arquivos de rede e rota, um arquivo de configuração é criado e usado como um arquivo de origem, conforme mostrado na Figura 06.

Figura 06– Arquivos de entradas necessários para o SUMO



Fonte: Adaptado de SUMO wiki

Assim, para tornar essa modelagem mais precisa, o utilitário NETEDIT permite a conversão de redes de outras ferramentas de modelagem, bem como do *OpenStreetMaps* (OSM), um projeto de código aberto que visa criar um mapa global completo usando colaboradores de todo o mundo.

2.7 Aplicações do SUMO em Estudos de Tráfego

O SUMO tem sido utilizado em diversos estudos ao redor do mundo para modelar e simular cenários de tráfego em áreas urbanas. A literatura revela que a ferramenta é eficaz na avaliação de políticas de mobilidade, na análise de impactos ambientais e na otimização de sistemas de transporte. A flexibilidade e a precisão do SUMO o tornam ideal para estudos que envolvem o planejamento de infraestruturas viárias e a gestão de tráfego urbano (Portugal, 2005).

Para tanto, uma das principais aplicações do SUMO em estudos de tráfego é no planejamento urbano e na análise de infraestrutura viária. Antes de implementar grandes intervenções, como a construção de novas vias, rotatórias, pontes ou viadutos, é fundamental prever como essas mudanças impactarão o fluxo de tráfego.

O SUMO permite que engenheiros e planejadores urbanos modelem diferentes cenários e avaliem os possíveis efeitos de novas infraestruturas. Por exemplo, ao simular a introdução de uma nova faixa exclusiva para ônibus ou a ampliação de uma via arterial, o SUMO pode prever se essas intervenções aliviarão ou agravarão os congestionamentos em determinadas áreas. Essa capacidade de prever os impactos antes da implementação física das obras ajuda a otimizar o uso de recursos e a minimizar transtornos para a população (Rothery *et al.*, 2018).

A ferramenta em estudo, também é amplamente utilizada na análise e na avaliação de políticas públicas de mobilidade. Políticas como a implementação de pedágios urbanos, restrições de circulação de veículos em determinadas áreas, ou a introdução de zonas de baixa emissão podem ser simuladas para prever seu impacto no comportamento dos motoristas e no fluxo de tráfego.

Por exemplo, ao simular um cenário onde é imposto um pedágio em uma área central da cidade, o SUMO pode indicar como os motoristas reagiriam, se optariam por rotas alternativas, mudariam o horário de seus deslocamentos, ou mesmo passariam a utilizar mais o transporte público. Essa análise ajuda os gestores a compreenderem os possíveis resultados dessas políticas e a tomar decisões mais embasadas, com o objetivo de melhorar a fluidez do trânsito e reduzir os impactos ambientais (Rothery *et al.*, 2018, p. 140).

Observa-se que a ferramenta SUMO é extremamente útil na otimização dos sistemas de transporte público. Ao simular a circulação de ônibus, trens urbanos e metrô, é possível identificar pontos críticos, como rotas com excesso de demanda, horários de pico mal distribuídos, ou mesmo a necessidade de novas linhas ou alterações nas existentes.

Com essas simulações, os gestores de transporte podem ajustar rotas, horários e frequências de maneira mais eficiente, atendendo melhor às necessidades da população. Além

disso, ao integrar a simulação do transporte público com o tráfego viário, o SUMO permite avaliar como o transporte coletivo interage com o tráfego de veículos particulares, possibilitando uma gestão mais integrada e eficiente da mobilidade urbana.

3.1 Coleta de dados

Visando encontrar uma solução por meio do uso da ferramenta de simulação SUMO, foram coletados dados sobre o tráfego no cruzamento, incluindo contagem de veículos, tipos de veículos e tempos de espera. Utilizou-se a técnica de videomonitoramento (Figura 8) durante uma hora de gravação no horário das 10h nos cruzamentos para obtenção de dados.

Figura 08 – Contagens de veículos através de vídeo monitoramento



Fonte: Autoria própria (2024).

Desse modo, esses dados foram utilizados para criar um modelo detalhado da área de estudo no SUMO.

3.1.1 Ferramentas utilizadas para simulação dos casos

Para o desenvolvimento da micro simulação, foram utilizados os seguintes programas:

NetEdit: é o programa utilizado para editar os parâmetros geométricos e de fluxo das vias.

Sumo-Gui: é o programa utilizado para realizar a simulação dos arquivos desenvolvidos no NetEdit através de uma interface gráfica do usuário.

Google Eath: Programa utilizado para captar uma imagem em escala do local estudado para implementação das vias locais.

de tráfego e planejadores urbanos avaliem a eficiência e a segurança do fluxo de veículos em diferentes cenários urbanos.

3.3 Tratamento dos Dados

A definição de uma network inicia com a especificação de pontos (nós ou vértices) que serão ligados, conectando-se. Para isso foi necessário especificar um arquivo no formato XML esperado do SUMO. Os arquivos do SUMO são escritos utilizando a linguagem XML, que é a linguagem padrão da ferramenta.

Com a criação da geometria, o próximo passo foi introduzir os dados coletados com o estudo de campo. Primeiramente criou-se o arquivo em formato XML que determina o fluxo dos veículos dentro da simulação, cada linha de código representa um fluxo (Figura10) e contém informações como quantidade de veículo, tipo de veículo, direcionamento e uma cor específica na paleta de cores RGB para diferenciação visual de cada movimento.

No “Fluxo7” por exemplo, o veículo é um carro identificado na cor “255,000,102” com direção da faixa “-E1” para a faixa “E9”, com um volume de 60 veículos por hora.

Figura 10 – Arquivo de Fluxos e volume de veículos por hora

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<routes>

  <vType id="Carro" length="5.0" minGap="1.0" />
  <vType id="onibus" vClass="bus" />

  <flow id="Fluxo1" color="102,255,51" begin="0" end="1000" vehsPerHour="400" type="Carro" departLane = "best" from="-E12" to="E7" />
  <flow id="Fluxo2" color="102,255,51" begin="0" end="1000" vehsPerHour="350" type="Carro" departLane = "best" from="-E7" to="E12" />
  <flow id="Fluxo3" color="102,000,51" begin="0" end="1000" vehsPerHour="100" type="onibus" departLane = "best" from="E0" to="E9" />
  <flow id="Fluxo4" color="255,000,000" begin="0" end="1000" vehsPerHour="550" type="Carro" departLane = "best" from="-E0" to="E9" />
  <flow id="Fluxo5" color="255,255,000" begin="0" end="1000" vehsPerHour="600" type="Carro" departLane = "best" from="-E9" to="-E0" />
  <flow id="Fluxo6" color="000,000,255" begin="0" end="1000" vehsPerHour="15" type="Carro" departLane = "best" from="-E6" to="E12" />
  <flow id="Fluxo7" color="255,000,102" begin="0" end="1000" vehsPerHour="60" type="Carro" departLane = "best" from="-E1" to="E9" />
  <flow id="Fluxo8" color="255,204,0" begin="0" end="1000" vehsPerHour="30" type="Carro" departLane = "best" from="-E4" to="E12" />
  <flow id="Fluxo9" color="255,204,0" begin="0" end="1000" vehsPerHour="15" type="Carro" departLane = "best" from="-E8" to="E12" />
  <flow id="Fluxo10" color="255,204,0" begin="0" end="1000" vehsPerHour="35" type="Carro" departLane = "best" from="-E11" to="E7" />
  <flow id="Fluxo11" color="000,000,255" begin="0" end="1000" vehsPerHour="5" type="Carro" departLane = "best" from="-E6" to="E8" />

</routes>

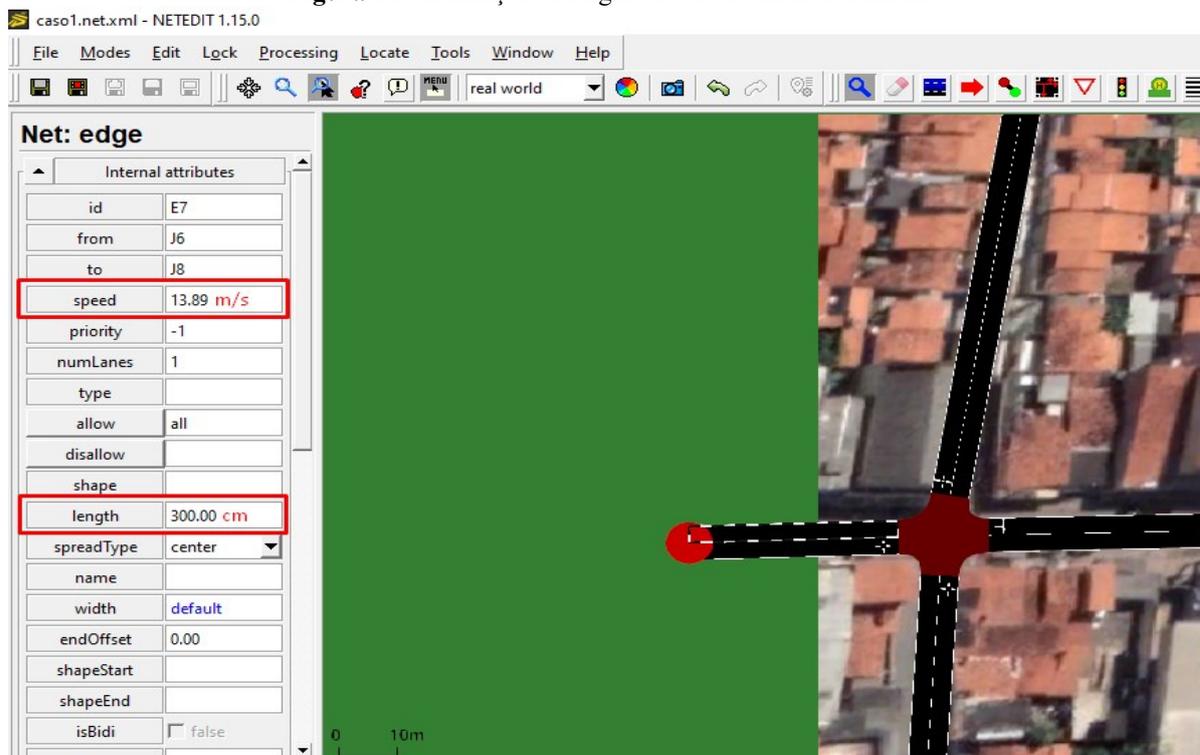
```

Fonte: Autoria própria (2024).

No código de fluxos foram acrescentados apenas dois tipos de veículos, carro e ônibus. Por associação, motocicletas, caminhonetes e vans foram contadas como carros. E caminhões, caçambas e veículos acima de 3 eixos, contados como ônibus.

Logo após a implementação de contagem e fluxos, foi inserido no ‘NetEdit’ as informações de largura de via conforme a Figura 11. No trecho “E7” a largura de via é 3,00 m, e 50km/h fazendo a conversão de m/s.

Figura 11 – Definição da largura de via e velocidade média



Fonte: Autoria própria (2024).

Após essa etapa já foi possível observar condições de fazer a simulação. Inicialmente optou-se por fazer estudo de caso simulando as propostas e analisando os resultados.

3.4 Simulação dos Casos

Nessa etapa foi definida três casos que foram processados e analisados para verificação do melhor custo benefício. As propostas foram analisadas conforme os parâmetros; tempo de espera (*departDelay*), velocidade média (*arrivalSpeed*) e tempo de viagem (*duration*).

O tempo de espera, refere-se ao intervalo de tempo em que um veículo permanece parado antes de iniciar seu deslocamento, seja devido a semáforos, congestionamentos ou outros fatores que impeçam o movimento imediato. Esse parâmetro é essencial para avaliar a fluidez do trânsito em um determinado ponto, indicando os gargalos e a necessidade de melhorias na infraestrutura ou nos sistemas de controle de tráfego. Altos tempos de espera podem sinalizar ineficiências no fluxo de veículos e aumentam a insatisfação dos motoristas, além de contribuir para o consumo excessivo de combustível e a poluição (Vallim, 2023).

Sobre a velocidade média (*arrivalSpeed*), Vallim (2023) explica que esta é a velocidade com a qual o veículo chega ao seu destino ou ponto de parada final, considerando todas as variações de aceleração e desaceleração ao longo do percurso. Esse dado é crucial para entender o desempenho dos veículos em termos de rapidez e eficiência no trânsito. Souza *et al.*, (2017) cita como exemplo que em um cenário urbano, onde os veículos constantemente param e reiniciam o movimento, a velocidade média pode ser um indicador das condições gerais de trânsito. Velocidades médias mais baixas geralmente estão associadas a congestionamentos, interseções mal planejadas ou alta densidade de tráfego.

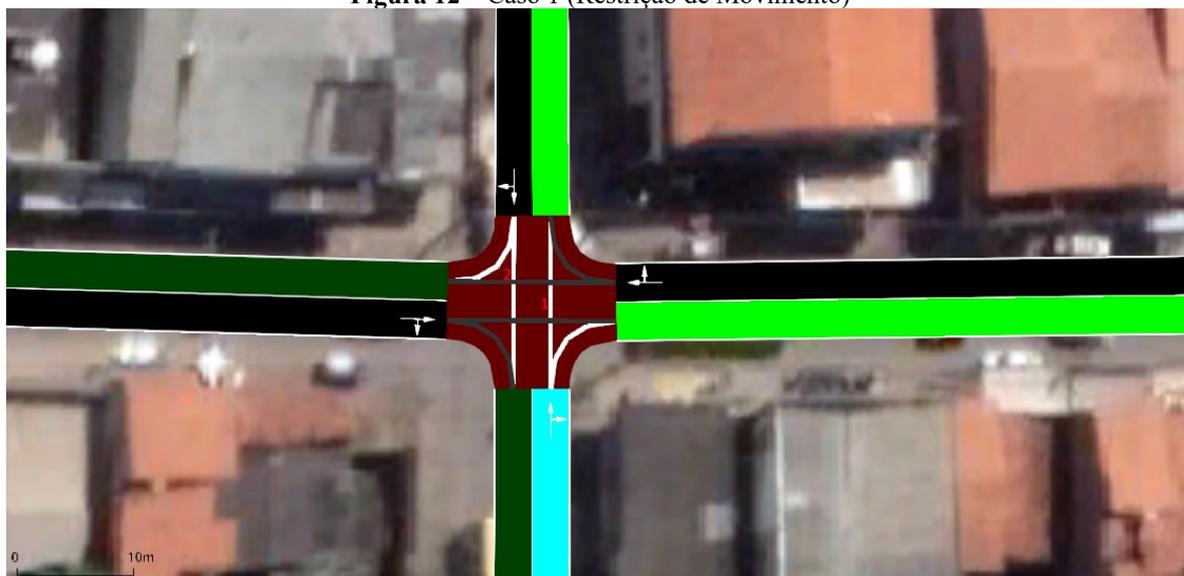
Já o tempo de viagem representa o total de tempo gasto pelo veículo para percorrer um determinado trajeto, desde a partida até o destino final. Esse parâmetro é influenciado por diversos fatores, como a distância percorrida, o número de paradas, a densidade de veículos nas vias e a presença de obstáculos ou interferências no trânsito. O tempo de viagem é uma métrica crucial na análise da mobilidade urbana, pois impacta diretamente na experiência dos usuários e na eficiência do sistema de transporte. Reduzir o tempo de viagem sem comprometer a segurança é um dos principais objetivos das políticas de gerenciamento de tráfego (Vallim, 2023; Souza *et al.*,2017).

As variáveis são fundamentais para definição de redução de tempo de percurso, logo a que apresentar os melhores resultados em termo de economia de tempo, será eleita como a proposta mais viável para resolução do problema no cruzamento da avenida Brasil com a avenida Tancredo neves.

Caso 1: restrição de Movimento

Primeiramente foi utilizado a solução mais simples e barata de implementação que é a restrição do movimento. Logo, todo movimento de conversão a esquerda será restringido, evitando dois pontos de conflitos como mostra a Figura 12, sendo permitido apenas seguir em frente na via e conversões a direita.

Figura 12 – Caso 1 (Restrição de Movimento)



Fonte: Autoria própria (2024).

Caso 2: Adição de semáforo

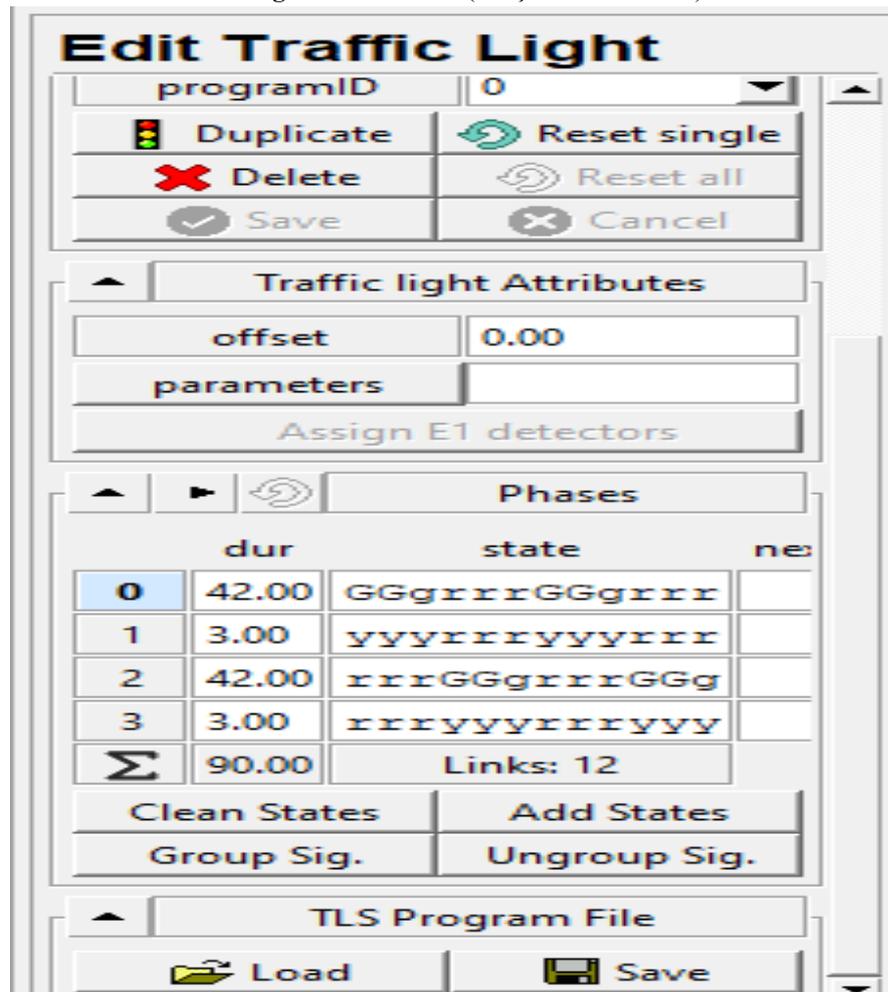
Os tempos padrões que o SUMO utiliza para os semáforos 42 segundos de verde, 3 segundos de amarelo e 42 segundos de vermelho, são apenas valores genéricos que servem como um ponto de partida na ausência de parâmetros mais detalhados fornecidos pelo usuário. Esses valores padrão foram definidos pelos desenvolvedores do SUMO com base em suposições comuns para o comportamento de tráfego urbano.

Na maioria das cidades, os tempos de ciclo de semáforo são definidos de acordo com o volume de tráfego, a geometria da interseção e as prioridades locais. Como o SUMO é um simulador generalista, ele precisa de valores padrão que funcionem em uma ampla variedade de cenários sem ajustes manuais.

Então o segundo caso foi adicionado um semáforo com o tempo de verde de 42 segundos, tempo de amarelo de 3 segundos e tempo de vermelho de 42 segundos conforme a Figura 13.

Um ciclo padrão de 42 segundos de verde e 42 segundos de vermelho distribui o tempo de forma balanceada entre duas direções de tráfego. Isso pressupõe que o volume de tráfego nas duas direções seja aproximadamente igual, o que nem sempre é o caso, mas funciona como um ponto de partida razoável.

Figura 13 – Caso 2 (Adição de Semáforo)



Fonte: Autoria própria (2024).

Caso 3: Alteração no tempo de vermelho e verde

No terceiro caso, foi utilizado o mesmo exemplo do caso dois e, modificado o tempo do sinal para 30 segundos de tempo de verde, 3 segundos para tempo de amarelo e 30 segundos para tempo de vermelho conforme a Figura 14.

Figura 14 – Caso 3 (Redução no tempo de vermelho e verde)

Edit Traffic Light

type: static

Join Disjoin

Traffic Light Programs

programID: 0

Duplicate Reset single

Delete Reset all

Save Cancel

Traffic light Attributes

offset: 0.00

parameters

Assign E1 detectors

Expand Phases

	dur	state	nes
0	30.00	GGgrrrrGGgrrrr	
1	3.00	yyyrrrryyyrrrr	
2	30.00	rrrGGgrrrrGGg	
3	3.00	rrryyyyrrryyyy	
Σ	66.00	Links: 12	

Clean States Add States

Fonte: Autoria própria (2024).

O objetivo foi verificar se houve alteração no tempo de espera e tempo de percurso com a redução dos tempos semaforicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caso 1: Restrição de Movimento

Na simulação de tráfego com o SUMO, a restrição de movimento refere-se às limitações impostas aos veículos durante seu deslocamento nas vias simuladas, de acordo com as condições da infraestrutura viária e as regras de trânsito. Essas restrições podem ser configuradas para refletir cenários realistas de trânsito urbano, onde certos movimentos não são permitidos, como conversões proibidas, fechamento de vias, bloqueios temporários ou permanentes, e a presença de barreiras físicas, como canteiros ou divisórias (Villaça, 2011).

Ainda segundo os autores ora mencionados, a restrição de movimento pode incluir a gestão de semáforos, faixas exclusivas para determinados tipos de veículos, como ônibus e ciclistas, e a aplicação de regras específicas de prioridade em cruzamentos e interseções. No SUMO, essas limitações são essenciais para garantir que a simulação reflita fielmente as condições do tráfego real, permitindo análises mais precisas e o desenvolvimento de soluções para problemas de mobilidade, como congestionamentos e acidentes.

Diante disso, no primeiro caso, ao rodar a simulação, observou-se um congestionamento visível na Avenida Quatro e Avenida Isabel Cafeteira ilustrada na Figura 15.

Observa-se na imagem, que as cores dos veículos da imagem referem-se a um tipo de veículo e fluxo específico como foi descrito na figura 10.

Figura 15 – Simulação do Caso 1 (Restrição de movimento)



Fonte: Autoria própria (2024).

A restrição de movimento para conversão a esquerda fez com que os veículos evitassem dois pontos de conflitos observados na Figura 15. Porém, o problema do trânsito intenso e engarrafamento ainda é notório.

Desse modo, na planilha 1, apresenta-se os resultados do sumo referentes ao caso 1. Teve-se então o tempo em que o veículo permaneceu parado cerca de 0,41 segundos, a velocidade média de 13,38 m/s e tempo que ele realizou o percurso que é de aproximadamente 66 segundos.

Figura 16 – Resultado da simulação do caso 1

id	depar	deparLan	deparPos	deparSpee	deparDelay	arriva	arrivaLane	arrivaPos	arrivaSpeed	duration	routeLen
387	Fluxo1.17	153 -E12_0		5,1	0	0	953 E7_0	35,4	10,98		800
388	Fluxo5.156	936 -E9_0		5,1	0	0	953 -E0_0	18,36	15,02		17
389	Fluxo3.26	936 E0_0		12,1	0	0	958 E9_0	85,34	13,63		22
390	Fluxo4.143	940 E0_0		5,1	0	4,07	960 E9_0	85,34	14,15		20
391	Fluxo5.157	942 -E9_0		5,1	0	0	961 -E0_0	18,36	13,19		19
392	Fluxo4.144	943 E0_0		5,1	0	0,52	963 E9_0	85,34	11,75		20
393	Fluxo5.158	948 -E9_0		5,1	0	0	967 -E0_0	18,36	13		19
394	Fluxo4.145	950 E0_0		5,1	0	0,98	969 E9_0	85,34	12,81		19
395	Fluxo5.159	954 -E9_0		5,1	0	0	974 -E0_0	18,36	12,55		20
396	Fluxo4.146	956 E0_0		5,1	0	0,43	976 E9_0	85,34	12,7		20
397	Fluxo5.160	960 -E9_0		5,1	0	0	979 -E0_0	18,36	12,98		19
398	Fluxo4.147	963 E0_0		5,1	0	0,89	983 E9_0	85,34	12,49		20
399	Fluxo5.161	966 -E9_0		5,1	0	0	986 -E0_0	18,36	12,68		20
400	Fluxo4.148	969 E0_0		5,1	0	0,34	989 E9_0	85,34	13,06		20
401	Fluxo2.17	175 -E7_0		5,1	0	0,14	990 E12_0	58,78	12		815
402	Fluxo5.162	972 -E9_0		5,1	0	0	991 -E0_0	18,36	13,49		19
403	Fluxo3.27	973 E0_0		12,1	0	1	995 E9_0	85,34	13,69		22
404	Fluxo5.163	978 -E9_0		5,1	0	0	998 -E0_0	18,36	12,76		20
405	Fluxo4.149	977 E0_0		5,1	0	1,8	999 E9_0	85,34	10,87		22
					0,416782178				13,38834158	65,68811881	
406											
407											
408											

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com o levantamento de dados obtido na contagem de veículos, o tempo de viagem médio era de aproximadamente 110 segundos para completar o percurso, logo houve um ganho significativo ao adotar a restrição de movimento.

Nos resultados de um estudo de caso realizado por Pereira (2021), sobre a redução de congestionamento em uma via, após a implementação de algumas restrições de movimento, a simulação no SUMO mostrou uma redução significativa nos tempos de espera e na formação de filas na interseção. O fluxo de veículos foi otimizado, com uma queda de 30% no tempo total de viagem para os motoristas que passavam pelo cruzamento. Além disso, o número de conflitos entre veículos e pedestres foi reduzido, aumentando a segurança.

Dessa forma, ao observar um ganho significativo de eficiência no fluxo de tráfego após a adoção da restrição de movimento com o programa SUMO, é possível inferir que essa estratégia foi interessante na redução do congestionamento e na melhoria da mobilidade urbana tanto do caso 1, quanto ao estudo de caso de Pereira (2021). A otimização do tempo de viagem dos usuários, a redução do estresse causado pelo trânsito lento e a minimização do impacto

ambiental são alguns dos benefícios que podem ser alcançados por meio da adoção de medidas de restrição de movimento no gerenciamento do tráfego urbano.

Portanto, a utilização da restrição de movimento com o programa SUMO pode ser uma ferramenta valiosa para a gestão do tráfego e a tomada de decisões estratégicas no planejamento urbano, contribuindo para a promoção da mobilidade sustentável, a redução de congestionamentos e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos que utilizam as vias públicas. Esse resultado positivo reforça a importância da aplicação de tecnologias e estratégias inovadoras no gerenciamento do tráfego e na busca por soluções mais eficientes e sustentáveis para os desafios da mobilidade urbana.

Caso 2: Adição de Semáforo

Na simulação de tráfego com o SUMO, a adição de semáforos com tempo padrão segue um processo relativamente simples, mas essencial para garantir um fluxo de veículos adequado em interseções. Tang (2023) menciona que o SUMO utiliza um modelo de semáforos predefinido com tempos de ciclo básicos, que podem ser configurados manualmente ou gerados automaticamente pelo próprio programa, dependendo do cenário e das necessidades do tráfego.

O programa também permite a criação de planos de semáforos dinâmicos, que respondem a condições variáveis de tráfego, ajustando os tempos de cada fase conforme a demanda. Isso é útil em simulações mais detalhadas, onde os padrões de fluxo de veículos mudam ao longo do tempo ou onde há necessidade de minimizar o tempo de espera em interseções congestionadas.

Assim, no caso 2, observou-se uma pequena melhora no congestionamento na Avenida Quatro e Avenida Isabel Cafeteira ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Simulação do Caso 2 (Adição de Semáforo com tempo padrão do programa)



Autoria própria (2024).

Com a adição do semáforo obtivemos os seguintes resultados: um tempo de parada de 0,66 segundos (Figura 18), maior do que o caso 1 o que já era esperado nesta proposta devido ao tempo semaforico, uma velocidade média de 13,33 m/s e um menor tempo de percurso que sai de mais de um minuto para 46 segundos.

Figura 18 – Resultado da simulação 2

id	depar	departLan	departPo	departSpee	departDelay	arrival	arrivalLan	arrivalPos	arrivalSpeed	duration	rou
551	Fluxo4.142	930 -E0_0	5,1	0	0,61	949 E9_0	85,54	12,71	19		
552	Fluxo5.155	930 -E9_0	5,1	0	0	952 -E0_0	18,56	10,87	22		
553	Fluxo1.98	882 -E12_0	5,1	0	0	960 E7_0	35,4	13,56	78		
554	Fluxo2.86	885 -E7_0	5,1	0	0,4	962 E12_0	58,78	13,36	77		
555	Fluxo1.99	891 -E12_0	5,1	0	0	962 E7_0	35,4	14,67	71		
556	Fluxo1.100	900 -E12_0	5,1	0	0	964 E7_0	35,4	13,95	64		
557	Fluxo2.87	895 -E7_0	5,1	0	0,12	965 E12_0	58,78	11,59	70		
558	Fluxo1.101	909 -E12_0	5,1	0	0	966 E7_0	35,4	13,1	57		
559	Fluxo2.88	906 -E7_0	5,1	0	0,83	967 E12_0	58,78	10,96	61		
560	Fluxo1.102	918 -E12_0	5,1	0	0	968 E7_0	35,4	13	50		
561	Fluxo2.89	916 -E7_0	5,1	0	0,55	969 E12_0	58,78	14,06	53		
562	Fluxo2.90	926 -E7_0	5,1	0	0,26	970 E12_0	58,78	13,54	44		
563	Fluxo1.103	927 -E12_0	5,1	0	0	971 E7_0	35,4	11,43	44		
564	Fluxo2.91	937 -E7_0	5,1	0	0,97	972 E12_0	58,78	14,52	35		
565	Fluxo10.9	926 -E11_0	5,1	0	0,29	973 E7_0	35,4	14,02	47		
566	Fluxo1.104	936 -E12_0	5,1	0	0	975 E7_0	35,4	12,77	39		
567	Fluxo2.92	947 -E7_0	5,1	0	0,69	975 E12_0	58,78	14,27	28		
568	Fluxo1.105	945 -E12_0	5,1	0	0	976 E7_0	35,4	13,38	31		
569	Fluxo1.106	954 -E12_0	5,1	0	0	980 E7_0	35,4	15,65	26		
570	Fluxo2.93	957 -E7_0	5,1	0	0,4	990 E12_0	58,78	12,3	33		
571	Fluxo1.107	963 -E12_0	5,1	0	0	993 E7_0	35,4	12,52	30		
572	Fluxo2.94	967 -E7_0	5,1	0	0,12	994 E12_0	58,78	14,46	27		
					0,664483363			13,33411559	45,39404553		
573											
574											

Autoria própria (2024).

Logo pode-se afirmar que a adição do semáforo neste cruzamento apresenta-se como uma melhor solução do que a restrição de movimentos do caso 1, pois de modo geral, foram 20 segundos de tempo médio de viagem a menos.

Neste contexto, no estudo de caso realizado por Tang (2023), em uma cidade urbana, foi identificada uma interseção crítica que frequentemente apresentava congestionamentos e dificuldades de circulação. Diante dessa situação, decidiu-se pela implementação de semáforos na interseção, visando regular o fluxo de veículos, minimizar os conflitos e otimizar a segurança e eficiência do tráfego.

Os resultados mostraram que a adição estratégica de semáforos na interseção crítica proporcionou uma significativa redução do congestionamento, uma melhor organização do fluxo de veículos e uma diminuição dos tempos de espera. Os resultados da simulação permitiram avaliar o impacto positivo da intervenção dos semáforos na eficiência do tráfego e na qualidade da circulação na interseção.

Assim, sabendo que o tempo semafórico implementado no caso 2, é o tempo padrão definido pelo programa SUMO-gui, implementou-se um outro caso com o tempo semafórico reduzido para analisar se poderia haver melhorias com a modificação.

Caso 3: Alteração nos tempos de vermelho e verde

No SUMO, a alteração nos tempos de vermelho e verde dos semáforos pode ser realizada de maneira flexível para adaptar a simulação às condições específicas do tráfego. Esses ajustes são fundamentais para otimizar o fluxo de veículos nas interseções, reduzir o tempo de espera e minimizar congestionamentos (Sabeti *et al.*, 2020).

O caso 3, é visto como uma melhoria do tempo de programação semafórica do caso 2, pode-se observar na (Figura 14) que o tempo de verde passa a ser 30 segundos, o tempo de amarelo permanece os 3 segundos e o tempo de vermelho com 30 segundos.

Na simulação do caso 3 (Figura 19), pouco se observa a diferença com o caso 2, visualmente aparenta ser ligeiramente mais fluido devido à redução de tempo na programação semafórica.

Figura 19 – Simulação do Caso 3 (Alteração nos tempos de vermelho e verde)



Autoria própria (2024).

Para tanto, os resultados obtidos na simulação 3 (Figura 20) foram positivos, houve uma redução no tempo de espera para 0,37 segundos, a velocidade média passou a ser 13,31 m/s com pouca variação, e o tempo de percurso reduziu para 41 segundos, uma redução de 5 segundos no tempo médio de duração.

Figura 20 – Resultado da simulação do caso 3

id	depar	departLan	departPo	departSpee	departDelay	arriva	arrivalLane	arrivalPos	arrivalSpeed	duration	route
557	Fluxo5.155	930 -E9_0	5,1	0	0	952 -E0_0	18,56	11,66	22		
558	Fluxo5.156	936 -E9_0	5,1	0	0	953 -E0_0	18,56	14,83	17		
559	Fluxo4.142	930 E0_0	5,1	0	0,61	955 E9_0	85,54	12,75	25		
560	Fluxo3.26	936 E0_0	12,1	0	0	958 E9_0	85,54	13,41	22		
561	Fluxo4.143	940 E0_0	5,1	0	4,07	960 E9_0	85,54	15,21	20		
562	Fluxo5.157	942 -E9_0	5,1	0	0	961 -E0_0	18,56	13,09	19		
563	Fluxo1.101	909 -E12_0	5,1	0	0	972 E7_0	35,4	12,36	63		
564	Fluxo1.102	918 -E12_0	5,1	0	0	974 E7_0	35,4	12,64	56		
565	Fluxo2.88	906 -E7_0	5,1	0	0,83	976 E12_0	58,78	10,75	70		
566	Fluxo2.89	916 -E7_0	5,1	0	0,55	977 E12_0	58,78	12,32	61		
567	Fluxo1.103	927 -E12_0	5,1	0	0	977 E7_0	35,4	10,91	50		
568	Fluxo10.9	926 -E11_0	5,1	0	0,29	978 E7_0	35,4	13,03	52		
569	Fluxo2.90	926 -E7_0	5,1	0	0,26	979 E12_0	58,78	14,33	53		
570	Fluxo1.104	936 -E12_0	5,1	0	0	980 E7_0	35,4	12,44	44		
571	Fluxo2.91	937 -E7_0	5,1	0	0,97	980 E12_0	58,78	14,04	43		
572	Fluxo1.105	945 -E12_0	5,1	0	0	982 E7_0	35,4	13,69	37		
573	Fluxo2.92	947 -E7_0	5,1	0	0,69	982 E12_0	58,78	13,59	35		
574	Fluxo1.106	954 -E12_0	5,1	0	0	983 E7_0	35,4	16,04	29		
575	Fluxo2.93	957 -E7_0	5,1	0	0,4	990 E12_0	58,78	12,08	33		
576	Fluxo1.107	963 -E12_0	5,1	0	0	993 E7_0	35,4	13,16	30		
577	Fluxo2.94	967 -E7_0	5,1	0	0,12	994 E12_0	58,78	15,61	27		
578					0,372378472			13,31701389	40,875		
579											
580											

Fonte: Autoria própria (2024).

No estudo de caso de Souza *et al.*, (2017), em uma avenida movimentada da cidade de São Paulo, identificou-se um trecho crítico com congestionamento frequente, resultando em atrasos e impactos negativos na circulação. Diante desse cenário, decidiu-se pela utilização do programa SUMO para simular e otimizar o tempo de funcionamento dos semáforos nesse trecho, visando reduzir o congestionamento e melhorar a fluidez do tráfego. Os resultados mostraram que a otimização dos tempos de semáforos na avenida proporcionou uma significativa redução do congestionamento, uma melhor distribuição do fluxo de veículos e uma diminuição dos tempos de espera.

Assim diante dos 3 casos apresentados, o caso 3 apresentou um melhor ganho de tempo e redução no tempo de espera no cruzamento estudado. Em seguida o caso 2 apresentou um ganho significativo em relação ao caso 1, mas não tão aprimorado quanto o caso 3. Por último o caso 1 apresentou o resultado menos eficiente em relação aos demais casos estudados.

Logo, pode-se definir o caso 3 como o mais adequado para melhorias no cruzamento das quatro avenidas. Foi passado de um tempo médio de viagem de 110 segundos com bastante trânsito e engarrafamento para uma solução simples, com um tempo médio de viagem de 41 segundos.

É notório que existem outras propostas de intervenções para implementação no modelo, dentre elas pode-se citar a rotatória que não foi utilizada neste estudo devido as restrições operacionais e técnicas, já que não houve espaço suficiente para execução deste modelo. Um outro exemplo é a interseção elevatória, que também não teria viabilidade técnica para implementação devido a largura da rodovia.

5 CONCLUSÕES

Ao término deste estudo, foi possível responder todos os objetivos específicos designados na pesquisa, onde o primeiro objetivo foi analisar o fluxo de veículos no cruzamento da Avenida Brasil com Tancredo Neves por meio da simulação na ferramenta SUMO. Com base na modelagem computacional, foram observados padrões específicos de comportamento viário, incluindo os principais fatores que impactam a fluidez do trânsito, como a falta de sincronização semafórica, o volume excessivo de veículos em horários de pico e a presença de infraestruturas inadequadas para suportar o fluxo atual.

O segundo objetivo visou identificar pontos de congestionamento, tempos de espera e possíveis causas de problemas de tráfego nesse cruzamento. Observou-se como pontos de congestionamento a interseção principal da avenida Brasil com avenida Tancredo Neves, as entradas e saídas laterais, as faixas de conversão à esquerda e, os horários de pico. Como possíveis causas dos problemas de tráfego, observou-se o volume excessivo de veículos, infraestrutura viária inadequada e falta de sinalização semafórica inadequada.

Por fim, o último objetivo respondido foi o de propor estratégias de melhoria no gerenciamento do tráfego urbano no cruzamento da Avenida Brasil com Tancredo Neves com base nos dados obtidos pela simulação na ferramenta SUMO. Com base nas análises realizadas, propõe-se uma série de estratégias para melhorar o gerenciamento do tráfego urbano neste cruzamento. Entre as recomendações estão: a implantação do semáforo para otimizar o fluxo em horários de maior movimento, a ampliação de vias ou faixas dedicadas para reduzir o impacto do tráfego pesado, e a implantação de soluções tecnológicas, como sistemas inteligentes de controle de tráfego que ajustem os sinais em tempo real conforme a demanda.

A integração dessas medidas poderá contribuir para a redução dos congestionamentos e a melhora da fluidez no cruzamento, beneficiando tanto os motoristas quanto a mobilidade urbana na região.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, H. M., MONTEIRO, P. R. S., **Redutores Eletrônicos de Velocidades – Impactos no Desempenho do Tráfego**, XIV Congresso da ANPET, Gramado (RS), 2020.
- BATISTA JÚNIOR, A. A.; COUTINHO, L. R. Incorporating explicit coordination mechanisms by agents to obtain green waves. **Advanced Methods and Technologies for Agent and Multi-Agent Systems**. v. 252, p. 137-145, 2013.
- CAMBRUZZI, E; KRAUS JR., W., **Avaliação Experimental da Infraestrutura Computacional para Sistemas Inteligentes de Transporte**, XVII Congresso da ANPET, Rio de Janeiro (RJ), 2023.
- CARDOSO, L. **Transporte Público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na região metropolitana de Belo Horizonte**. 2017. 232 f. Tese, Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- CAVALCANTI, A. Q. B., **Central de Operação de Trânsito de Baixo Custo**, XV Congresso da ANPET, Campinas (SP), 2011.
- COCCO, R. G. **Interações espaciais e sistemas de transporte público: uma abordagem para Bauru, Marília e Presidente Prudente**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2021.
- CONGESTIONAMENTO. In. Michaelis. **Dicionário on-line brasileiro da Língua Portuguesa**, 2023. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=congestionamento>. Acesso em: 29 out. 2024.
- CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática, 2019.
- DE SOUZA, A. M.; BRENNAND, C. A.; YOKOYAMA, R. S.; DONATO, E. A.; MADEIRA, E. R.; VILLAS, L. A. **Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives**. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 13, n. 4, 2017.
- DIAS, R.F.; **Procedimento para elaboração do índice de acessibilidade com o apoio do sistema de informação geográfica**. 2018. 114 f. Dissertação, Mestrado em Engenharia de Transportes. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FERRAZ, A.C.P.; TORRES, I.G.E. **Transporte Público Urbano**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2014. 428p.
- GOMIDE, A. A. **Mobilidade Urbana e Inclusão Social: desafios para o transporte urbano no Brasil**. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, nº 100, pp. 57-64. 2023.
- GORA, P. **Simulation-Based Traffic Management System for Connected and Autonomous Vehicles**. Road Vehicle Automation 4, p. 257–266, 2018.

KRAJZEWICZ, D., BONERT, M. e WAGNER, P. The open source traffic simulation package SUMO. **RoboCup 2006 Infrastructure Simulation Competition**. Berlim – Alemanha, 2016.

KRAJZEWICZ, D., ERDMANN, J., BEHRISCH, M. e BIEKER, L. Recent development and applications of SUMO – Simulation of Urban MObility. **International Journal On Advances in Systems and Measurements**. Berlim – Alemanha, v. 5, n. 3 & 4, p. 128-138, 2012.

MATTHIES E.; BLÖBAUM, A. Ecological Norm Orientation and Private Car Use. In: HOUSE, L.; HILL, J. **Threats from Car Traffic to the Quality of Urban Life**. Oxford: Elsevier, 2017. p. 251-271.

MELO, M. J. V. S. de. **A cidade e o tráfego: Uma Abordagem Estratégica**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2020. 213p.

MONTEIRO, P. R. S. **Gestão de Tráfego com o uso de Dispositivos Eletrônicos de Velocidade** / Paulo Rogerio da Silva Monteiro – Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia, 2004.

PENDERGRASS, A. G. **What precipitation is extreme?** Science, Washington, v. 360, n. 6393, p. 1072–1073, 2018.

PEREIRA, R. H. M. *et al.* **Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: o uso do transporte coletivo e individual**. Brasília: Ipea, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10713>. Acesso em: 01 set . 2024.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de Tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem**. Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2005.

RAIA JÚNIOR., A. A. **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação**. São Carlos: Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 2010 (Tese, Doutorado em Engenharia Civil – Transportes).

RODRIGUES, J. **Aplicações da teoria de sistemas**. Ediliber editora. Coimbra. 2016.

ROTHERY, R. et al. **Traffic flow theory**. Transportation Research Board (TRB) Special Report, v. 165, 2018.

SABERI, P. et al. Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents. **Communications of the ACM**. v. 138, n. 11, p. 108-114, 2020.

SILVA, J. A; SANTOS, M. F. Planejamento Urbano e Mobilidade em Cidades Brasileiras: Desafios e Soluções. **Revista Brasileira de Mobilidade Urbana**, 5(2), 45-62. 2018.

SILVA, P. C. M., **Elementos dos Sistemas de Tráfego**, Apostila, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2021.

SILVA, Harley; AMARAL Pedro Vasconcelos M. do; SIMÕES, Rodrigo Ferreira. **Vários Horizontes: Infraestrutura, Habitação e Regionalização na capital Mineira**. 2022. Disponível em: www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2008/docsPDF/ABEP2008_1949.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.

SOUZA, A. M. de. *et al.* **Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives**. International Journal of Distributed Sensor Networks, v.13, n. 4, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1550147716683612>. Acesso em: 08 set. 2024.

STUMPF, M. T., **Análise dos efeitos da barreira eletrônica com informador de velocidade sobre a operação do tráfego**. Tese de Mestrado Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2019.

TANG, G. Smart parking Systems and Sensors: A Survey. **Computing, Communication and Applications**. Dindigul – Índia, p. 1-5, fev. 2023.

VALLIM, C.H. **Deteção e controle de congestionamento veicular em ambiente urbano**. Campinas, PUC-Campinas, 2023.

VILLAÇA, F. **O espaço intra-urbano no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel; FAPESP: Lincoln Institute, 2011.