



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO AUGUSTO PIMENTEL DE VASCONCELOS

**GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO UTILIZANDO JAAMSIM EM
CRUZAMENTO DA CIDADE BALSAS-MA**

BALSAS - MA

2025

PEDRO AUGUSTO PIMENTEL DE VASCONCELOS

Gerenciamento de tráfego urbano utilizando JAAMSIM em cruzamento da cidade de
Balsas-MA

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Daniel Beserra Costa

Balsas - MA

2025

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

Pimentel de Vasconcelos, Pedro Augusto.

GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO URBANO UTILIZANDO JAAMSIM EM
CRUZAMENTO DA CIDADE BALSAS-MA / Pedro Augusto Pimentel de
Vasconcelos. - 2025.

90 f.

Orientador(a): Dr. Daniel Beserra Costa.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, Balsas - Ma, 2025.

1. Mobilidade Urbana. 2. Cruzamento Viário. 3.
Simulação de Tráfego. 4. Jaamsim. 5. Sinalização
Semafórica. I. Beserra Costa, Dr. Daniel. II. Título.

PEDRO AUGUSTO PIMENTEL DE VASCONCELOS

Gerenciamento de tráfego urbano utilizando JAAMSIM em cruzamento da cidade de
Balsas-MA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 09 de agosto de 2025.

Prof. Dr. Daniel Beserra Costa – Orientador

Prof. Willame Braga Lima

Profa. Dra. Carla Caroline Alves Carvalho

Balsas – MA
2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força e sabedoria ao longo de toda minha caminhada acadêmica. À minha família, especialmente aos meus pais Izaila e João Augusto, pelo apoio e ensinamentos. Agradeço também aos demais familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação.

Sou grato ao Campus UFMA de Balsas - MA, que proporcionou os meios de me desenvolver academicamente. Ao meu orientador, Dr. Daniel Beserra, agradeço paciência, dedicação e orientação fundamental durante a elaboração desse trabalho. Agradeço também à Dra. Carla Caroline pelo incentivo durante a escrita desse trabalho.

Não poderia deixar de mencionar meus amigos José de Arimateia, Keven Dalton e Maria Vitória, que estiveram presentes com apoio, incentivo e também com puxões de orelha que me motivaram a seguir firme, não só na escrita desse trabalho, como também durante o curso e fora dele. Também gostaria de agradecer a André, Ariana e Lourena, pelo companheirismo e pela vivência por todos esses anos, novamente, não apenas no curso, mas fora dele também.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, valeu!

RESUMO

A mobilidade urbana eficiente e segura é um desafio crescente nas cidades brasileiras, especialmente em áreas centrais que apresentam intenso fluxo de veículos e pedestres. Diante desse cenário, este trabalho analisou o gerenciamento de tráfego no cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, em Balsas (MA), utilizando o software JaamSim. O objetivo foi diagnosticar deficiências na configuração viária e propor intervenções que aumentem tanto a segurança quanto a eficiência da circulação. Para isso, foram coletados dados em três dias da semana (terça, quarta e quinta-feira), nos períodos de 11h30 às 12h30 – dos dias 03/06/2025 a 05/06/2025 – e de 18h30 às 19h30 – dos dias 08/07/2025 a 10/07/2025. Em seguida foram simulados três cenários diferentes, nos quais se alteraram as configurações semafóricas e a organização viária. Os resultados mostraram que as duas vias apresentam volumes de tráfego relativamente semelhantes; contudo, a Rua José Leão registrou um maior fator de ponta, enquanto a Rua Prefeito Edísio Silva apresentou um fluxo mais equilibrado. Além disso, observou-se que o pico de tráfego ocorre no período da manhã, entre 11h30 e 12h30. Em relação a simulação, o Cenário 1 destacou-se por apresentar o melhor desempenho, pois conseguiu equilibrar os tempos de espera em ambas as vias e manter os comprimentos de fila abaixo dos limites críticos. Isso evidencia que ajustes moderados nos tempos semafóricos são suficientes para melhorar o desempenho global do cruzamento, sem causar impactos negativos em nenhuma das ruas. Por fim, as propostas de melhoria desenvolvidas incluem ajustes na sinalização horizontal e vertical e a otimização dos tempos semafóricos.

Palavras-chave: Mobilidade urbana, cruzamento viário, simulação de tráfego, JAAMSIM, sinalização semafórica.

ABSTRACT

Efficient and safe urban mobility is an increasing challenge in Brazilian cities, especially in central areas with heavy flows of vehicles and pedestrians. In this context, this study analyzed traffic management at the intersection of José Leão Street and Prefeito Edísio Silva Street, in Balsas (MA), using the JaamSim software. The objective was to diagnose deficiencies in the road configuration and propose interventions that could enhance both safety and circulation efficiency. For this purpose, data were collected on three weekdays (Tuesday, Wednesday, and Thursday) during the periods from 11:30 a.m. to 12:30 p.m. – from 03/06/2025 to 05/06/2025 – and from 6:30 pm to 7:30 pm – from 08/07/2025 to 10/07/2025. Subsequently, three different scenarios were simulated, in which traffic light settings and road organization were modified. The results showed that the two streets have relatively similar traffic volumes; however, José Leão Street recorded a higher peak factor, while Prefeito Edísio Silva Street presented a more balanced flow. Furthermore, it was observed that the traffic peak occurs in the morning period, between 11:30 a.m. and 12:30 p.m. Regarding the simulation, Scenario 1 stood out for delivering the best performance, as it managed to balance waiting times on both streets and keep queue lengths below critical limits. This demonstrates that moderate adjustments to traffic light timings are sufficient to improve the overall performance of the intersection without causing negative impacts on either street. Finally, the proposed improvements include adjustments to horizontal and vertical signage, as well as the optimization of traffic light timings.

Keywords: Urban mobility, road intersection, traffic simulation, JAAMSIM, traffic signaling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Movimento Convergente	23
Figura 2- Movimento Divergente	23
Figura 3- Movimento Interceptantes	24
Figura 4- Movimento não-interceptantes	24
Figura 5 - Região de Balsas - MA	38
Figura 6 - Cruzamento entre a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva escolhido para o estudo	39
Figura 7 - cruzamento e seus movimentos	39
Figura 8 - Imagem do cruzamento	40
Figura 9- Fluxograma das etapas do projeto	41
Figura 10- Fluxograma de critérios de avaliação do CONTRAN	42
Figura 11 - Exemplo de folha de campo para pesquisa volumétrica direcional	43
Figura 12- Folha de campo para pesquisa volumétrica utilizada no trabalho.	44
Figura 13- Tela inicial do JaamSim	48
Figura 14 - Cruzamento no JaamSim antes do início da simulação	50
Figura 15- Gráfico de distribuição Percentual do Volume Veicular no Cruzamento	51
Figura 16 – Distribuição de dados coletados no dia (03/06/25)	51
Figura 17- Distribuição de dados coletados no dia (04/06/25)	52
Figura 18 - Distribuição de dados coletados no dia (05/06/25)	52
Figura 19 – Gráfico da média de veículos/hora no cruzamento das 18:30 às 19:30	53
Figura 20 - Distribuição de dados coletados no dia (08/07/25)	54
Figura 21 - Distribuição de dados coletados no dia (09/07/25)	55
Figura 22 - Distribuição de dados coletados no dia (10/07/25)	55
Figura 23 - Gráfico da média de veículos/hora no cruzamento das 11:30 às 12:30	56
Figura 24 - Simulação para o cenário onde o sinal da rua José Leão (movimento 1 e 2) está vermelho e da rua Prefeito Edisio Silva (movimentos 3 e 4) está verde	62
Figura 25 - Simulação para o cenário onde o sinal da rua José Leão (movimento 1 e 2) está verde e da rua Prefeito Edisio Silva (movimentos 3 e 4) está vermelho	63
Figura 26 - Sinalização vertical e horizontal da rua José Leão	69
Figura 27 - Placa enferrujada da rua Prefeito Edísio Silva	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos pelos modelos matemáticos	58
Tabela 2 – Média Resultados obtidos pelos modelos matemáticos	59
Tabela 3 – Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matemáticos	60
Tabela 4 – Resultados do cenário 1	64
Tabela 5 – Resultados do cenário 2	65
Tabela 6 – Resultados do cenário 3	67

LISTA DE SIGLAS

AGVs	Automated Guided Vehicle
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GPS	Global Positioning System
HBU	Hospital Balsas Urgente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet of Things
ITS	Sistemas Inteligentes de Transporte
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SUMO	Simulador de Mobilidade Urbana
TSIS	Traffic Software Integrator System
M.1, M.2, M.3, M.4	Movimentos 1 à 4, respectivamente
MVV	Média de Volume Veicular
MVVV	Maior Valor de Volume Veicular
CE	Capacidade Estimada
FP	Fator de Ponta
TME	Tempo Médio de Espera
CMF	Comprimento Médio da Fila

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1** Volume veicular.
- Equação 2** Fator de ponta
- Equação 3** Ciclo do semáforo.
- Equação 4** Taxa de fluxo
- Equação 5** Tempo médio de espera
- Equação 6** Comprimento médio da fila

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo Geral.....	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4. REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1 Mobilidade urbana	20
4.2 Infraestrutura viária.....	22
4.3 Deficiências no planejamento e configuração da infraestrutura viária urbana ..	25
4.4 Congestionamento urbano.....	26
4.5 Gerenciamento de tráfego	28
4.6 Levantamento de Tráfego.....	30
4.7 Simulação computacional para gerenciamento de tráfego.....	32
4.8 JaamSim	35
5. METODOLOGIA.....	38
5.1 Área de estudo	38
5.2 Coleta de dados	41
5.3 Cálculo	45
5.4 Simulação no JaamSim	47
6. RESULTADOS.....	50
6.1. Tráfego	50
6.2. Cálculos por modelos matemáticos	57
6.3. Simulação do JaamSim	61
6.4. Problemas observados na via.....	69
7. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE	82
Apêndice 1 – Dados da pesquisa de campo do dia 03/06/2025	83
Apêndice 2 – Dados da pesquisa de campo do dia 04/06/2025	84
Apêndice 3 – Dados da pesquisa de campo do dia 05/06/2025	85
Apêndice 4 – Valores de veículo/h para cada dia da medição 1	86

Apêndice 5 – Dados da pesquisa de campo do dia 08/07/2025	87
Apêndice 6 – Dados da pesquisa de campo do dia 09/07/2025	88
Apêndice 7 – Dados da pesquisa de campo do dia 10/07/2025	89
Apêndice 8 – Valores de veículo/h para cada dia da medição 2	90

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano é frequentemente considerado uma das principais metas dos gestores públicos, pois costuma ser associado a diversos benefícios para a região, como o avanço econômico, ampliação do acesso a serviços de qualidade, aumento de investimentos, melhorias na segurança, estímulo à inovação e aprimoramento da infraestrutura. Embora o crescimento possa ser responsável por tais conquistas, nem sempre ocorre de forma organizada e planejada, o que pode acarretar em diversos problemas para a cidade, sendo a mobilidade urbana uma área bastante afetada nesses casos (Ferreira, 2019).

Um dos aspectos que podem causar detrimento na mobilidade urbana é o aumento da frota de veículos que circundam as vias públicas (Carvalho, 2016). Segundo Loch (2015), é evidente esse aumento nas vias brasileiras, e isso se dá pela priorização dos transportes individuais, gerando problemas nos sistemas viários e exigindo um planejamento urbano eficiente e que atenda as mudanças previstas que ocorrerão ao longo do tempo. Quando tal planejamento não é executado o resultado são congestionamentos, os quais geram descontentamento por parte da população por conta da perda tempo, dinheiro e aumento no desgaste físico e mental ao experienciá-los (Schmoller, 2018).

A cidade de Balsas, no estado do Maranhão, tem registrado um considerável crescimento urbano nos últimos anos, apresentando uma expansão de 21,66% do ano de 2010 para o ano de 2022 (IBGE, 2022). Esse crescimento, aliado à falta de uma rede de transporte público na região, constitui um dos fatores que contribuem para a sobrecarga no sistema de trânsito da cidade. Segundo Souza (2024), a carência das redes de transporte acarreta um aumento na dependência de veículos particulares, o que por sua vez intensifica os congestionamentos, resultando no aumento da degradação ambiental devido as emissões de gases de efeito estufa.

Como consequência do crescimento urbano de Balsas, vê-se necessário a utilização do gerenciamento de tráfego para identificar pontos críticos da cidade, e aplicar as medidas necessárias para melhorar o trânsito no local e que atenda as demandas futuras. Para isto é preciso avaliar os volumes de tráfego, os horários de pico e outras características dos polos geradores de incidentes para buscar alternativas para os problemas encontrados (Loch, 2015). Os cruzamentos são áreas críticas da malha viária, onde a convergência de diferentes fluxos de tráfego eleva a

complexidade e o risco de conflitos. Quando mal gerenciados, tornam-se foco de problemas, principalmente devido ao excesso de veículos, à infraestrutura deficiente e à sinalização semafórica ineficaz (Amorim Júnior, 2024).

Para auxiliar a avaliação do gerenciamento de tráfego, é comum a utilização de softwares de simulação que permitem analisar o trânsito em uma área específica e sugerir soluções sem afetar o sistema real. Para tal, o JaamSim, proporciona um ambiente gráfico integrado para simulações, oferecendo funcionalidades para modelagem, animação e análise dos resultados (Lang, *et al.*, 2021). Trata-se de um software livre, disponível gratuitamente para download na internet. Os principais componentes na modelagem com o JaamSim incluem as entidades, que representam elementos como pessoas, objetos, transações e outros, que se deslocam dentro do sistema; as estações de serviço, que indicam os pontos onde ocorrem atividades ou transformações; e o fluxo, que determina os trajetos percorridos pelas entidades entre essas estações (Negrão *et al.*, 2017).

Por conta de sua funcionalidade o JaamSim foi utilizado por vários autores para realizar simulações necessárias, por exemplo, Ruane *et al.* (2022) utilizou o software em conjunto com o SimWrapper para desenvolver um modelo digital de um sistema de fabricação de carregadores de bandejas automatizados na unidade fabril da Johnson & Johnson Vision Care. Enquanto isso, Oliveira *et al.* (2025) empregaram o JaamSim para analisar melhorias na eficiência energética e na produtividade de uma planta siderúrgica no Brasil, destacando seu potencial em ambientes industriais. Em outra aplicação Negrão *et al.*, (2017) utilizou o software para analisar a situação atual de uma intersecção semaforizada do sistema de tráfego na cidade de Medianeira/PR. Com isso, pode-se constatar que o JaamSim pode ser uma ferramenta robusta para tomada de decisão em sistemas dinâmicos e complexos, inclusive no planejamento e gerenciamento do tráfego urbano.

Sendo assim, o trabalho em questão tem o objetivo de analisar o cruzamento entre as ruas rua José Leão e rua Prefeito Edisio Silva, utilizando o software JAAMSIM para identificar problemas na disposição atual e propor a implementação de melhorias afim de tornar a travessia desse local segura e eficiente para todos.

2. JUSTIFICATIVA

O crescimento acelerado das áreas urbanas nas últimas décadas tem imposto desafios significativos para a mobilidade e eficiência do sistema viário. Entre os principais fatores que agravam esse cenário, destacam-se o aumento da frota de veículos particulares, a escassez de opções adequadas de transporte coletivo e a expansão urbana desordenada. Esses elementos, combinados, contribuem para a ocorrência frequente de congestionamentos e para a elevação dos índices de acidentes de trânsito. A situação se torna ainda mais crítica em municípios com infraestrutura limitada ou inadequada para suportar o volume crescente de tráfego (SCHMOLLER, 2018).

No caso de cidades em expansão, como Balsas, no estado do Maranhão, mesmo sendo observado um crescimento populacional de 21,66% entre os anos de 2010 e 2022, esse não tem sido acompanhado por investimentos proporcionais em transporte público estruturado, o que contribuiu para a intensificação dos problemas de tráfego e infraestrutura, impactando diretamente na qualidade de vida da população (IBGE, 2022). Nesse contexto, o planejamento viário e a gestão eficiente do tráfego tornam-se indispensáveis para o enfrentamento das dificuldades cotidianas da mobilidade urbana. Conforme aponta Carvalho (2016), o desenvolvimento desordenado dos centros urbanos, aliado à negligência no fortalecimento do transporte coletivo, acaba por incentivar o uso de veículos individuais, contribuindo diretamente para o agravamento da sobrecarga nas vias.

Diante dos desafios crescentes relacionados a mobilidade urbana, especialmente em cidades de rápido crescimento, a adoção de tecnologias voltadas a gestão de tráfego tem se tornado uma estratégia fundamental. Esses recursos tecnológicos vêm evoluindo constantemente, permitindo sistemas de monitoramento e controle cada vez mais precisos e eficientes (Amorim Júnior, 2024). Nesse cenário, uma das ferramentas que mais se destacam é a modelagem e simulação computacional, com destaque para o software JaamSim, que possibilita analisar o comportamento do tráfego urbano de forma detalhada, sem a necessidade de intervenções diretas no ambiente real (King; Harrison, 2013).

O JaamSim tem demonstrado eficácia em diferentes contextos, especialmente na identificação de gargalos no fluxo viário e na proposição de melhorias em pontos críticos da malha urbana, como os cruzamentos (Negrão *et al.*, 2017). Esses locais,

por concentrarem diferentes fluxos e direções, tendem a apresentar maior risco de conflitos e, quando mal gerenciados, contribuem para a formação de congestionamentos e para a perda de eficiência do sistema viário como um todo.

Nesse sentido, a simulação computacional com o uso do JaamSim apresenta-se como uma ferramenta valiosa para o planejamento urbano. O programa permite modelar diferentes cenários de circulação, analisar tempos de espera e observar o comportamento dos usuários em interações cotidianas. Com isso, é possível diagnosticar falhas como faixas sobrecarregadas, semáforos mal configurados ou tempos de espera excessivos.

Neste trabalho, a análise será aplicada especificamente ao cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, na cidade de Balsas/MA. Trata-se de um ponto estratégico, com fluxo significativo de veículos, especialmente em razão da proximidade com unidades de saúde e vias de grande circulação. A partir dos dados simulados, pretende-se identificar os principais problemas operacionais no local e propor alternativas que promovam maior segurança e fluidez no tráfego.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar o cruzamento entre a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva, por meio de cálculos matemáticos e simulação no software JAAMSIM, para o diagnóstico de eventuais deficiências na configuração viária atual e proposição de intervenções que promovam a segurança e a eficiência da travessia para todos os usuários do sistema viário.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a coleta de dados de tráfego no cruzamento em diferentes horários e avaliar o impacto das condições atuais de sinalização e infraestrutura no fluxo veicular e na segurança dos usuários;
- Aplicar modelos matemáticos consagrados para calcular indicadores como tempo médio de espera, comprimento médio de fila e taxa de fluxo;
- Realizar a modelagem e simulação do cruzamento utilizando o software JaamSim, considerando diferentes cenários semafóricos, e comparar os resultados entre configurações equilibradas e com priorização de uma via, identificando o cenário de melhor desempenho operacional;
- Diagnosticar problemas operacionais e de segurança observados in loco, incluindo questões de visibilidade, sinalização e comportamento de condutores, e propor melhorias técnicas e operacionais para otimizar o funcionamento do cruzamento, com base em evidências coletadas e na literatura especializada.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico são abordados assuntos relacionados ao gerenciamento de tráfego, com o intuito de facilitar a compreensão, apresentando as metodologias que mais interferem nesse sistema, suas principais características, limitações e problemas.

4.1 Mobilidade urbana

A mobilidade urbana refere-se à capacidade de deslocamento de pessoas e cargas dentro de um centro urbano, considerando os usuários do transporte, os operadores e as condições físicas e operacionais do ambiente que viabilizam esse deslocamento (BRASIL, 2012, Lei nº 12.587). Para que esse processo ocorra de forma segura e eficiente, é essencial que haja compatibilidade entre as necessidades dos usuários e a capacidade do sistema de transporte e da infraestrutura urbana disponível integrando os diversos modos de locomoção (Galindo e Lima Neto, 2019).

Segundo a Lei nº 12.587/2012, a Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada nos seguintes princípios:

- Acessibilidade universal: todas as pessoas, independentemente de suas limitações físicas, cognitivas ou sensoriais deve ser capaz de se deslocar pelo meio urbano de forma segura e confortável;
- Desenvolvimento sustentável das cidades: desenvolvimento de práticas que visam o melhoramento dos centros urbanos nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- Equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo: todos os cidadãos, independentemente de sua condição socioeconômica, local de moradia ou condição física, devem ter acesso ao sistema de transporte coletivo;
- Eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano: prevê que o deslocamento urbano deve ser realizado oferecendo o melhor serviço possível com o menor custo operacional, atendendo o objetivo de conectar várias áreas da cidade e melhorando a qualidade de transporte da população;

- Gestão democrática, controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana: a população deverá estar envolvida no planejamento, acompanhamento e fiscalização das políticas de mobilidade;
- Segurança nos deslocamentos das pessoas: prioriza a preservação da vida e a integridade física dos usuários do transporte e da via pública;
- Justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços: busca incentivar a utilização de meios de locomoção sustentáveis através de um equilíbrio de custos e benefícios da mobilidade urbana;
- Equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros: dita que o espaço viário não serve apenas aos veículos motorizados, sendo assim, todos os meios de locomoção (transporte coletivo, ciclistas, pedestres e etc) devem ter igual direito a utilização a via através da implantação de calçadas, ciclovias e faixas exclusivas bem distribuídas; e
- Eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana: prevê a criação de um sistema de circulação que minimize congestionamentos, otimize os deslocamentos, diminua tempos de viagem e melhore a fluidez para todos os modais.

A Lei ainda tem como finalidade promover a inclusão social, reduzir desigualdades e garantir o acesso da população aos serviços essenciais. Além disso, busca melhorar as condições de mobilidade e acessibilidade urbana, incentivar o desenvolvimento sustentável com a redução dos impactos socioambientais dos deslocamentos e fortalecer a gestão democrática no planejamento da mobilidade urbana.

Tais princípios estipulados pela Política Nacional de Mobilidade Urbana buscam garantir que os cidadãos tenham uma mobilidade eficiente e inclusiva, assegurando a segurança e o acesso aos serviços urbanos. A política também visa reduzir desigualdades, melhorar as condições urbanas, estimular o desenvolvimento sustentável e fortalecer a gestão democrática do sistema de transporte (Lopez, 2022). Entretanto, a mobilidade vem enfrentando problemas devido ao crescimento urbano rápido e desordenado.

Segundo Carvalho (2016), a cerca de quarenta anos atrás grande parte da população se concentrava nas áreas rurais, sendo assim não havia demanda em massa nos poucos centros urbanos existentes. Entretanto, atualmente há cerca de 25% da população se concentrando nesses locais que anteriormente detiam a maior parte da população, sendo que hoje em dia, a rede urbana brasileira conta com 36 cidades que possuem mais de 500 mil habitantes, além de 40 regiões metropolitanas formalmente estabelecidas, onde vivem mais de 80 milhões de pessoas, o que representa aproximadamente 45% da população do país.

Esse acelerado crescimento urbano gerou uma demanda significativa por infraestrutura de transporte. No entanto, essa demanda não foi devidamente atendida. Em muitas cidades, o sistema de transporte público não acompanhou o ritmo da expansão populacional, resultando em serviços ineficientes e, frequentemente inadequados para suprir as necessidades da população (Vasconcellos, 2012). Diante dessa deficiência, o transporte coletivo que deveria representar a solução para os problemas de mobilidade acabou agravando ainda mais a situação. A falta de políticas públicas eficazes e a carência de planejamento adequado contribuíram para a preferência da população pelo transporte individual, intensificando a sobrecarga das vias urbanas e os congestionamentos (Loch, 2015).

4.2 Infraestrutura viária

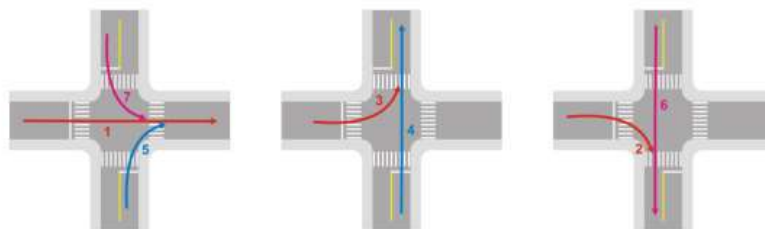
Segundo Negrão *et al.* (2017), o tráfego urbano pode ser interpretado como um sistema de filas, no qual vias, interseções e dispositivos de controle, como semáforos, regulam o fluxo de veículos. Esse sistema complexo possibilita o deslocamento entre dois pontos utilizando cruzamentos para se locomover de diversos modos, seja seguindo pela mesma via ou mudando para outras, atividade está conhecida como “movimento” (Ferreira, 2019). A compreensão desses movimentos é fundamental para o planejamento e operação eficiente das vias urbanas, especialmente em áreas de alta densidade populacional.

De acordo com o CONTRAN (2014), os movimentos em uma interseção podem ser classificados de acordo com interação de suas trajetórias, sendo eles:

- a) Convergentes: movimentos que têm origem em diferentes aproximações, mas que possuem o mesmo destino, isto é, quando dois veículos distintos

vindos de ruas diferentes se dirigem a uma mesma via principal (Figura 1). Esse tipo de movimento é comumente observado em entradas de vias arteriais e requer atenção especial para evitar sobrecargas e conflitos nos pontos de junção (Melo & Garcia, 2020).

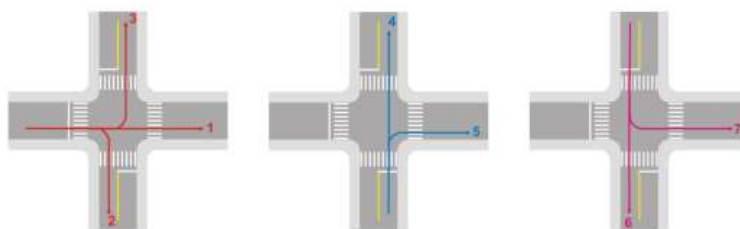
Figura 1- Movimento Convergente



Fonte: CONTRAN (2014)

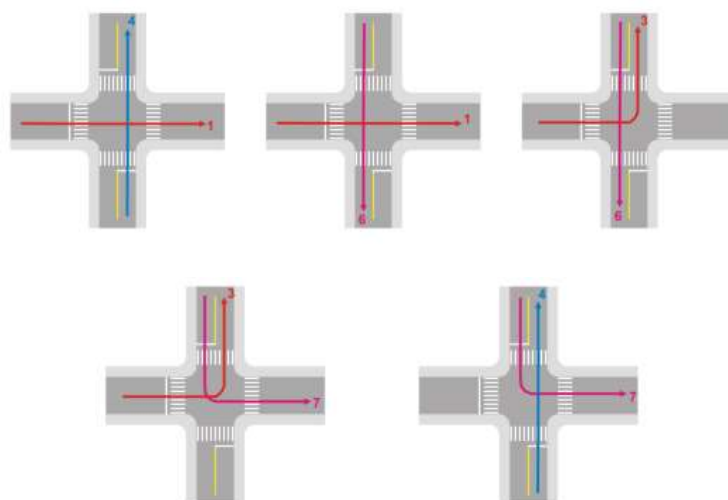
- b) Divergentes: movimentos que têm origem na mesma aproximação e destinos distintos, por exemplo, veículos que saem de uma avenida podendo optar por seguir para ruas à direita, à esquerda ou continuar em linha reta (Figura 2). A correta sinalização e dimensionamento dessas divergências são essenciais para garantir a fluidez e reduzir os riscos de colisão (Silva *et al.*, 2018).

Figura 2- Movimento Divergente



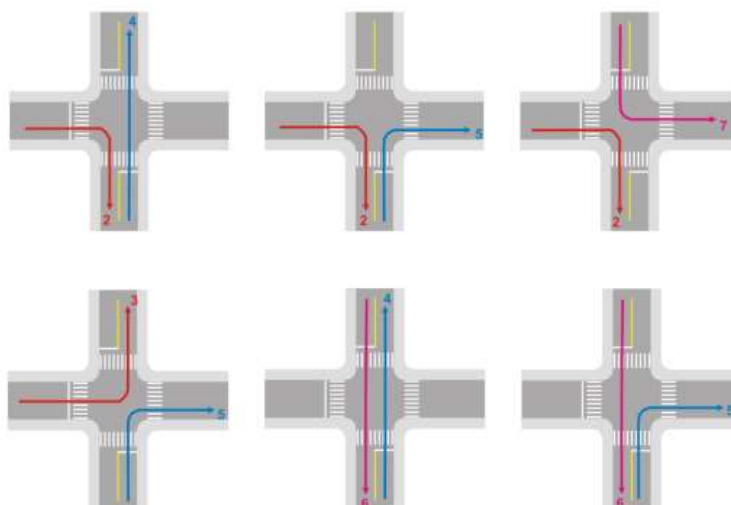
Fonte: CONTRAN (2014)

- c) Interceptantes: movimentos oriundos de aproximações diferentes que se cruzam em algum ponto da área de conflito, como em cruzamentos onde carros que se deslocam de norte a sul cruzam com aqueles que vão de leste a oeste (Figura 3). Esse tipo de movimento é um dos principais responsáveis por acidentes em interseções, exigindo projetos viários que minimizem tais conflitos por meio de soluções como rotatórias ou semaforização eficiente (Pereira & Souza, 2021).

Figura 3- Movimento Interceptantes

Fonte: CONTRAN (2014)

- d) Não-interceptantes: trajetórias que não se encontram em nenhum ponto da área de conflito, como ocorre em vias paralelas onde o fluxo de uma não interfere no da outra (Figura 4). Embora não gerem conflitos diretos, sua correta disposição no sistema viário contribui para a segregação do tráfego e melhora a distribuição dos fluxos (Oliveira & Lima, 2019).

Figura 4- Movimento não-interceptantes

Fonte: CONTRAN (2014)

A identificação precisa dos tipos de movimentos realizados em uma determinada via permite a elaboração de diagramas de conflito, que consistem em representações

esquemáticas das interseções, indicando todos os deslocamentos possíveis entre os diferentes fluxos de tráfego. Por meio desses diagramas, torna-se viável identificar potenciais conflitos viários, determinar suas causas prováveis e, conseqüentemente, propor soluções adequadas para a melhoria da segurança e da fluidez no local (CONTRAN, 2014). A análise dos diagramas de conflito é uma prática consolidada na engenharia de tráfego e contribui diretamente para a tomada de decisões que visam a redução de acidentes e o aumento da eficiência operacional (Martins e Rodrigues, 2022).

Além disso, as estratégias de gerenciamento do tráfego, como o uso de tecnologias ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte), permitem o monitoramento em tempo real das interseções, possibilitando intervenções rápidas e eficazes na sinalização e controle dos movimentos, conforme destacam Carvalho *et al.* (2019). O planejamento integrado dessas interseções, levando em consideração os diferentes tipos de movimentos, é vital para o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas, promovendo maior segurança, eficiência e conforto para os usuários do sistema viário (Fernandes e Almeida, 2020).

4.3 Deficiências no planejamento e configuração da infraestrutura viária urbana

A gestão do sistema viário urbano depende de planejamento criterioso, capaz de acompanhar tanto o crescimento demográfico quanto a crescente demanda por deslocamentos. Processos de urbanização acelerados e pouco coordenados, porém, têm limitado o alcance desse objetivo e comprometido a mobilidade nas cidades brasileiras (Carvalho, 2016). A expansão irregular dos centros urbanos, associada à degradação da infraestrutura existente, tem refletido em congestionamentos mais frequentes, maiores índices de poluição atmosférica, aumento de acidentes de trânsito e, por consequência, queda na qualidade de vida da população (Souza, 2024, Silva e Pereira, 2021).

A desordem urbana também desloca parte significativa do tráfego para vias secundárias que não foram projetadas para volumes elevados, enfraquecendo a hierarquização do sistema. Nessas condições, torna-se difícil distinguir claramente entre vias arteriais, coletoras e locais, o que desorganiza os fluxos e sobrecarrega

segmentos incapazes de absorver a nova demanda (Gomes et al., 2023; Oliveira et al., 2019).

A sinalização viária constitui outro ponto de fragilidade. Falhas de instalação, manutenção ou posicionamento de placas e semáforos infringem o Código de Trânsito Brasileiro, cujo Art. 80 exige legibilidade e visibilidade adequadas durante dia e noite. Essa deficiência gera insegurança, eleva o risco de colisões e compromete a eficiência da circulação (Brasil, 1997; Ferreira & Santos, 2020).

A priorização histórica do transporte individual motorizado acentua tais dificuldades. Nos projetos de ampliação da malha viária, automóveis costumam receber atenção privilegiada, enquanto intervenções cruciais ao transporte coletivo e à mobilidade ativa — faixas exclusivas para ônibus, ciclovias, calçadas acessíveis — permanecem em segundo plano (Almeida, 2016). O resultado é um padrão de deslocamento que amplia disparidades sociais, afetando especialmente os grupos de baixa renda que dependem de meios sustentáveis (Almeida, 2016; Costa & Lima, 2018).

Problemas de manutenção agravam ainda mais o quadro: pavimentos desgastados, drenagem insuficiente e espaços públicos pouco acessíveis tornam o sistema vulnerável. A falta de adoção de tecnologias avançadas, como os Sistemas Inteligentes de Transporte, limita o monitoramento e a gestão eficiente do tráfego, dificultando intervenções rápidas para garantir fluidez e segurança (Carvalho, 2016; Souza, 2024).

Assim, estudos recentes convergem na necessidade de políticas integradas que contemplem todos os modos de deslocamento, restabeleçam a hierarquia funcional da malha, invistam em sinalização adequada e introduzam soluções tecnológicas de ponta. Essas medidas são apontadas como caminhos promissores para reduzir impactos ambientais, aumentar a segurança nas vias e melhorar as condições de vida nas áreas urbanas.

4.4 Congestionamento urbano

Compreender o fenômeno do congestionamento urbano requer um olhar atento às inúmeras variáveis que se entrelaçam no cotidiano das cidades. Amorim Júnior (2024) assinala que o problema nasce, em grande medida, de uma

infraestrutura viária incapaz de absorver o volume de tráfego que sobre ela incide. Essa carência estrutural costuma caminhar lado a lado com o crescimento urbano acelerado — e frequentemente desordenado — que caracteriza muitos países em desenvolvimento.

Entre os vetores que alimentam esse processo, destacam-se o êxodo rural, o aumento da população residente em áreas urbanas, a expansão contínua da frota de veículos particulares e a concentração de atividades econômicas em polos comerciais cada vez mais valorizados. Todos esses fatores elevam exponencialmente a demanda por mobilidade, tanto pública quanto privada, pressionando sistemas já sobrecarregados e exigindo respostas ágeis por parte do poder público (Carvalho, 2016). Silva e Pereira (2021) acrescentam que essa pressão provoca também a elevação dos níveis de poluentes atmosféricos, fator que agrava a qualidade ambiental e a saúde coletiva.

Galindo e Lima Neto (2019) observaram que, conforme o porte das cidades aumenta, os desafios de mobilidade tendem a se intensificar. O crescimento da frota per capita aprofunda a disputa por espaço, gerando conflitos diários entre motoristas, pedestres e ciclistas. As consequências econômicas tornam-se significativas: Oliveira *et al.* (2019) estimam perdas relevantes decorrentes do aumento dos tempos de deslocamento e do maior consumo de combustíveis fósseis, afetando diretamente a competitividade urbana e a qualidade de vida.

Em muitos casos, deparamo-nos com vias subdimensionadas, mal conservadas, sinalização insuficiente e sistemas de controle de tráfego pouco responsivos. A CONTRAN (2014) relata que, em cenários de congestionamento, é comum a formação de filas cujo comprimento supera os trechos de via entre interseções semaforizadas, comprometendo a fluidez além dos limites esperados. Ferreira e Santos (2020) chamam atenção para a ausência de infraestrutura voltada a meios de transporte alternativos — como ciclovias ou corredores exclusivos de ônibus — que poderia aliviar parte desse ônus.

Essa realidade é facilmente perceptível em diversas cidades brasileiras, inclusive em municípios do Maranhão. Embora o estado tenha registrado, segundo o Censo 2022, um crescimento populacional de 3,05 % entre 2010 e 2022 — percentual inferior à média nacional de 6,5 % —, alguns municípios destoaram dessa média. Balsas, por exemplo, expandiu sua população em expressivos 21,66 % no período

(IBGE, 2022), impondo sobre uma malha viária já limitada uma demanda para a qual não foi originalmente planejada (Vasconcellos, 2012).

A carência de soluções tecnológicas modernas — como sincronização semafórica adaptativa ou monitoramento de tráfego em tempo real — aprofunda o quadro de ineficiência, resultando em filas extensas e tempos de percurso cada vez maiores. A inexistência de um sistema de transporte público atrativo reforça a dependência do carro particular, ampliando ainda mais a sobrecarga sobre as vias urbanas (Amorim Júnior, 2024). Costa e Lima (2018) demonstram que políticas como corredores exclusivos de ônibus e expansão de redes cicloviárias podem reduzir significativamente tais impactos, ao redistribuir a demanda entre diferentes modos de transporte.

Nesse contexto, os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) surgem como aliados estratégicos. Plataformas integradas de gestão de tráfego permitem coletar e analisar dados em tempo real, orientar intervenções pontuais e aprimorar o planejamento urbano (Silva e Pereira, 2021). Almeida & Rodrigues (2020) apontam que, ao promover a otimização semafórica e a previsão de fluxos veiculares, tais sistemas colaboram para mitigar efeitos ambientais negativos e fortalecer a segurança viária. Barbosa et al. (2022), por sua vez, sublinham que a incorporação de tecnologias digitais não apenas melhora a fluidez, mas contribui para um modelo de cidade mais inteligente, resiliente e centrado no bem-estar da população.

4.5 Gerenciamento de tráfego

O gerenciamento do tráfego urbano representa um campo estratégico essencial para o aprimoramento da mobilidade nas cidades, centrado na otimização do fluxo veicular, mitigação dos congestionamentos e elevação dos níveis de segurança viária. A complexidade crescente dos sistemas viários demanda a integração de técnicas avançadas, instrumentos tecnológicos e políticas públicas que possibilitem o monitoramento contínuo, análise e controle dinâmico das condições do trânsito (Amorim Júnior, 2024, Santos e Almeida, 2020).

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) compõem uma das principais ferramentas dessa área, reunindo sensores distribuídos ao longo da malha viária, câmeras de monitoramento, dispositivos de comunicação sem fio e algoritmos

computacionais capazes de processar volumes expressivos de dados em tempo real. Essa infraestrutura tecnológica possibilita intervenções automatizadas, como a sincronização adaptativa dos semáforos, gestão de rotas alternativas, detecção precoce de incidentes e monitoramento da demanda, configurando-se como mecanismo vital para a fluidez do tráfego e para a redução dos tempos médios de viagem (Silva *et al.*, 2021, Carvalho *et al.*, 2019, Oliveira *et al.*, 2022).

O controle adaptativo de tráfego, derivado dos sistemas ITS, ajusta os ciclos semaforicos com base nas condições imediatas de circulação, coletando dados por meio de sensores e câmeras e recalculando periodicamente os tempos dos sinais conforme o fluxo observado. Esse método permite que vias congestionadas tenham prioridade operacional temporária, contribuindo para uma melhor utilização da infraestrutura viária existente. Ademais, os sistemas adaptativos possuem a capacidade de responder a eventos imprevistos, como acidentes, obras ou condições meteorológicas adversas, alterando rapidamente os parâmetros de controle para minimizar impactos negativos (Muresan *et al.*, 2019, Oliveira e Gomes, 2021, Fernandes *et al.*, 2020).

Simulações computacionais são recursos adicionais amplamente utilizados para auxiliar o planejamento e a gestão do tráfego. Utilizando modelos de microsimulação, os planejadores podem testar diferentes configurações de sinalização, alterações geométricas e estratégias de controle em ambientes virtuais, identificando possíveis gargalos e avaliando a eficácia das soluções propostas. Essa prática permite a análise comparativa entre cenários diversos, oferecendo suporte fundamentado para a tomada de decisão, além de minimizar riscos decorrentes de intervenções físicas precipitadas (Pais *et al.*, 2022, Torres e Lima, 2018, Moreira e Barbosa, 2023).

A crescente integração de plataformas digitais de monitoramento e controle proporciona uma visão sistêmica da dinâmica urbana. A convergência de dados provenientes de múltiplas fontes, tais como dispositivos móveis, sensores veiculares, câmeras e sistemas de transporte público, contribui para a construção de painéis de controle em tempo real que facilitam a coordenação entre órgãos responsáveis pela gestão do trânsito. Tais sistemas ampliam a capacidade de resposta diante de emergências e permitem a comunicação direta com usuários através de aplicativos e painéis eletrônicos, promovendo maior transparência e participação social nos

processos de mobilidade urbana (Martins *et al.*, 2023, Figueiredo e Silva, 2020, Pereira *et al.*, 2021).

Estratégias complementares no gerenciamento do tráfego abrangem também políticas e ações voltadas à sustentabilidade e à equidade no acesso urbano. Isso inclui a priorização do transporte coletivo e ativo, o controle eficiente do estacionamento, incentivos ao uso de modos não motorizados e a implantação de sistemas integrados de mobilidade. Tais medidas buscam não apenas a eficiência operacional, mas também o alinhamento com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Mobilidade Urbana, promovendo um sistema de transporte mais equilibrado e inclusivo (Brasil, 2012, Almeida, 2016, Silva e Carvalho, 2018).

O desenvolvimento e implementação dessas tecnologias e estratégias dependem, frequentemente, de investimentos robustos, capacitação técnica dos operadores e integração institucional entre os diversos órgãos de trânsito e planejamento urbano, configurando um ambiente complexo que demanda contínua atualização e adaptação às mudanças urbanas e tecnológicas (Costa *et al.*, 2021, Reis e Furtado, 2020).

4.6 Levantamento de Tráfego

O levantamento de tráfego desponta como fase obrigatória para qualquer iniciativa de planejamento, projeto, operação ou gestão de redes viárias, urbanas ou rodoviárias. Essa etapa reúne procedimentos de coleta, análise e interpretação de informações sobre o fluxo de veículos e de pessoas que utilizam as vias, oferecendo uma leitura refinada dos padrões de mobilidade, das condutas dos usuários e das necessidades que se apresentam. Munidos desses dados, técnicos e gestores elaboram diagnósticos confiáveis, capazes de orientar escolhas técnicas e decisões políticas voltadas à melhoria da infraestrutura e dos serviços de transporte (Silva e Oliveira, 2018, Santos *et al.*, 2019).

A amplitude do levantamento abarca a medição de inúmeros parâmetros: volume veicular, composição modal — automóveis, motocicletas, ônibus, caminhões, bicicletas e pedestres —, velocidades médias, tempos de percurso, densidades e distribuições horárias de fluxo. Tais registros detalhados permitem não apenas avaliar capacidade e desempenho, mas também localizar gargalos, pontos críticos e zonas

de conflito que comprometem a fluidez e a segurança no trânsito (Vasconcellos, 2012, Ferreira *et al.*, 2020). Outro desdobramento relevante envolve o cálculo de indicadores como fator de ocupação, taxa de retardamento e níveis de serviço, que traduzem números brutos em métricas compreensíveis para gestores e sociedade, ampliando a robustez das análises comparativas e históricas.

Para captar esse universo de dados, recorre-se a métodos e dispositivos variados, escolhidos conforme os objetivos do estudo, a complexidade da malha e os recursos disponíveis. Entre as técnicas clássicas figura a contagem manual, em que agentes registram o movimento veicular em pontos estratégicos, normalmente durante janelas temporais reduzidas ou campanhas pontuais. Paralelamente, expandem-se as contagens automáticas, amparadas por laços indutivos no pavimento, sensores infravermelhos, câmeras com reconhecimento de imagens e radares, proporcionando coleta contínua, escala ampliada e facilidade de pós-processamento (Oliveira e Costa, 2020, Almeida *et al.*, 2021).

Além das contagens, destacam-se os estudos de origem e destino, cujo propósito é mapear as rotas realmente percorridas pelos usuários. Essas investigações recorrem a entrevistas presenciais, questionários, análise de registros de dispositivos móveis, GPS e outras tecnologias de rastreamento, revelando padrões de deslocamento detalhados. Tal conhecimento é vital para o planejamento integrado, pois aponta demandas específicas por modal, orienta a calibragem da oferta de serviços e fornece bases sólidas para otimizar a distribuição dos fluxos (Pereira e Gomes, 2022, Ferreira *et al.*, 2020).

A frequência com que se executam os levantamentos varia segundo o escopo definido: pode ser contínua, periódica ou pontual. Em metrópoles de grande porte, ganha força a adoção de sistemas de monitoramento em tempo real, que capturam informações ininterruptamente e permitem acompanhar o pulso diário das condições de tráfego, detectando rapidamente anomalias operacionais, como congestionamentos ou acidentes (Martins e Silva, 2023, CONTRAN, 2014).

O tratamento analítico desses dados evoluiu com recursos de big data, inteligência artificial e algoritmos de machine learning. Essas ferramentas lidam com volumes massivos de informação, extraem padrões complexos e produzem previsões de alta acurácia, traduzindo-se em gerenciamento mais proativo e eficiente dos sistemas de transporte (Souza *et al.*, 2022, Almeida e Rodrigues, 2023).

Convém frisar que a qualidade do levantamento depende da solidez metodológica, da calibração dos instrumentos e da competência técnica das equipes encarregadas da coleta e da interpretação dos resultados. Investir em equipamentos atualizados, formação profissional e revisão periódica dos procedimentos é condição *sine qua non* para garantir que os dados espelhem a realidade operacional e subsidiem intervenções eficazes (Silva e Oliveira, 2018, Santos *et al.*, 2019). Em síntese, o levantamento de tráfego constitui ferramenta indispensável à construção de uma mobilidade urbana sustentável. Ao prover informações essenciais para projetos que visam eficiência, segurança e acessibilidade, ele permite vislumbrar tendências e guiar ajustes frente a mudanças demográficas, econômicas ou tecnológicas, posicionando-se como peça central na jornada rumo a cidades mais inteligentes e resilientes (Vasconcellos, 2012, Pereira e Gomes, 2022).

4.7 Simulação computacional para gerenciamento de tráfego

As ferramentas de simulação computacional têm se destacado como instrumentos indispensáveis para a análise, planejamento e gestão do tráfego urbano, possibilitando a modelagem precisa e dinâmica dos sistemas viários em ambientes virtuais. A capacidade de criar cenários simulados permite o estudo detalhado de intervenções diversas, como alterações geométricas, implantação de dispositivos de controle e mudanças operacionais, sem a necessidade de experimentação direta no sistema real, reduzindo custos e evitando impactos adversos temporários no trânsito (Harrison, 2013, Ferreira e Santos, 2020).

De acordo com Negrão *et al.* (2017), esses softwares são aplicados em variadas escalas, desde micro simulações que representam o comportamento individual dos veículos, até modelos macroscópicos que analisam o fluxo global do tráfego. Essa versatilidade torna a simulação uma ferramenta essencial para compreender interações complexas em interseções, corredores e áreas urbanas extensas. A modelagem computacional facilita a identificação dos principais pontos de conflito, gargalos e possíveis falhas na infraestrutura, orientando o desenvolvimento de soluções baseadas em evidências empíricas e otimizações técnicas.

Pais *et al.* (2022) demonstram que o uso do Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) é uma estratégia eficaz para analisar o desempenho viário em ambientes

reais, como exemplificado no estudo da avenida Fernandes Lima, em Maceió. Através de múltiplos experimentos computacionais, o software possibilitou a avaliação de diferentes configurações semaforicas e geométricas, resultando em melhorias significativas de até 10,77% no volume de tráfego e na eficiência operacional. Estudos similares reforçam que a simulação permite a análise de fluxos veiculares sob condições variadas, incluindo horários de pico, eventos especiais e obras urbanas, promovendo maior robustez na gestão do trânsito (Costa e Lima, 2018, Souza e Martins, 2019).

Amorim Júnior (2024) aplicou o SUMO para identificar e analisar os principais fatores que causam congestionamento em cruzamentos urbanos, destacando o uso da simulação para testar alternativas operacionais como o ajuste do tempo dos sinais e restrições de movimentos específicos. O autor enfatiza a capacidade do simulador de projetar cenários futuros com diferentes níveis de demanda e alterações no comportamento dos usuários, permitindo uma análise prospectiva que ajuda a prevenir a saturação do sistema viário.

Na mesma linha, Silva *et al.* (2020) utilizaram o software *Traffic Software Integrator System* (TSIS) para otimizar os tempos de ciclos semaforicos em uma região de Uberaba (MG). Através da simulação, foram testados cenários de redução e aumento nos tempos de verde dos semáforos, verificando a repercussão dessas alterações na fluidez do tráfego. O estudo mostrou que pequenas modificações nos ciclos podem ter efeitos substanciais no desempenho geral do sistema, uma evidência da sensibilidade do tráfego urbano a ajustes operacionais precisos.

Negrão *et al.* (2017) apresentaram também o uso do JaamSim para analisar interseções semaforizadas em Medianeira (PR), indicando que a simulação é uma ferramenta útil para testar a eficácia de ajustes nos tempos dos sinais, contribuindo para a redução de congestionamentos e aumento da capacidade viária. Além disso, os autores discutem a importância da modelagem para a avaliação de projetos de infraestrutura, reforçando a necessidade de análises dinâmicas e contínuas para a gestão eficiente do tráfego.

Softwares como VISSIM, AIMSUN e PARAMICS são amplamente reconhecidos no cenário internacional pela sua capacidade de realizar simulações microscópicas detalhadas, incorporando modelos comportamentais realistas que simulam o comportamento dos motoristas, veículos, ciclistas e pedestres. Estes programas são

capazes de integrar múltiplos modos de transporte, permitindo avaliar o impacto de políticas de mobilidade sustentável, como a priorização do transporte público, implantação de ciclovias e calçadas acessíveis (Barbosa *et al.*, 2018, Ferreira *et al.*, 2021). O uso desses softwares possibilita o planejamento integrado e a avaliação de estratégias que consideram a diversidade dos usuários e modos de deslocamento.

Outra evolução significativa nas simulações computacionais é a incorporação de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina para aprimorar a precisão dos modelos e adaptar as simulações em tempo real a partir de dados coletados por sensores, câmeras, dispositivos móveis e outras fontes conectadas via IoT (Internet das Coisas). Oliveira *et al.* (2020) destacam que essas tecnologias permitem calibrar modelos de tráfego conforme as condições reais, possibilitando previsões mais fidedignas e respostas rápidas a eventos inesperados, como acidentes, congestionamentos repentinos ou condições climáticas adversas. Carvalho e Lima (2022) enfatizam a importância dessas abordagens para a construção de sistemas de gerenciamento de tráfego inteligentes, que aprendem e se adaptam continuamente.

A integração dessas plataformas digitais com sistemas de controle de tráfego permite a criação de centros de operação integrados, onde os dados são visualizados e analisados em tempo real, facilitando a coordenação entre os órgãos gestores e a comunicação eficiente com os usuários por meio de aplicativos móveis, painéis eletrônicos e outros canais digitais (Moreira *et al.*, 2023, Santos e Almeida, 2020). Essas soluções contribuem para o monitoramento constante do desempenho viário, a identificação precoce de problemas e a rápida implementação de medidas mitigadoras, o que se torna cada vez mais essencial diante do crescimento das demandas urbanas.

Além disso, as simulações computacionais são fundamentais para o desenvolvimento e avaliação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e equidade no transporte urbano. Elas permitem testar, por exemplo, os impactos da restrição ao uso de veículos particulares, da ampliação das áreas de pedestres, da criação de zonas de baixas emissões e da priorização dos modos ativos e coletivos, fornecendo um ambiente controlado para medir os efeitos dessas medidas antes de sua implantação física (Almeida e Rodrigues, 2020, Torres e Lima, 2018). Dessa forma, o planejamento urbano pode ser orientado por evidências técnicas robustas, minimizando riscos e maximizando benefícios sociais e ambientais.

Essas ferramentas têm sido incorporadas também em processos participativos, onde dados e simulações são compartilhados com a sociedade, aumentando a transparência e a legitimidade das decisões. A interação entre gestores, técnicos e cidadãos possibilita ajustes mais alinhados às necessidades reais da população, fortalecendo o papel da simulação como instrumento de apoio à governança urbana (Pereira *et al.*, 2021).

A contínua evolução das tecnologias de simulação computacional, associada ao aumento da capacidade computacional e à expansão das redes de dados, indica que esses recursos tendem a se tornar ainda mais acessíveis e integrados aos sistemas de gerenciamento urbano. Isso reforça a relevância do investimento em capacitação técnica e infraestrutura digital para os órgãos responsáveis, consolidando a simulação como ferramenta indispensável no enfrentamento dos desafios do trânsito contemporâneo.

4.8 JaamSim

O JaamSim configura-se como uma ferramenta robusta de simulação de eventos discretos, gratuita e de código aberto, desenvolvida na linguagem de programação Java. Sua principal vantagem reside na combinação entre a flexibilidade para modelagem e a interface gráfica intuitiva, que facilita a construção e visualização de modelos complexos, permitindo a simulação detalhada do comportamento dinâmico de entidades dentro de sistemas variados, como o fluxo de veículos em redes viárias urbanas, processos industriais e operações logísticas (Oliveira *et al.*, 2025, King e Harrison, 2013).

O funcionamento do JaamSim baseia-se em três elementos fundamentais que estruturam os modelos: (i) as entidades, que representam os objetos móveis ou ativos, como veículos, pedestres ou materiais; (ii) as estações de trabalho, que correspondem aos locais ou pontos onde ocorrem processos ou eventos, por exemplo, cruzamentos, semáforos, pontos de parada e áreas de processamento; e (iii) os fluxos, que definem os caminhos possíveis e as regras de movimento das entidades dentro do sistema modelado, possibilitando a representação de trajetórias complexas e condições específicas de trânsito ou operação (King e Harrison, 2013; Silva *et al.*, 2021).

Dada a sua natureza flexível e de código aberto, o JaamSim tem sido amplamente adotado em diversas áreas acadêmicas e industriais para a realização de simulações que demandam alto grau de customização. Negrão *et al.* (2017) aplicaram o software para o estudo do tráfego em uma interseção semaforizada na cidade de Medianeira, Paraná. Nesse estudo, foram simulados diferentes cenários de tempos de sinalização para avaliar o impacto no fluxo de veículos. A análise indicou que a redução do tempo do sinal verde de 17 para 12 segundos, combinada com a diminuição do sinal vermelho de 40 para 30 segundos, resultou em uma diminuição significativa no comprimento das filas, estimada em 16,57%, e redução no tempo médio de espera dos veículos na ordem de 27,1%, demonstrando a capacidade do JaamSim para apoiar decisões operacionais no gerenciamento do trânsito.

Além do campo do tráfego, Ruane *et al.* (2022) exploraram o potencial do JaamSim na indústria, integrando-o ao *SimWrapper*, um *framework* que permite automatizar execuções de simulações e a coleta sistemática de dados. Na aplicação para a *Johnson e Johnson Vision Care*, o modelo digitalizado do sistema automatizado de carregamento de bandejas foi submetido a simulações repetidas para testar alternativas de operação e recomendar melhorias. O estudo evidenciou que o JaamSim, aliado a ferramentas de otimização, é capaz de suportar decisões complexas em processos industriais, promovendo eficiência e redução de custos.

Outra aplicação significativa foi apresentada por Oliveira *et al.* (2025), que empregaram o JaamSim para investigar a eficiência energética e a produtividade em uma planta siderúrgica brasileira. Por meio da simulação de múltiplos cenários operacionais, os autores propuseram estratégias que resultaram em um aumento estimado de 87% na produção diária e uma redução de 38,2% no consumo de energia elétrica. Esse exemplo destaca a versatilidade da ferramenta para análises de sistemas industriais complexos, onde a modelagem precisa de eventos discretos possibilita otimizações robustas.

No âmbito da manufatura, Nunes e Barbosa (2020) utilizaram o JaamSim para avaliar a eficiência e a carga de trabalho dos veículos guiados automaticamente (AGVs) responsáveis pelo transporte de materiais em uma fábrica de montagem de aeronaves. O modelo desenvolvido permitiu testar diferentes configurações operacionais e avaliar impactos sobre a produtividade, identificando alternativas para a melhoria do fluxo logístico e suporte à tomada de decisão. O estudo ressaltou as

vantagens do software, entre elas o baixo custo, a facilidade de adaptação para diversos contextos e a possibilidade de simular cenários antes da implementação prática, minimizando riscos operacionais.

O JaamSim também se destaca por suportar funcionalidades avançadas, como a definição de variáveis estatísticas para representar tempos de processo e tempos de espera, o uso de funções lógicas para definir regras condicionais, e a capacidade de integração com outras ferramentas e linguagens de programação para ampliar sua aplicabilidade (Silva *et al.*, 2021, Carvalho e Mendes, 2023). Além disso, o software possui suporte para animação gráfica, facilitando a visualização dos fluxos e o entendimento do comportamento do sistema, aspecto valorizado em apresentações técnicas e processos de validação junto a equipes multidisciplinares.

A comunidade de usuários e desenvolvedores do JaamSim contribui ativamente para a evolução da ferramenta, disponibilizando tutoriais, exemplos de modelos e atualizações regulares que ampliam as capacidades do software, tornando-o cada vez mais adequado para desafios modernos de simulação (Oliveira *et al.*, 2025). Essa característica reforça o papel do JaamSim como uma alternativa viável frente a softwares proprietários, especialmente em contextos acadêmicos, onde a acessibilidade e a adaptabilidade são cruciais.

A aplicabilidade do JaamSim abrange ainda áreas como o gerenciamento hospitalar, logística de armazéns, transporte público e simulação de processos de manufatura aditiva, demonstrando sua capacidade de modelar eventos discretos em sistemas heterogêneos e interativos (Martins *et al.*, 2022, Silva e Faria, 2019). Dessa forma, a ferramenta permite a avaliação de soluções inovadoras, além da análise de impactos de alterações operacionais em múltiplos setores.

5. METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

O local escolhido para o estudo se localiza na cidade de Balsas, situada ao sul do estado do Maranhão, no nordeste do Brasil, abrangendo uma área de 13.141,162 km², como pode ser visto na Figura 5. (IBGE).

Figura 5 - Região de Balsas - MA



Fonte: Wikipedia (2025)

Como Balsas se encontra em um crescimento urbano considerável, refletindo um crescimento de 21,66% entre os anos de 2010 e 2022 (IBGE, 2022), há regiões da cidade que podem ter sido projetadas para uma demanda, mas que agora se encontram congestionadas, como é o caso do cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva que pode ser visto na Figura 6, 7 e 8.

Figura 6 - Cruzamento entre a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva escolhido para o estudo



Fonte: Adaptado Google Earth (2025)

Figura 7 - cruzamento e seus movimentos



Fonte: Adaptado Google Earth (2025)

Figura 8 - Imagem do cruzamento

Fonte: Autor (2025)

A rua José Leão trata-se de uma via com uma faixa com mão única no sentido norte-sul. Essa via possui considerável número de serviços, como acesso a órgãos públicos como a Vara do Trabalho de Balsas, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) e a Prefeitura Municipal de Balsas; instituições de ensino como a Unidade Integrada Professor Luiz Rego, Universidade Federal do Maranhão (UEMA) e Escola Municipal Maria Justina Serrão; serviços de atendimento à saúde como o Heomar – Agencia de Balsas, Clínica Clifisa: Fisioterapia e Saúde, Uniclín: Clínica Médica e Medicina do Trabalho, Rádio Center, Dentare Integra, I.FACE Radiologia – Balsas, Odonto Special Balsas, Dra. Hilderlane Borges (cardiologista) e Botopremium Balsas. Segundo o DNIT (2006), órgãos públicos, instituições de ensino, serviços de saúde e estabelecimentos diversos são considerados polos geradores de tráfego, pois concentram atividades que atraem elevado número de pessoas e veículos, influenciando significativamente os volumes de tráfego nas vias em que se localizam.

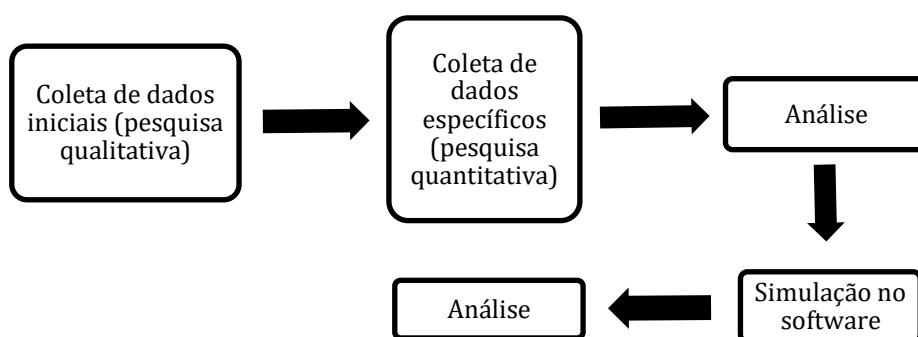
Já a rua Prefeito Edisio Silva, trata-se de uma via de uma faixa com mão única no sentido Leste-Oeste. Em termos urbanos, ela inicia na Travessa Gilardi Pires, qual passa lateralmente a praça Eloy Coelho, um ponto frequentado pela população, principalmente por conta da presença de ambulantes no local. A via também conta com a Loterias Boa sorte, Centro Recreativo Balsense e Banco do Brasil, todos localizados a frente da praça Eloy Coelho. Seguindo de leste ao oeste, da Travessa Gilardi Pires a caminho do cruzamento estudado é possível encontrar o Hospital Balsas Urgente (HBU), lojas como Cantinho do bebê Balsas, Rei das Capinhas.

Essa interseção recebe um volume considerável de tráfego por estar localizada no centro da cidade e próxima a polos geradores de viagens, como instituições de ensino, serviços de saúde e diversos órgãos públicos. Tal concentração de atrativos aumenta significativamente a demanda viária, sobretudo nos horários de pico, o que eleva o risco de conflitos viários, como disputas de espaço entre veículos, conversões forçadas e dificuldades para travessia de pedestres. Além disso, o elevado fluxo de veículos pode gerar retenções e filas, impactando a fluidez e aumentando a probabilidade de acidentes, principalmente em horários de maior movimento (*Highway Capacity Manual*, 2010).

5.2 Coleta de dados

Esta pesquisa utilizou dois métodos para analisar as vias escolhidas: o estudo de caso, para obter dados concretos de forma ampla e detalhada da situação atual das vias, e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo (Negrão *et al.*, 2017). Em seguida foi realizada a simulação do software e analisou-se os resultados conforme a Figura 9.

Figura 9- Fluxograma das etapas do projeto

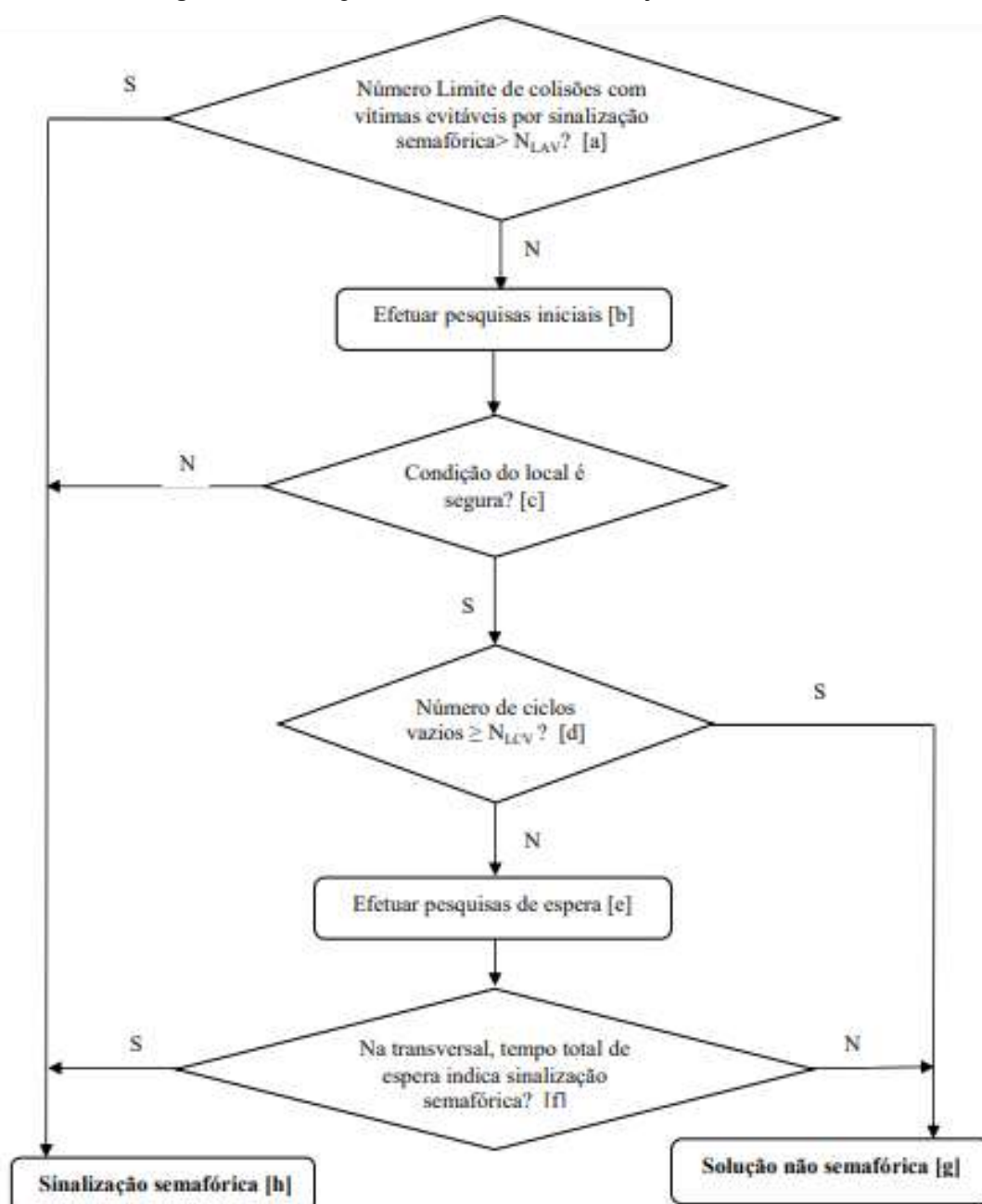


Fonte: Autor (2025)

Para a realização da coleta de dados desse trabalho baseou-se nas etapas de pesquisa de Loch (2015), onde foram utilizadas duas etapas: uma qualitativa e quantitativo. Na primeira etapa realizou-se observações *in loco* para identificar quais períodos do dia e da semana que ocorrem o maior número de fluxo de veículos em

circulação na interseção, o possível motivo para a formação congestionamentos, assim como, verificar quais serão as principais complicações na via que atrapalham a mobilidade urbana do local, tanto para pedestres quanto para os condutores. Nessa etapa da pesquisa é necessário considerar os critérios exigidos pelo CONTRAN (2014) para verificar a necessidade da implantação de sinalização semafórica de acordo com a Figura 10.

Figura 10- Fluxograma de critérios de avaliação do CONTRAN



Legenda: S=Sim; N=Não

Fonte: CONTRAN (2014)

Em seguida, com os dados obtidos pela etapa qualitativa, estipulou-se períodos do dia para a realização de uma abordagem quantitativa, permitindo uma análise detalhada e contextualizada do fenômeno. A pesquisa quantitativa baseia-se na coleta e análise de dados numéricos para identificar padrões, correlações e generalizações, sendo comum em ciências exatas e sociais para investigar fenômenos quantificáveis (Amorim Júnior, 2024). De acordo com o CONTRAN (2014) a coleta deve seguir as seguintes especificações:

- A coleta de dados de volume veicular deve ser realizada em dias considerados representativos das condições típicas do tráfego, como dias úteis, feriados ou finais de semana, de acordo com o objetivo da programação semaforica a ser elaborada;
- Recomenda-se a presença de um pesquisador para cada aproximação, de modo que cada um colete dados de, no máximo, 3 movimentos (por exemplo, em frente, à direita e à esquerda) o que reduz erros de contagem;
- Os dados coletados devem ser registrados manualmente em intervalos de 15 minutos, de forma acumulada, utilizando croquis e formulários específicos (como o mostrado na Figura 11), e devem ser anotadas quaisquer interferências que possam influenciar os resultados.

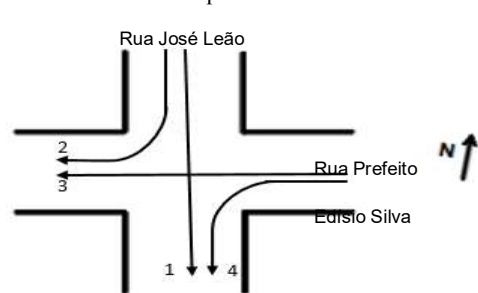
Figura 11 - Exemplo de folha de campo para pesquisa volumétrica direcional

PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO DIRECIONAL			
Local:		x	
Aproximação:			
Croqui:			
Pesquisador:			
Data:		Dia da Semana:	
Hora		↶	↷
7:00 - 7:15			
7:15 - 7:30			
7:30 - 7:45			
7:45 - 8:00			
8:00 - 8:15			
8:15 - 8:30			
8:30 - 8:45			
8:45 - 9:00			
9:00 - 9:15			
9:15 - 9:30			
Observações:			

Fonte: CONTRAN (2014)

Com base nas especificações descritas pelo CONTRAN, optou-se por realizar duas coletas de dados: a primeira dos dias 03/06/25 a 05/06/25 e a segunda de 08/07/25 a 10/07/25. Elas foram realizadas em três dias úteis consecutivos: terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. No que diz respeito ao horário escolhido para a coleta, a primeira foi realizada nos horários período de pico da tarde, compreendido entre 18h30 e 19h30, faixa na qual se observa normalmente maior fluxo de veículos, associado ao retorno de atividades. Para categorizar ainda mais precisamente o cruzamento, a segunda coleta foi realizada nos horários das 11h30 às 12h30. Os dados foram registrados em uma folha de campo de pesquisa (conforme mostra a Figura 12), com intervalos regulares de 15 minutos, diferenciando os movimentos realizados pelos veículos, assim como a direção de origem em cada aproximação do cruzamento.

Figura 12- Folha de campo para pesquisa volumétrica utilizada no trabalho.

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador:				
Data:			Dia da semana:	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
18:30 - 18:45				
18:45 - 19:00				
19:00 - 19:15				
19:15 - 19:30				
Observações:				

Os movimentos apresentados no croqui da Figura 12 pelo cruzamento são descritos como:

- Movimento 1: Refere-se ao tráfego proveniente da Rua José Leão, com origem no ponto norte do cruzamento, seguindo em linha reta a via em direção ao sul;
- Movimento 2: Envolve os veículos que trafegam pela Rua José Leão com origem ao norte e que realizam a conversão a direita para acessar a Rua Prefeito Edisio Silva, seguindo em direção ao oeste. Trata-se de uma conversão simples;
- Movimento 3: Corresponde ao fluxo que percorre a Rua Prefeito Edisio Silva com origem no lado leste e destino ao lado oeste do cruzamento;
- Movimento 4: Refere-se aos veículos que se deslocam pela Rua Prefeito Edisio Silva, com origem no ponto leste do cruzamento, e realizam a conversão à direita em direção à Rua José Leão, seguindo rumo ao sul.

Para a contagem volumétrica realizada no cruzamento, os veículos foram classificados em três categorias: carros, motos e ambulâncias. Essa separação foi adotada devido às diferenças no comportamento viário, pois motos possuem maior agilidade e ocupam menos espaço, enquanto carros têm dimensões maiores e impacto mais significativo na capacidade das vias (*Highway Capacity Manual*, 2010). As ambulâncias foram registradas à parte devido à proximidade do Hospital Balsas Urgente (HBU), pois representam veículos de prioridade legal que podem demandar ajustes específicos na operação semafórica de acordo com a Lei nº 9.503, de 1997.

5.3 Cálculo

Para ter uma visão inicial do desempenho do cruzamento foram utilizados meios matemáticos através das equações de volume veicular, fator de ponta, ciclo semafórico, tempo médio de espera e comprimento médio da fila.

Segundo o DNIT (2005), o volume veicular corresponde à quantidade de veículos que passa por um ponto específico da via em determinado intervalo de tempo, geralmente expresso em veículos/hora. É um dado fundamental para dimensionar infraestruturas viárias, planejar sinalizações e avaliar a eficiência do sistema viário. Ele é descrito pela equação 1.

$$V_v = \frac{n}{t} * 3600; \quad (1)$$

Onde:

V_v = Volume veicular (veículo/h);

n = Número de veículos contados;

t = Tempo de contagem (s).

Outro dado importante de se calcular é o fator de ponta, o qual expressa a intensidade do tráfego durante os horários de maior movimento em relação à média horária. Ele é essencial para dimensionar vias, cruzamentos e sistemas semafóricos capazes de suportar os picos de demanda, evitando colapsos no tráfego (*Highway Capacity Manual*, 2010). É descrito pela equação 2.

$$FP = \frac{V_{pico}}{V_{medio}} \quad (2)$$

Onde:

FP = Fator de ponta;

V_{pico} = Maior valor no intervalo de 15 min;

V_{medio} = Volume médio da hora (veículo/h).

O ciclo semafórico é o tempo total necessário para o semáforo completar todas as suas indicações (verde, amarelo e vermelho). Determinar adequadamente este ciclo é fundamental para minimizar atrasos, reduzir filas e garantir maior segurança nas interseções. Segundo a formula de Webster, representada pela equação 3:

$$C = \frac{1,5 * L + 5}{1 - Y}; \quad (3)$$

Onde:

C = Ciclo do semáforo;

L = Tempo total perdido por ciclo (4s por fase);

Y = Soma das taxas de fluxo de saturação dos movimentos.

Para calcular o valor da taxa de fluxo Y utiliza-se a equação 4.

$$Y = \sum \frac{v_i}{s_i}; \quad (4)$$

Onde:

Y = Taxa de fluxo;

v_i = Volume do movimento (veículos/h);

s_i = Capacidade base da faixa (veículos/h).

Já o tempo médio de espera indica por quanto tempo, um veículo permanece parado na fila durante o sinal vermelho, sendo fundamental para identificar se a extensão da via é suficiente para comportar a demanda de tráfego sem causar bloqueios em vias adjacentes ou cruzamentos próximos DNIT (2005). Esse tempo pode ser estimado com base na equação 5.

$$TME = \frac{C * (1 - \frac{G}{C})^2}{2 * (1 - y)} ; \quad (5)$$

Onde:

TME: tempo médio de espera (s);

C: ciclo total do semáforo (s)

G: tempo de verde efetivo para o movimento (s)

Y = Taxa de fluxo.

O comprimento médio da fila indica a quantidade média de veículos parados em um cruzamento. É importante para avaliar se o tempo do semáforo é suficiente, evitar bloqueios em outras vias e planejar melhorias na via, garantindo mais segurança e fluidez no trânsito (*Highway Capacity Manual*, 2010). Para calcular esse comprimento, utiliza-se a equação 6.

$$L = \frac{v_i * TME}{3600} * l; \quad (6)$$

Onde:

L: comprimento médio da fila (m)

v_i = Volume do movimento (veículos/h);

TME: tempo médio de espera (s);

l: comprimento médio de um veículo na fila (m).

5.4 Simulação no JaamSim

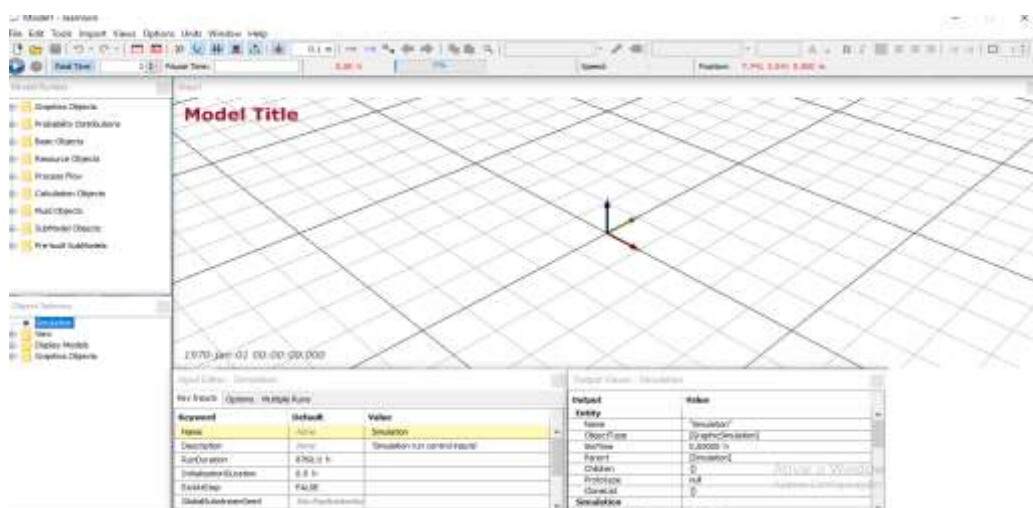
O JaamSim possui uma interface intuitiva, contendo a função "arrastar e soltar", opções para edição de parâmetros de entrada e arte 3D. O software consiste em três

classes básicas de objetos para a simulação de eventos discretos: o gerenciador de eventos, que gerencia o tempo e as restrições da simulação; a entidade, que percorre o sistema simulado; e o processo, que permite que as atividades sejam executadas pela entidade. O software atende a todos os requisitos de um projeto de simulação, desde a construção do modelo computacional até a análise desses modelos (Oliveira, *et al.*, 2025).

Segundo o *JaamSim Development Team* (2021), durante a simulação, o usuário define os parâmetros de entrada, como tempos de chegada, duração de processos e lógicas de controle. O sistema processa esses dados, registrando as interações entre os componentes ao longo do tempo simulado. Ao final da execução, o software fornece um conjunto de resultados quantitativos e gráficos que permitem a análise do desempenho do sistema modelado.

Ao iniciar o JaamSim, o usuário é apresentado a uma interface gráfica composta por distintas áreas funcionais, destinadas ao desenvolvimento e à execução de modelos de simulação. Conforme ilustrado na Figura 13 na parte superior da janela principal localiza-se a barra de menus, a qual disponibiliza acesso às principais funcionalidades do software. Entre essas funcionalidades, destacam-se a criação, abertura e salvamento de projetos, bem como ferramentas para edição de elementos, configuração da visualização, controle da execução da simulação e acesso à documentação técnica do programa.

Figura 13- Tela inicial do JaamSim



Fonte: Autor (2025)

Ao centro, localiza-se a janela gráfica 3D, onde o modelo é construído e visualizado em um ambiente tridimensional, permitindo ao usuário inserir, posicionar e manipular os objetos que compõem a simulação. Do lado esquerdo da janela gráfica 3D está o *Model Builder*, um painel que exibe a estrutura do modelo em forma de árvore, permitindo visualizar, organizar e gerenciar todos os objetos e componentes da simulação. Nele, é possível criar, renomear, duplicar ou excluir elementos, além de acompanhar a hierarquia dos processos.

Abaixo do *Model Builder* encontra-se o *Object Selector*, um painel que apresenta uma listagem hierárquica de todos os objetos inseridos no projeto, facilitando a seleção, organização e até a renomeação dos componentes do modelo. Abaixo da janela gráfica 3D, está o painel denominado *Input Editor*, responsável por exibir e permitir a edição dos parâmetros e propriedades dos objetos selecionados. Esse painel define características como tempos de processamento, capacidades, velocidades, dimensões e outros atributos específicos de cada entidade do modelo.

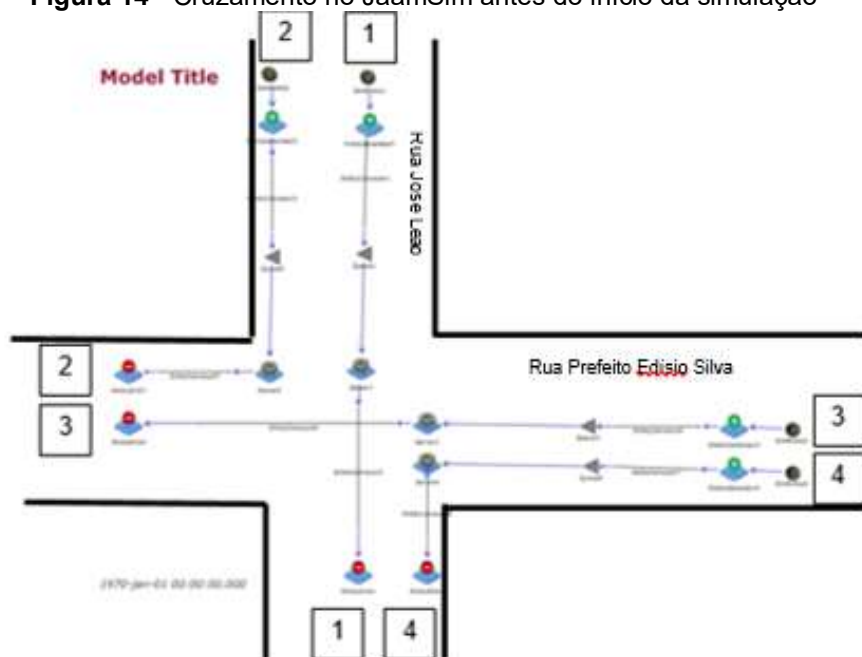
Além desses, o software disponibiliza o *Output Viewer*, uma janela localizada ao lado da *Input Editor*, que permite acompanhar os resultados gerados pela simulação por meio de gráficos, tabelas e indicadores estatísticos, possibilitando uma análise detalhada do desempenho do sistema modelado.

Para a simulação em si, a modelagem inicia-se com a construção do ambiente simulado por meio do módulo *Model Builder*, nele são inseridos os componentes do sistema viário: fluxos de veículos (entidades), vias de circulação, filas de espera, controladores semafóricos e pontos de origem e destino.

Cada elemento incorporado ao modelo é configurável por meio do *Object Selector*, que permite a definição de parâmetros operacionais como frequência de chegada dos veículos, tempos de sinalização, capacidade de armazenamento de filas, lógicas de conversão, prioridade de travessia e regras de comportamento. Essas variáveis serão ajustadas com base nos dados coletados em campo para garantir maior precisão na simulação.

Durante a execução da simulação, o sistema é processado por um motor de eventos que atualiza os estados dos componentes de forma cronológica, com base nas interações entre os elementos. É possível observar o deslocamento dos veículos, o acúmulo nas filas e os tempos de espera, como pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Cruzamento no JaamSim antes do início da simulação



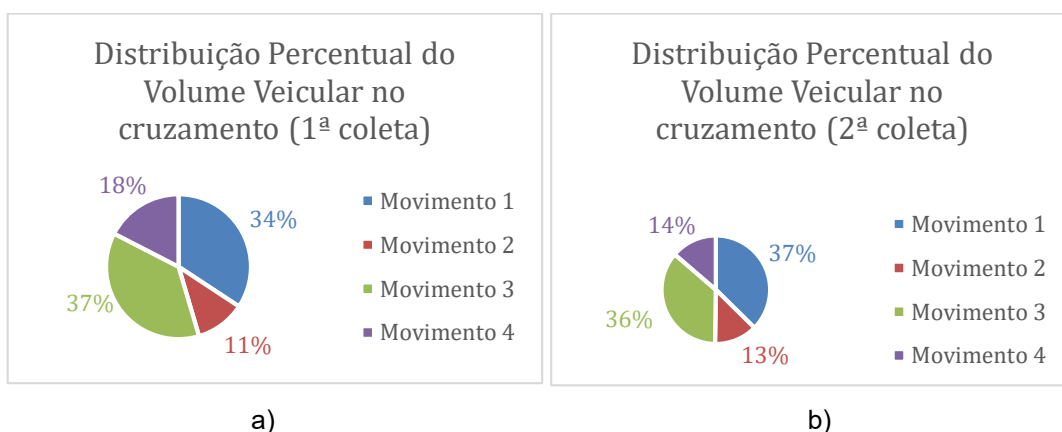
Fonte: Autor (2025)

6. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das coletas de dados, análises e simulações realizadas. Os achados refletem o desempenho atual do cruzamento estudado, bem como os impactos observados com a aplicação de diferentes configurações semaforicas no JaamSim, permitindo uma visão comparativa entre os cenários propostos.

6.1. Tráfego

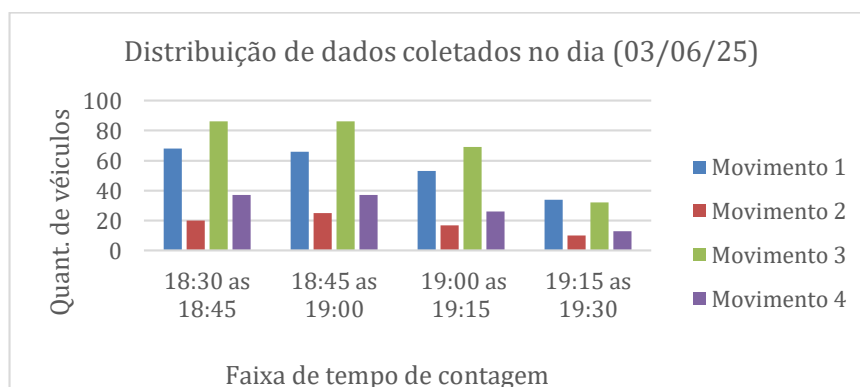
Após a coleta e sistematização dos dados de campo, foi possível realizar uma análise detalhada do comportamento do tráfego no cruzamento estudado, considerando os quatro movimentos veiculares identificados. A Figura 15 apresenta a distribuição percentual do volume veicular observado na interseção, com base nas medições realizadas em dois períodos distintos: um no turno vespertino (das 18h30 às 19h30) e outro no turno matutino (das 11h30 às 12h30).

Figura 15- Gráfico de distribuição Percentual do Volume Veicular no Cruzamento

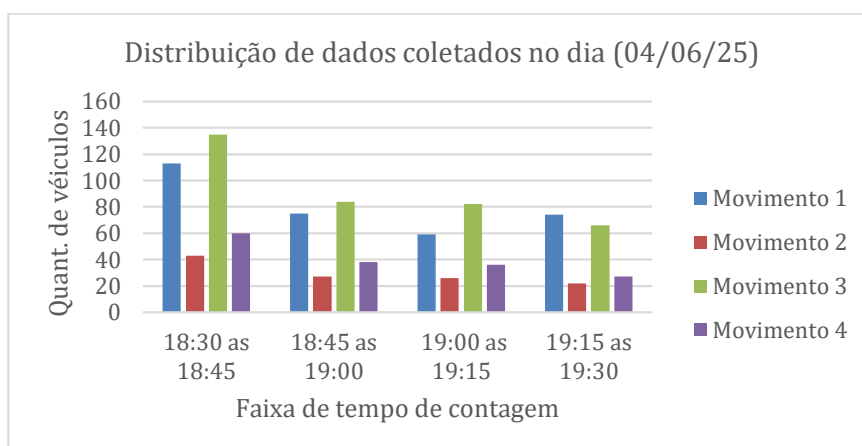
Fonte: Autor (2025)

Pelos resultados obtidos é possível observar que a Rua Prefeito Edisio Silva, representada pelos movimentos 3 e 4, apresentam volumes de tráfego ligeiramente maiores que a Rua José Leão, representada pelos movimentos 1 e 2. Tal fato é comprovado ao observar a Figura 15 a) e b), onde da primeira rua corresponde a 55% e 50% na primeira e segunda coleta de dados, respectivamente. Como dito anteriormente, a Rua Prefeito Edisio Silva possui geradores de tráficos consideráveis, enquanto a Rua José Leão possui maior quantidade de entidades atrativas ao público.

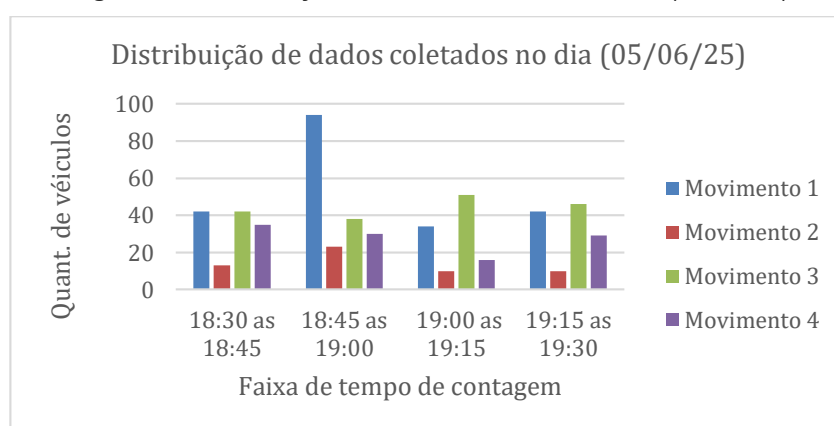
Com os dados coletados foram elaboradas as Figuras 16, 17 e 18, que detalham a distribuição de volumes ao longo dos dias 03, 04 e 05 de junho, para o intervalo entre 18h30 e 19h30. Essa faixa horária coincide com o final do expediente e deslocamentos de retorno, em consonância com o padrão de horários de pico estabelecido pelo DNIT (2005), que delimita os intervalos de maior concentração de fluxo entre 6h30–8h30 e 17h30–19h30.

Figura 16 – Distribuição de dados coletados no dia (03/06/25)

Fonte: Autor (2025)

Figura 17-Distribuição de dados coletados no dia (04/06/25)

Fonte: Autor (2025)

Figura 18 -Distribuição de dados coletados no dia (05/06/25)

Fonte: Autor (2025)

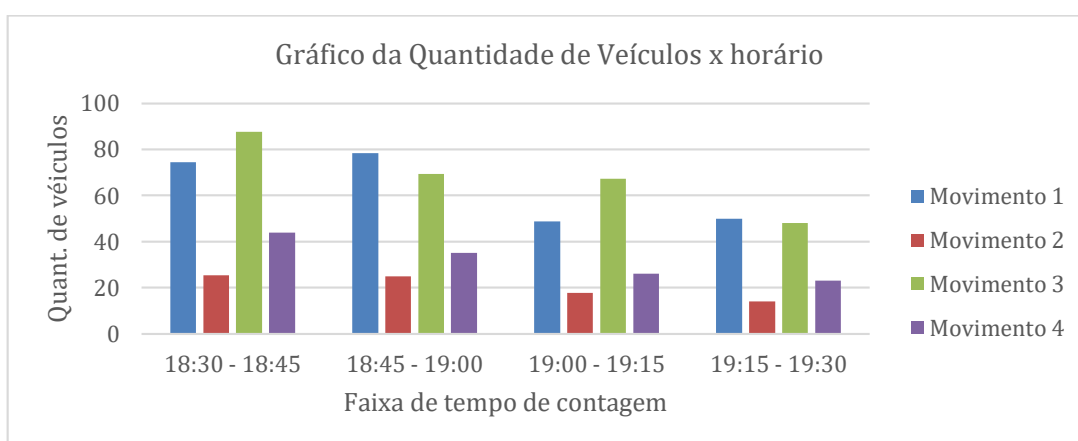
Ao analisar a Figura 16 e a Figura 17, observa-se que os maiores fluxos veiculares ocorrem no período entre 18h30 e 19h00. Após esse intervalo, foi possível observar uma redução gradual no número de veículos, ou seja, esse ponto corresponde ao pico da via durante esse horário (*Highway Capacity Manual*, 2010). Com a liberação do fluxo acumulado cruzamentos e a diminuição da chegada de veículos provenientes das principais vias de acesso, o volume tende a se estabilizar em patamares menores. Esse comportamento, principalmente durante horário, está relacionado ao fim das jornadas de trabalho e retorno dos funcionários a suas residências (Bharti *et al.*, 2013). Tais picos são característicos de ambientes urbanos com predomínio de uso misto do solo e alta densidade de atratividade de tráfego (Vasconcellos, 2000).

Já Figura 18 apresenta uma discrepância em relação as outras, tendo o movimento 2 atingindo um pico de fluxo entre 18:45 e 19:00. O *Highway Capacity*

Manual (2010) afirma que oscilações nos volumes de tráfego são comuns em áreas urbanas, essa variação pode ser atribuída a fatores como desvios temporários de tráfego devido a obras, acidentes, eventos específicos ou até alterações no comportamento dos motoristas em busca de rotas alternativas. Em análises semelhantes, Campos e Lima (2018) observam que essas flutuações são acentuadas em cidades médias sem controle semafórico coordenado.

A Figura 19 apresenta a média de veículos por hora no cruzamento durante a primeira campanha de medição, consolidando os dados em quatro intervalos de 15 minutos.

Figura 19 – Gráfico da média de veículos/hora no cruzamento das 18:30 às 19:30



Fonte: Autor (2025)

Observa-se que os movimentos 1 e 3 são aqueles que apresentaram maiores de volumes de tráfego, com valores próximos, sendo seguidos pelo movimento 4 e por fim o 2, com o menor número de veículos observados. Ressalta-se ainda a alternância pontual entre os volumes dos movimentos 1 e 3, cujas diferenças, apesar de presentes, mantêm-se dentro de uma faixa de oscilação típica de interseções urbanas. Segundo Silva e Torres (2017), essa alternância pode ser interpretada como reflexo da aleatoriedade natural dos sistemas viários urbanos, especialmente em locais onde o controle de tráfego é deficiente ou inexistente.

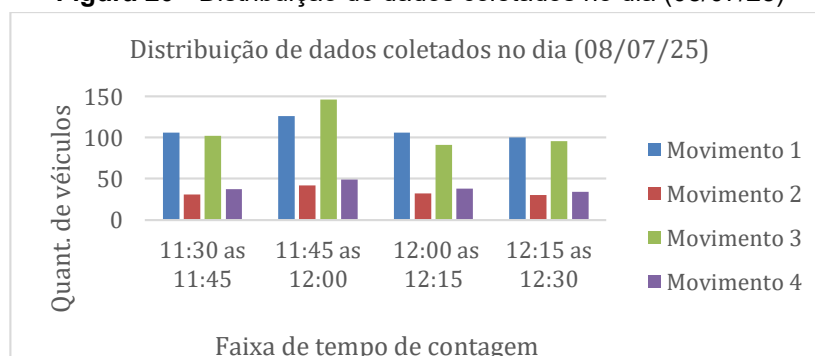
Esse comportamento oscilatório é típico em interseções urbanas e pode ser explicado por variações naturais na chegada de veículos, que ocorrem em função da demanda das vias adjacentes, da presença de interseções próximas e do efeito de chegada em ondas, frequentemente causado por semáforos ou pequenos congestionamentos a montante (Loch, 2015). Assim, mesmo com as oscilações

temporais, verifica-se um padrão estável de equilíbrio entre os principais fluxos. Essa dinâmica ressalta a necessidade de modelagem mais robusta que considere variações estocásticas, como sugerem Basso e Silva (2020), os quais recomendam o uso de simulações baseadas em dados reais de campo com intervalos de confiança estabelecidos.

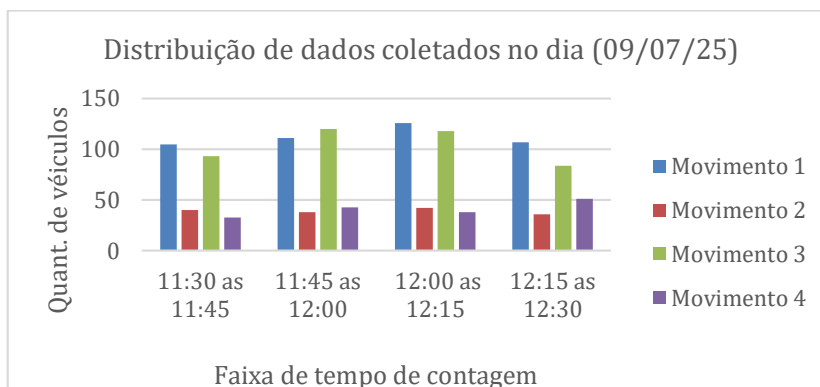
Essas demandas podem ser explicadas pela presença de importantes geradores de tráfego nas vias, como a Loteria Boa Sorte, o Centro Recreativo Balsense, o Banco do Brasil e o Hospital Balsas Urgente (HBU) na rua Prefeito Edisio Silva. Conforme a CET (2015), hospitais, bancos, estabelecimentos comerciais, instituições educacionais e centros recreativos são considerados polos geradores de tráfego e podem influenciar significativamente o desempenho das interseções próximas. Já a concentração do movimento 1 pode ser atribuído à concentração de órgãos públicos (Vara do Trabalho de Balsas, o SAAE e a Prefeitura Municipal de Balsas), centros de ensino (Unidade Integrada Professor Luiz Rego, UEMA e Escola Municipal Maria Justina Serrão) e serviços de atendimento à saúde (Henomar, Uniclin, Rádio Center, Dentare e Dra. Hilderlane Borges – cardiologista) presentes na rua (DNIT, 2005). Por fim, os movimentos 4 e 2 registraram os menores volumes, sendo o movimento 2 o que apresentou o fluxo mais baixo entre todos.

Com os dados obtidos na segunda campanha de coleta, foram elaboradas as Figuras 20, 21 e 22, que apresentam, respectivamente, os volumes registrados por movimento nos dias 08, 09 e 10 de julho, no intervalo entre 11h30 e 12h30. Esses resultados objetivam permitir a observação das tendências diárias e reforçar os padrões identificados anteriormente, por sua vez, aprofundam a análise ao representar visualmente os dados consolidados de volume veicular para os diferentes movimentos, ao longo de faixas temporais equivalentes nos dias analisados.

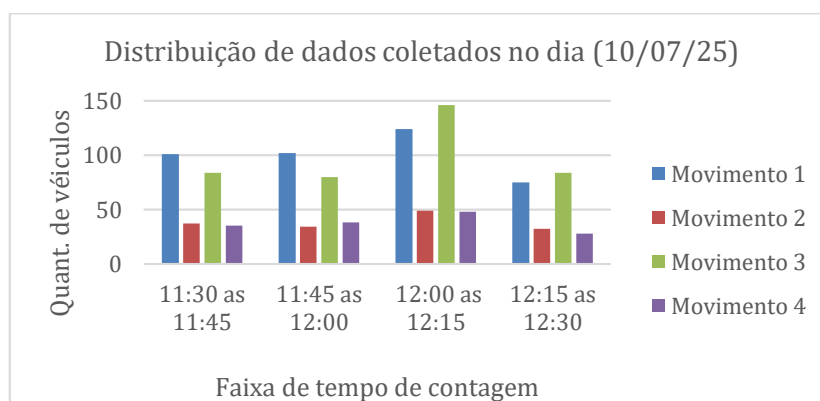
Figura 20 - Distribuição de dados coletados no dia (08/07/25)



Fonte: Autor (2025)

Figura 21 - Distribuição de dados coletados no dia (09/07/25)

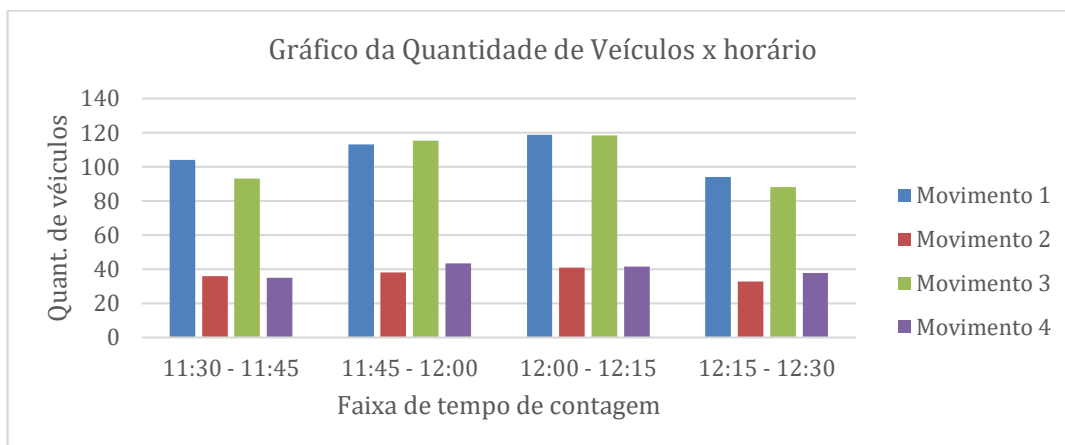
Fonte: Autor (2025)

Figura 22 - Distribuição de dados coletados no dia (10/07/25)

Fonte: Autor (2025)

Durante a segunda medição, observa-se um aumento leve nos valores com o passar do tempo, atingindo seu pico entre as 11:45 e 12:15, seguida por uma leve diminuição depois desse horário, com valores próximos entre os movimentos 1 e 3 e movimentos 2 e 4, como pode ser observado nas Figuras 20, 21 e 22.

Outro fator observado foi que houve maior similaridade entre os gráficos nos três dias de medições se comparados a primeira medição, onde foi possível observar maiores discrepâncias entre os três dias. A Figura 23 apresenta a média dos volumes horários do segundo período de coleta, consolidando os dados entre 11h30 e 12h30.

Figura 23 - Gráfico da média de veículos/hora no cruzamento das 11:30 às 12:30

Fonte: Autor (2025)

Durante a segunda coleta de dados, a diferença entre os volumes observados nos movimentos do cruzamento tornou-se menos evidente, com valores de fluxo relativamente próximos entre os movimentos 1 e 3, bem como entre os movimentos 2 e 4 (Figura 23). Esse comportamento pode ser atribuído ao horário em que a medição foi realizada, quando os geradores de tráfego urbano tendem a se equiparar, resultando em uma distribuição mais uniforme dos volumes veiculares. Tal fenômeno ocorre, quando a circulação é influenciada por deslocamentos para atividades cotidianas, como refeições e serviços. Nesse caso, provavelmente está relacionada à saída de estudantes e professores de centros de ensino próximos – como a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e a UEMA – e funcionários dos serviços de atendimento à saúde – como Henomar, Clínica Clifisa, Unicli, Rádio Center – para o horário de almoço (Batterman et al., 2014; Bharti et al., 2013).

Por conta do funcionamento desses geradores de tráfego, notou-se um volume maior de veículos na segunda medição se comparado a primeira. Na Figura 18, observa-se que o volume médio máximo obtido na primeira medição foi de aproximadamente 88 veículos nos movimentos 1 e 3; enquanto isso, na segunda medição, esse é o menor valor de volume médio encontrado para os mesmos movimentos (Figura 23).

A interpretação desses dados é corroborada por Loch (2015), que identifica a ocorrência de “ondas de chegada” em interseções urbanas não coordenadas, causadas por atrasos nas vias adjacentes, atuação de outros semáforos próximos e interação entre múltiplos fluxos convergentes. Assim, mesmo com as oscilações

temporais, verifica-se um padrão estável de equilíbrio entre os principais fluxos. Essa dinâmica ressalta a necessidade de modelagem mais robusta que considere variações estocásticas, como sugerem Basso e Silva (2020), os quais recomendam o uso de simulações baseadas em dados reais de campo com intervalos de confiança estabelecidos.

Dessa forma, a identificação de padrões de concentração nos movimentos 1 e 3 reforça a necessidade de priorização desses fluxos em eventuais propostas de reconfiguração semafórica, garantindo maior eficiência operacional e reduzindo o tempo de retenção veicular. Recomenda-se, em análises futuras, a incorporação de indicadores estatísticos adicionais — como desvio padrão, variância e coeficiente de variação — para ampliar a robustez da análise e permitir a aplicação de testes de hipótese sobre a equivalência dos fluxos, conforme práticas metodológicas descritas por Hensher e Button (2003).

6.2. Cálculos por modelos matemáticos

Com base nos dados obtidos na segunda campanha de medição — considerada mais crítica devido à maior uniformidade e intensidade dos fluxos veiculares —, foram aplicados modelos matemáticos consagrados na engenharia de tráfego com o objetivo de quantificar o desempenho operacional do cruzamento analisado. Os cálculos consideraram três principais indicadores: tempo médio de espera (TME), comprimento médio de fila (CMF) e fator de saturação (Y), conforme metodologia proposta por Webster (1958) e consolidada em manuais como o HCM (2010) e o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2005). Com isso obteve-se os resultados expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos pelos modelos matemáticos

	DIA 1				DIA 2				DIA 3			
	M. 1	M. 2	M. 3	M. 4	M. 1	M. 2	M. 3	M. 4	M. 1	M. 2	M. 3	M. 4
MVV	438	135	435	158	449	156	415	165	402	152	394	149
MVVV	504	168	584	196	504	168	480	204	496	196	584	192
CE	1750	1400	1750	1400	1750	1400	1750	1400	1750	1400	1750	1400
FP	0,87	0,80	0,74	0,81	0,89	0,93	0,86	0,81	0,81	0,78	0,67	0,78
Y	0,292	0,104	0,290	0,113	0,299	0,120	0,277	0,118	0,268	0,117	0,263	0,106
TME	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10
CMF	8,99	2,30	8,91	2,74	9,30	2,70	8,37	2,88	8,03	2,62	7,83	2,57

* M.1, M.2, M.3, M.4: Movimentos 1 à 4 respectivamente;

*MVV: Média de Volume Veicular (veículo/h);

*MVVV: Maior Valor de Volume Veicular (veículo/h);

*CE: Capacidade Estimada (veículos);

*FP: Fator de Ponta;

*Y: Taxa de fluxo;

*TME: Tempo médio de espera

*CMF: Comprimento médio da fila (m)

Fonte: Autor (2025)

A análise da Tabela 1 evidencia que os movimentos 1 e 3, correspondentes à Rua José Leão e à Rua Prefeito Edísio Silva, apresentam os maiores volumes médios e picos de tráfego, mantendo-se dentro da capacidade estimada das vias, mas próximos a limites que exigem atenção para evitar saturação futura. O fator de ponta elevado, especialmente no movimento 2, indica variações significativas de fluxo que podem levar à formação de filas e gargalos. A taxa de fluxo permanece dentro dos parâmetros aceitáveis, porém com maior pressão nos movimentos de maior volume. O tempo médio de espera, em torno de 12 segundos para os movimentos 1 e 3, e 10 segundos para os movimentos 2 e 4, é compatível com níveis aceitáveis para interseções urbanas. Já o comprimento médio das filas apresenta valores mais elevados nos movimentos 1 e 3, chegando a aproximadamente 8 a 9 metros, refletindo maior acúmulo de veículos nesses trechos. Os dados detalhados referentes à média dos resultados obtidos pelos modelos matemáticos encontram-se apresentados na Tabela 2, que complementa a análise do desempenho dos movimentos veiculares no cruzamento.

Tabela 2 – Média Resultados obtidos pelos modelos matemáticos

	Movimento 1	Movimento 2	Movimento 3	Movimento 4
MVV	429,67	147,67	414,67	157,33
MVVV	501,33	177,33	549,33	197,33
CE	1750	1400	1750	1400
FP	0,86	0,84	0,76	0,80
Y	0,25	0,11	0,24	0,11
TME	12	10	12	10
CMF	8,78	2,54	8,39	2,74

*MVV: Média de Volume Veicular (veículo/h);

*MVVV: Maior Valor de Volume Veicular (veículo/h);

*CE: Capacidade Estimada (veículos);

*FP: Fator de Ponta;

*Y: Taxa de fluxo;

*TME: Tempo médio de espera

*CMF: Comprimento médio da fila

Fonte: Autor (2025)

A Tabela 2 apresenta a média consolidada desses resultados ao longo dos três dias de medição, reforçando as tendências identificadas. Nela, observa-se novamente que os movimentos 1 e 3 apresentam os maiores volumes médios e picos de tráfego, fator de ponta e taxa de fluxo superiores, assim como maiores comprimentos médios de fila. Esses dados indicam que esses movimentos sofrem maior pressão de tráfego e demandam maior atenção para garantir a fluidez operacional do cruzamento.

Outro fator a ser considerado é o comprimento médio de fila (CMF), durante a pesquisa de campo, foi observado que na rua José Leão havia maior formação de fila que na rua prefeito Edísio Silva, chegando a juntar uma quantidade de 3 carros em espera. Considerando o tamanho médio de um carro e a distância de segurança entre eles, tem-se aproximadamente 6 m por veículo, logo, pode-se supor a formação de fila de 18 metros na Rua José Leão antes da instalação do semáforo (DNIT, 2005).

Essa característica da rua ainda é comprovada na Tabela 2, onde o CMF dessa rua é ligeiramente superior ao da rua Edísio Silva, mesmo está possuindo maiores valores de volume de veicular. Esse dado confirma a maior tendência à formação de filas nesta via, alinhado aos valores de comprimento médio de fila apresentados nas tabelas, conforme também apontado por Gomes e Vieira (2017), que destacam a

influência da geometria viária e da visibilidade na formação de filas e no desempenho operacional das interseções urbanas.

Com as características do cruzamento observados, utilizou-se os dados obtidos pela Tabela 1 e Tabela 2 para calcular os ciclos semaforicos do cruzamento em questão, valores esses que estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matemáticos

		Tempo do Semáforo (s)	Tempo Médio de espera (s)	Comprimento da fila (m)
CICLO SEMAFÓRICO		57		
TEMPO AMARELO		4		
RUA JOSÉ LEÃO	Tempo Vermelho	28	11	11,1
	Tempo Verde	25		
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA	Tempo Vermelho	29	11	11,3
	Tempo Verde	24		
		28	4	25
RUA JOSÉ LEÃO				
		24	4	29
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA				

Fonte: Autor

Os resultados reforçam a importância de balancear adequadamente os tempos semaforicos para garantir a fluidez do tráfego e reduzir os tempos de espera nas interseções urbanas, conforme destacado por Webster (1958) e pelo Highway Capacity Manual (TRB, 2010). Ajustes nos tempos de sinal verde entre movimentos com características e demandas distintas são essenciais para evitar acúmulos excessivos e aumentar a segurança viária, conforme demonstrado por Gomes e Vieira (2017).

Considerando o acesso prioritário a unidades hospitalares, o controle semaforico deve também priorizar a segurança e o atendimento emergencial, conforme discutido

por Silva, Souza e Pereira (2021). Dessa forma, recomenda-se que a Rua José Leão tenha um tempo maior de sinal verde para otimizar o fluxo, ao passo que o tempo de vermelho para a Rua Prefeito Edísio Silva deve ser cuidadosamente ajustado para não comprometer sua função crítica no sistema viário (Mendonça e Coutinho, 2023). Essa abordagem flexível, alinhada a cenários dinâmicos de gerenciamento adaptativo, é recomendada em estudos recentes para aprimorar o desempenho do tráfego urbano (Zhou *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2022).

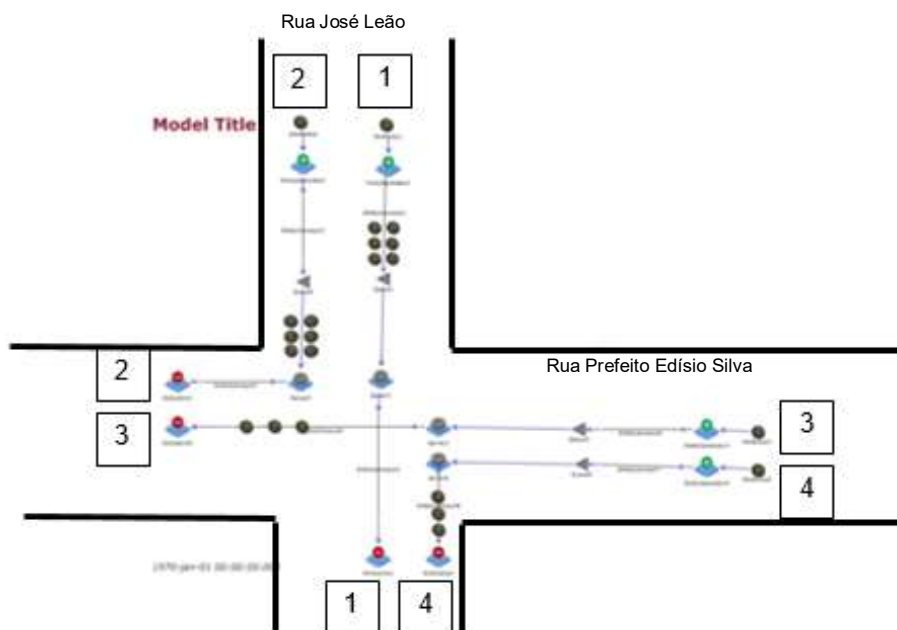
Por fim, a integração entre a análise quantitativa dos modelos matemáticos e as observações em campo contribui para decisões mais assertivas no planejamento viário, conforme enfatizado por Fernandes *et al.* (2020), o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e ajustes operacionais. Com base nessas informações, torna-se fundamental avaliar diferentes cenários com variações nos tempos de verde e vermelho entre as duas vias, buscando a configuração mais eficiente para o cruzamento.

6.3. Simulação do JaamSim

Após a realização dos cálculos necessários para a análise do tráfego, procedeu-se à etapa de simulação do cenário estudado utilizando o software JaamSim, ferramenta amplamente utilizada para modelagem e análise de sistemas dinâmicos, incluindo fluxos veiculares (PERERA *et al.*, 2017; CASSEL *et al.*, 2015). Durante essa etapa, verificou-se a necessidade de ajustar o ciclo semafórico inicialmente definido em 57 segundos para 60 segundos, de forma a torná-lo mais condizente com a realidade operacional e compatível com parâmetros técnicos adotados em programações semafóricas (ROESS; PRASSAS; McSHANE, 2011).

Na Figura 24, apresenta-se a simulação semafórica para a situação em que o sinal se encontra verde para a Rua Prefeito Edísio Silva e vermelho para a Rua José Leão.

Figura 24 - Simulação para o cenário onde o sinal da rua José Leão (movimento 1 e 2) está vermelho e da rua Prefeito Edísio Silva (movimentos 3 e 4) está verde

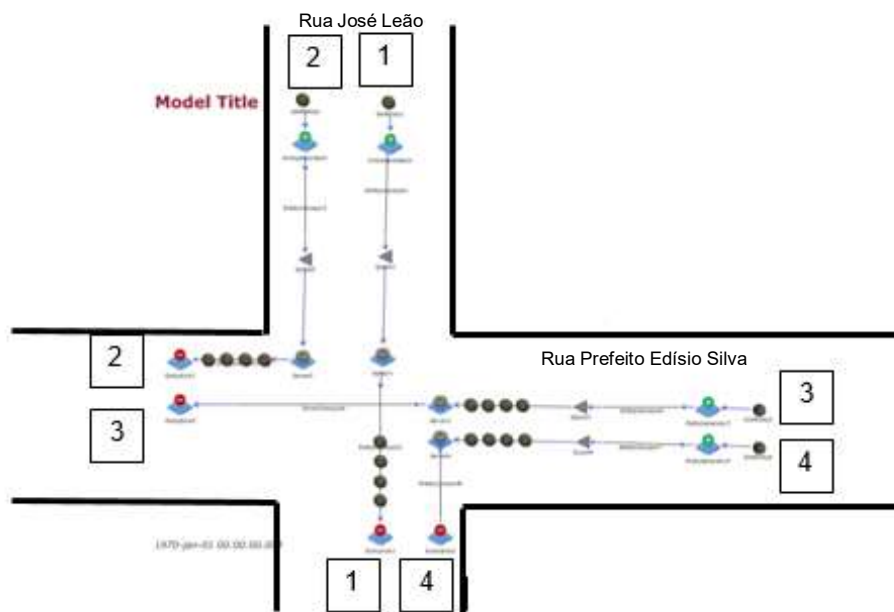


Fonte: Autor (2025)

O cruzamento é composto por quatro movimentos principais, identificados durante a etapa de coleta de dados. No modelo, as esferas cinzas representam veículos gerados pelo elemento *EntityGenerator*, indicados pelos ícones verdes e azuis na figura, configurados para controlar a taxa de geração de veículos. Em seguida, esses veículos são encaminhados ao elemento *Server*, no qual se define o tempo de abertura e fechamento do sinal. Nessa simulação, é possível observar que os movimentos 3 e 4 atravessam o cruzamento, enquanto ocorre a formação de filas nos movimentos 1 e 2, fenômeno típico em períodos de espera do ciclo (FERRAZ; RAIA JR., 2012).

A Figura 25 apresenta a simulação para o cenário inverso, no qual o sinal está verde para a Rua José Leão e vermelho para a Rua Prefeito Edísio Silva.

Figura 25 - Simulação para o cenário onde o sinal da rua José Leão (movimento 1 e 2) está verde e da rua Prefeito Edísio Silva (movimentos 3 e 4) está vermelho



Fonte: Autor (2025)

Assim como na situação anterior, os quatro movimentos previamente mapeados são representados, porém, nesse caso, observa-se a passagem livre dos movimentos 1 e 2, enquanto ocorre o acúmulo de veículos nos movimentos 3 e 4. Essa alternância, típica de sistemas semaforizados, busca equilibrar o tempo de atendimento aos diferentes fluxos, reduzindo tempos médios de espera e aumentando a capacidade operacional da interseção (TRB, 2016).

Com isso, os valores de tempo e quantidade de veículo foram adicionados ao software, e ele foi configurado para simular o ciclo semaforico para o cruzamento, como pode ser observado nas Figuras 24 e 25. Para esses ciclos foram adotados três cenários:

- Cenário 1: Representado pela Tabela 4, demonstra a Rua José Leão e Rua Prefeito Edísio Silva tendo tempo semaforico de verde de 30 segundos e um de vermelho de 26;

Tabela 4 – Resultados do cenário 1

		Tempo do Semáforo (s)		
CICLO SEMAFÓRICO		60	Tempo Médio de Espera (s)	Comprimento Médio da Fila (m)
TEMPO AMARELO		4		
RUA JOSÉ LEÃO	Tempo Vermelho	30	12	11,8
	Tempo Verde	26		
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA	Tempo Vermelho	30	12	11,6
	Tempo Verde	26		
		26	4	30
RUA JOSÉ LEÃO				
		30	4	26
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA				

Fonte: Autor (2025)

Na Tabela 4 pode ser observado os resultados da simulação para o cenário 1, onde evidenciou-se uma diminuição do CMF na Rua José Leão se comparado ao que foi observado durante a pesquisa de campo. Como dito anteriormente, essa rua pode chegar a ter filas com comprimento de até 18 m, ou seja, houve uma redução de aproximadamente 6 metros de fila CMF com a adoção desse cenário. Em relação ao TME, o *Highway Capacity Manual* (2010) estipula um valor de até 30 segundos para que a via seja caracterizada como tendo um bom desempenho, critério que foi atendido pelas duas ruas de estudo. Além disso, os tempos médios de espera foram semelhantes para ambas as vias, o que indica uma distribuição igualitária do fluxo veicular e minimização de desequilíbrios operacionais.

De acordo com o *Traffic Signal Timing Manual* (2008), a aplicação de tempos de verde balanceados entre abordagens com volumes de tráfego semelhantes tende a uniformizar o desempenho das vias, evitando a formação de filas excessivas em apenas um sentido. Os resultados obtidos neste cenário confirmam isso, visto que ambas as vias apresentaram desempenho semelhante e dentro de padrões aceitáveis

para interseções urbanas. Resultados semelhantes foram observados em estudos de Daganzo (1997) e Papageorgiou *et al.* (2003), os quais destacam que a coordenação equilibrada de tempos semaforicos é eficaz quando não há prioridade estabelecida entre as abordagens, prevenindo que a otimização de uma via ocorra em detrimento da outra.

- Cenário 2: Representado pela Tabela 5, trata-se da simulação em que a Rua José Leão apresenta tempo de verde e vermelho de 28 segundos, enquanto a Rua Prefeito Edísio Silva apresenta tempo 26 segundos para o sinal verde de 30 segundos para o vermelho. Em seguida, esses valores foram invertidos entre as ruas para analisar o impacto no fluxo;

Tabela 5 – Resultados do cenário 2

Tempo do Semáforo (s)		Tempo Médio de Espera (s)	Comprimento da Médio da Fila (m)
CICLO SEMAFÓRICO	60		
TEMPO AMARELO			
RUA JOSÉ LEÃO	Tempo Vermelho	11,5	10,5
	Tempo Verde		
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA	Tempo Vermelho	13	13
	Tempo Verde		
28		4	28
RUA JOSÉ LEÃO			
24		4	32
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA			

Fonte: Autor (2025)

Com a configuração do Cenário 2, a Rua José Leão apresentou CMF de 10,5 metros e TME de 11,5 segundos, representando uma melhora no desempenho em comparação ao cenário inicial e também ao Cenário 1, especificamente no indicador

de CMF. Por outro lado, a Rua Prefeito Edísio Silva registrou CMF de 13 metros e TME de 13 segundos, evidenciando um aumento em relação ao Cenário 1, o que indica impacto negativo no escoamento dessa via.

Ao inverter os valores de tempo de verde e vermelho entre as ruas, observou-se que seus valores de TME e CMF permaneciam próximos dos expostos anteriormente, com a Rua José Leão apresentando CMF de 13,5 metros e TME de 13 segundos, enquanto a Rua Prefeito Edísio Silva registrou CMF de 10,3 metros e TME de 10,5 segundos. Ou seja, o impacto negativo ainda ocorre, mas em uma via diferente.

De acordo com o *Traffic Signal Timing Manual* (2008), a modificação dos tempos de verde de forma desbalanceada tende a beneficiar um fluxo, mas pode gerar atrasos adicionais nos outros. Tal fato é observada nos resultados deste cenário, onde o ganho obtido na Rua José Leão ocorreu em função do desempenho da Rua Prefeito Edísio Silva. Assim, o Cenário 2 configura-se como uma solução intermediária: proporciona ganhos para a Rua José Leão, mas aumenta o atraso e o comprimento de fila na Rua Prefeito Edísio Silva. Sua aplicação seria mais indicada em contextos onde a José Leão necessite de maior prioridade operacional, mesmo que isso resulte em leve degradação do desempenho na via secundária (SILVA *et al.*, 2020).

- Cenário 3: Representado pela Tabela 6, apresenta tempo de verde de 30 segundos e de vermelho de 26 segundos para a Rua José Leão, já para a Rua Prefeito Edísio Silva foi configurado um tempo de 34 segundos para o sinal vermelho e 22 segundos para o verde. Assim como no cenário 2, esses valores foram invertidos entre as ruas para analisar o impacto no fluxo.

Tabela 6 – Resultados do cenário 3

Tempo do Semáforo (s)		Tempo Médio de Espera (s)	Comprimento da Média da Fila (m)
CICLO SEMAFÓRICO	60		
TEMPO AMARELO	4		
RUA JOSÉ LEÃO	Tempo Vermelho	9	9,2
	Tempo Verde		
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA	Tempo Vermelho	15	14,5
	Tempo Verde		
26		4	30
RUA JOSÉ LEÃO			
22		4	34
RUA PREFEITO EDÍSIO SILVA			

Fonte: Autor (2025)

Observa-se que a Rua José Leão apresentou CMF de 9,2 metros e um TME de 9 segundos, indicando uma melhora em relação aos cenários anteriores. Por outro lado, a Rua Prefeito Edísio Silva teve um aumento expressivo no CMF, atingindo 14,5 metros, e no TME, que chegou a 15 segundos, evidenciando um impacto negativo significativo no fluxo dessa via.

Ao inverter os valores de tempo de verde e vermelho foi observado resultados semelhantes ao cenário 2 no quesito da similaridade entre os valores de entre TME e CMF das ruas, com a Rua José Leão apresentando CMF de 14,8 metros e TME de 15 segundos, enquanto a Rua Prefeito Edísio Silva registrou CMF de 9,1 metros e TME de 9 segundos. Ou seja, ainda há impacto negativo significativo em uma das vias do cruzamento.

Esse cenário apresentou resultados semelhantes ao cenário 2, onde houve uma melhoria para Rua José Leão, mas isso ocorreu em detrimento da Rua Prefeito Edísio Silva. A priorização de uma via por meio de ajustes nos tempos semafóricos pode ser eficaz para melhorar seu desempenho, porém, frequentemente resulta em

deterioração significativa do fluxo nas vias secundárias, especialmente em interseções com volumes de tráfego semelhantes (*Traffic Signal Timing Manual*, 2008). A redução excessiva do tempo verde para uma dessas vias pode acarretar aumento do congestionamento e dos tempos de espera, comprometendo a fluidez geral do tráfego (Diakaki *et al.*, 2003). Além disso, Wei *et al.* (2019) destacam que sistemas fixos com tempos semafóricos assimétricos têm limitações para lidar com variações dinâmicas do fluxo, podendo gerar desequilíbrios que impactam negativamente a eficiência da interseção.

Dessa forma, o Cenário 3 pode ser considerado uma estratégia que prioriza a Rua José Leão, melhorando significativamente seus indicadores de fluxo, porém em detrimento da Rua Prefeito Edísio Silva, que apresenta aumento substancial em filas e tempos de espera. Essa configuração é indicada quando há necessidade clara de priorização de uma via específica, mas requer atenção para minimizar os impactos negativos nas demais.

De forma comparativa, o Cenário 1 demonstrou desempenho equilibrado entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, ambas com volumes de tráfego semelhantes e importância estratégica para a circulação urbana. Os tempos médios de espera (TME) mantiveram-se próximos e os comprimentos médios de fila (CMF) permaneceram abaixo de limites críticos, resultando em uma operação estável e uniforme. Nos Cenários 2 e 3, embora a Rua José Leão tenha apresentado ganhos expressivos — especialmente na redução do CMF —, a Rua Prefeito Edísio Silva sofreu aumento de filas e tempos de espera, comprometendo sua eficiência.

Considerando que essas vias se localizam em área central de Balsas, servindo a importantes polos geradores de tráfego, como a Prefeitura Municipal, unidades de saúde, instituições de ensino e estabelecimentos comerciais, a fluidez equilibrada em ambos os sentidos é essencial para atender não apenas motoristas locais, mas também pedestres, ciclistas e transporte público. Nesse contexto, a priorização de apenas uma via, como nos Cenários 2 e 3, poderia gerar desequilíbrios indesejados e aumentar conflitos em horários de pico. Assim, à luz dos resultados obtidos, da literatura técnica (HCM, 2010; *Traffic Signal Timing Manual*, 2008; Wei *et al.*, 2019) e da função urbana dessas vias, a opção mais coerente a ser adotada é o Cenário 1, por oferecer um desempenho global mais equilibrado, garantindo boa fluidez e segurança operacional para todos os usuários no entorno.

6.4. Problemas observados na via

Durante a etapa de levantamento no cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, foi possível identificar alguns problemas que afetam diretamente o fluxo de veículos e a segurança no local. Um dos pontos mais preocupantes observados foram os congestionamentos recorrentes, especialmente nos horários de pico. Além disso, notou-se que muitos condutores não sinalizam corretamente suas intenções de conversão com o uso da seta, o que dificulta a leitura das manobras pelos outros motoristas e pode gerar situações de conflito.

Outro ponto observado em campo é que a Rua José Leão apresenta pouca visibilidade em relação aos veículos que vêm da Rua Prefeito Edísio Silva, uma via bastante movimentada, principalmente por causa dos geradores de tráfego anteriormente mencionados. Por conta disso, é comum os motoristas precisarem avançar parte do veículo na via principal para conseguir enxergar o tráfego, o que aumenta o risco de acidentes, especialmente colisões laterais ou cruzamentos forçados (Fernandes, 2020). Essa situação de risco é agravada pelo estado da sinalização horizontal no local, que, apesar de presente, encontra-se visivelmente desgastada, como se pode observar na Figura 26. A deficiência dessa sinalização compromete sua função primordial de organizar a circulação de veículos e pedestres, bem como de orientar e controlar os deslocamentos — aspectos especialmente relevantes em condições noturnas ou de baixa visibilidade, conforme estabelecido pelo CONTRAN (2014).

Figura 26 - Sinalização vertical e horizontal da rua José Leão



Fonte: Autor (2025)

Quanto a sinalização vertical próxima ao cruzamento; aquelas localizadas na rua José Leão se encontram com características físicas e retro refletivas em condições

adequadas, garantindo a visibilidade e legibilidade, fundamental para a transmissão clara e precisa para os transeuntes (DNIT, 2005). Entretanto, na rua Prefeito Edísio Silva, encontrou-se uma placa deteriorada devido a ferrugem e presa a um poste por arames para se manter de pé (Figura 27).

Figura 27 - Placa enferrujada da rua Prefeito Edísio Silva



Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, as observações realizadas durante o levantamento no cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva evidenciam um conjunto de fragilidades operacionais que comprometem a eficiência do tráfego e a segurança viária local. Os congestionamentos recorrentes, a visibilidade limitada nos acessos secundários, a ausência de sinalização clara de intenção por parte dos condutores e a degradação da sinalização horizontal e vertical indicam um cenário de baixa legibilidade e previsibilidade operacional — fatores críticos segundo Moura (2012) e Setti *et al.* (2017) para a fluidez e segurança em áreas urbanas com alto volume de tráfego. A coordenação semafórica recomendada para as vias em questão, além de alinhada às diretrizes do DNIT (2005), representa uma solução de impacto imediato na redução de atrasos, conforme reforçado por Gonçalves *et al.* (2019) e Barbosa *et al.* (2021). Ademais, a substituição de placas danificadas e a restauração da sinalização horizontal estão entre as intervenções de baixo custo com alto retorno operacional, sobretudo quando associadas à reeducação dos condutores quanto ao uso de dispositivos de sinalização veicular (TURNER *et al.*, 2007). Diante disso, recomenda-se a implantação de um plano integrado de melhorias que contemple tanto ajustes de engenharia quanto ações educativas e de fiscalização, promovendo um ambiente viário mais seguro, eficiente e sustentável.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal analisar o desempenho operacional do cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, em Balsas (MA), por meio de simulações realizadas no software JaamSim. Essa metodologia permitiu observar detalhadamente o comportamento do tráfego sob condições controladas, possibilitando a identificação de aspectos críticos e oportunidades de melhoria no funcionamento do cruzamento. O uso do JaamSim demonstrou-se eficaz para reproduzir a dinâmica do fluxo veicular, fornecendo dados robustos para avaliação dos diferentes cenários semafóricos propostos.

Dessa forma, iniciou-se com a coleta minuciosa de dados de tráfego no cruzamento entre a Rua José Leão e a Rua Prefeito Edísio Silva, contemplando diferentes horários do dia. Essa abordagem foi fundamental para captar as nuances do comportamento do fluxo veicular, considerando as flutuações naturais provocadas por fatores externos, tais como horários de pico, características dos veículos e comportamento dos usuários. A análise desses dados permitiu obter uma visão realista e precisa das demandas e dos padrões de circulação, elementos essenciais para fundamentar as etapas subsequentes do trabalho.

Em seguida, procedeu-se à avaliação detalhada das condições atuais de sinalização e da infraestrutura presente no cruzamento, verificando como esses fatores influenciam tanto o fluxo de veículos quanto a segurança dos usuários, incluindo pedestres e ciclistas. Foram identificadas algumas deficiências operacionais e estruturais, como configuração viária pouco adequada, que contribuíam para a formação de filas e tempos de espera maiores – principalmente na Rua José Leão –, além de potenciais riscos para a segurança no local – como a falta de visibilidade para os motoristas da Rua José Leão em relação aos veículos que veem da Rua Prefeito Edísio Silva. Essa etapa ressaltou a necessidade de intervenções que buscassem não apenas a melhoria da fluidez, mas também a garantia de segurança e conforto para os usuários do sistema viário.

Com base no conjunto de dados coletados e nas observações sobre a infraestrutura, foi realizada a modelagem e simulação do cruzamento utilizando o software JAAMSIM. Essa ferramenta possibilitou a reprodução dinâmica do tráfego local, permitindo a análise de três diferentes cenários e a avaliação do impacto de variadas configurações semafóricas e arranjos viários. Com a análise da simulação

observou-se que o Cenário 1 apresentou desempenho mais equilibrado entre as ruas José Leão e Prefeito Edísio Silva, com TME semelhantes e CMF abaixo de limites críticos, garantindo operação estável. Já nos Cenários 2 e 3, os ganhos para a Rua José Leão ocorreram à custa de piora significativa no fluxo da Rua Prefeito Edísio Silva, comprometendo sua eficiência.

Além disso, a análise de campo no cruzamento revelou problemas além dos congestionamentos, como baixa visibilidade nos acessos, uso inadequado da sinalização por condutores e desgaste da sinalização horizontal e vertical. Essas fragilidades comprometem a fluidez e a segurança viária, indicando a necessidade de um plano integrado de melhorias, incluindo ajustes semafóricos, substituição e revitalização da sinalização, além de ações educativas e de fiscalização, alinhadas às diretrizes do DNIT e à literatura técnica.

Dentre as propostas de melhoria, destacaram-se ajustes na configuração viária, incluindo a implementação de sistemas semafóricos e a revisão da sinalização existente. Essas modificações visam aprimorar a fluidez do tráfego, reduzindo os gargalos e os tempos de espera, ao mesmo tempo em que reforçam a segurança para todos os usuários, minimizando conflitos e potenciais acidentes.

A análise do impacto das mudanças propostas foi realizada por meio da comparação dos tempos médios de viagem antes e depois das intervenções simuladas. Os resultados indicaram melhorias com a redução dos tempos de espera e o aumento da eficiência operacional do cruzamento. Esse ganho traduz-se diretamente em benefícios para os usuários, como maior agilidade, menor consumo de combustível e redução de emissões veiculares, além de um ambiente urbano mais seguro e confortável. O estudo reforça, portanto, a importância de intervenções planejadas e baseadas em evidências para a melhoria da mobilidade urbana, recomendando ainda que o monitoramento contínuo e a reavaliação periódica sejam incorporados à gestão do sistema viário para garantir a adaptação das soluções às futuras demandas e condições locais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. Mobilidade urbana no Brasil. São Paulo: **Editora Fundação Perseu Abramo**, 2016. 624 p. ISBN 978-85-5708-049-2.

ALMEIDA, F. J.; RODRIGUES, P. M. Sistemas inteligentes de transporte e seu papel na mobilidade urbana sustentável. **Revista Tecnológica de Transporte**, v. 19, n. 4, p. 345-360, 2020.

ALMEIDA, J. Prioridade ao transporte coletivo: políticas públicas e desafios urbanos. **Cadernos de Planejamento Urbano**, v. 14, n. 2, p. 100-115, 2016.

ALMEIDA, R.; RODRIGUES, F. Avaliação de políticas públicas de transporte por simulação computacional. **Revista de Transportes**, v. 15, n. 2, p. 75-91, 2020.

AMORIM JÚNIOR, F. S. **Uso da ferramenta SUMO no gerenciamento de tráfego urbano: estudo de caso do cruzamento da Avenida Brasil com a Avenida Tancredo Neves**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, Campus Bacanga, São Luís, 2024.

AMORIM JÚNIOR, R. **Análise do fluxo veicular utilizando SUMO em cruzamentos urbanos**. 2024.

BARBOSA, D. A. *et al.* Aplicações de simulação em transporte urbano: estudo comparativo de softwares. **Revista de Engenharia de Transportes**, v. 23, n. 2, p. 45-58, 2018.

BARBOSA, M. L. *et al.* Tecnologias digitais aplicadas ao gerenciamento do trânsito: impacto na segurança e fluidez urbana. **Revista Brasileira de Engenharia de Transportes**, v. 10, n. 2, p. 45-59, 2022.

BARBOSA, M. M.; RODRIGUES, P. H.; NASCIMENTO, F. R. Otimização de ciclos semaforicos em interseções urbanas. **Revista Transportes**, v. 29, n. 2, p. 45–56, 2021.

BATTERMAN, S.; COOK, R.; JUSTIN, T. Temporal variation of traffic on highways and the development of accurate temporal allocation factors for air pollution analyses. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 95, p. 158–168, 2014.

BHARTI, A. K.; CHANDRA, S.; CHALUMURI, R. S. Performance Evaluation of Urban Arterial in Delhi Using Travel Time Reliability. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 9, 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 2, p. 1, 4 jan. 2012.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 set. 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

CAMPOS, V. B. G.; LIMA, F. N. Análise de desempenho de interseções semaforizadas em cidades médias brasileiras. **Revista Transportes**, v. 26, n. 2, 2018.

CARVALHO, C. H. R. de. Desafios da mobilidade urbana no Brasil. Texto para Discussão n. 2198. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**, 2016.

CARVALHO, L.; LIMA, J. Sistemas inteligentes de transporte e mobilidade urbana. **Transportes**, v. 29, n. 3, p. 101-115, 2022.

CARVALHO, M.; SILVA, R.; LIMA, A. Sistemas inteligentes de transporte: avanços e aplicações recentes. **Transportes & Cidades**, v. 7, n. 1, p. 50-68, 2019.

CARVALHO, R. L. *et al.* Aplicação de ITS em interseções urbanas para gerenciamento do tráfego. **Revista de Tecnologia em Transportes**, v. 14, n. 2, p. 67-79, 2019.

CARVALHO, T.; MENDES, R. Recursos avançados de modelagem e simulação com JaamSim. **Revista de Engenharia de Sistemas**, v. 12, n. 1, p. 35-50, 2023.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Volume V – Sinalização Semafórica**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), 2014.

CASSEL, R. A.; PERERA, T.; BOUCHEREAU, V. Using JaamSim for traffic simulation: an open-source approach. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 56, p. 1-14, 2015.

CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. **Manual de projetos e sinalização semafórica**. São Paulo: CET, 2015

COSTA, L. S.; LIMA, M. P. Desigualdade no acesso urbano e transporte público: uma análise social. **Revista de Políticas Públicas**, v. 22, n. 1, p. 89-108, 2018.

COSTA, M.; LIMA, V. Simulação computacional aplicada à avaliação de corredores exclusivos para ônibus. **Revista Brasileira de Transporte**, v. 22, n. 1, p. 57-74, 2018.

COSTA, F.; LIMA, J.; SANTOS, M. Capacitação técnica e integração institucional na gestão do trânsito. **Revista de Administração Pública**, v. 55, n. 4, p. 300-318, 2021.

COSTA, V. F.; LIMA, J. R. Medidas para mitigação do congestionamento: análise da implantação de corredores exclusivos e ciclovias. **Revista de Transportes Urbanos**, v. 34, n. 1, p. 56-68, 2018.

DAGANZO, C. F. **Fundamentals of Transportation and Traffic Operations**. Oxford: Pergamon, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de coleta de dados de tráfego rodoviário**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DNIT, 2005.

DIAKAKI, C.; DINOPOULOU, V.; ABOUDOLAS, K.; PAPAGEORGIOU, M.; et al. Extensions and New Applications of the Traffic-Responsive Urban Control Strategy: Coordinated Signal Control for Urban Networks. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1856, p. 22–30, 2003

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Traffic Signal Timing Manual**. U.S. Department of Transportation, 2008.

FERNANDES, R.; COSTA, A.; MARTINS, L. Desempenho dos sistemas adaptativos de tráfego sob condições climáticas adversas. **Revista de Engenharia Urbana**, v. 11, n. 2, p. 90-107, 2020.

FERNANDES, T. S.; ALMEIDA, J. A. Planejamento integrado para segurança e eficiência no sistema viário urbano. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano**, v. 7, n. 1, p. 21-34, 2020.

FERRAZ, C. A.; RAIA JR., A. A. Engenharia de tráfego: fundamentos e aplicações. **Elsevier**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2012.

FERREIRA, J. V. V. **Estudo de implantação semaforica na região central da cidade de Campo Mourão**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Campo Mourão, 2019.

FERREIRA, L. C.; SANTOS, M. A. A influência da infraestrutura para modos alternativos no congestionamento urbano. **Transportes**, v. 28, n. 3, p. 201-215, 2020.

FERREIRA, M.; SANTOS, A. Modelagem e simulação do trânsito urbano. **Revista Brasileira de Transporte e Logística**, v. 7, n. 1, p. 85-101, 2020.

FERREIRA, P. R.; SILVA, J. P.; OLIVEIRA, M. G. Análise de integração multimodal em sistemas de transporte urbanos. **Revista de Planejamento Urbano**, v. 10, n. 4, p. 123-139, 2021.

FERREIRA, R. F.; SANTOS, A. M. Segurança viária e sinalização: análise crítica e proposta de melhorias. **Revista de Engenharia de Tráfego**, v. 8, n. 1, p. 77-92, 2020.

FIGUEIREDO, C.; SILVA, M. Plataformas digitais e participação social na gestão do trânsito. **Tecnologia e Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 78-93, 2020.

GALINDO, E. P.; LIMA NETO, V. C. A mobilidade urbana no Brasil: percepções de sua população. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2019.

GOMES, B.; CARVALHO, J.; LEAL, L.; COSTA, L. Diagnóstico de sistema viário e urbanístico: estudo de caso na cidade de Santarém-Pará. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA**, 4., Porto Alegre: ANTAC, 2023.

GOMES, R. C., & VIEIRA, J. (2017). Avaliação do nível de serviço em interseções semaforizadas urbanas. **Revista Transporte e Território**, 9(17), 101-119.

GONÇALVES, A. S.; LIMA, R. T.; SOUZA, C. M. Avaliação da sincronização semaforizada em corredores urbanos. **Revista Engenharia Civil**, v. 23, n. 1, p. 23–31, 2019.

HENSHER, D. A.; BUTTON, K. J. Handbook of Transport Modelling. **Oxford: Elsevier**, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2022: resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2022.

JAAMSIM DEVELOPMENT TEAM. **JaamSim User Manual**. Versão 2021-04.

HIGHWAY CAPACITY MANUAL. HCM 2010: Manual de Capacidade de Rodovias. **Transportation Research Board**, Washington, D.C., 2010.

KING D. H, HARRISON H. S. Open-source simulation software JaamSim. In: 2013 **Winter Simulations Conference (WSC)**; 2013. p. 2163–2171.

KING, R.; HARRISON, D. Traffic simulation for urban planning. **Journal of Transport Engineering**, v. 139, n. 6, p. 642-650, 2013.

KING, R.; HARRISON, D. Traffic simulation for urban planning. **Journal of Transport Engineering**, v. 139, n. 6, p. 642-650, 2013.

LANG, S.; REGGELIN, T.; MÜLLER, M.; NAHHAS, A. (2021). **Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools?** *Procedia Computer Science*, 180, 1034–1041.

LOCH, W. F. **Estudo de tráfego na interseção entre a Av. João Pessoa e Rua Coronel Oscar Rafael Jost na cidade de Santa Cruz do Sul/RS**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, 2015.

LOPES, A. L. Política Nacional de Mobilidade Urbana e os impactos sociais. **Seminário de Integração UCAM-Campos**, 2022.

MARTINS, E; SOUSA, A; ALVES, R. Monitoramento em tempo real e integração de dados para a gestão do trânsito urbano. **Revista Brasileira de Tecnologia Urbana**, v. 15, n. 1, p. 55-73, 2023.

MARTINS, L.; SOUZA, A.; PEREIRA, C. Aplicações do JaamSim no gerenciamento hospitalar. **Revista Brasileira de Saúde e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 89-104, 2022.

MARTINS, V. G.; RODRIGUES, F. M. Diagramas de conflito como ferramenta para segurança viária. **Revista de Engenharia de Transportes e Tráfego**, v. 8, n. 4, p. 98-110, 2022.

MELO, R. S.; GARCIA, L. F. Planejamento e projeto de sistemas viários urbanos. **Editora Técnica**. São Paulo, 2020.

MENDONÇA, C. L.; COUTINHO, R. S. **Estudo de tráfego: análise operacional da interseção semaforizada entre as avenidas Fernando Ferrari e Adalberto Simão Nader - Vitória (ES)**. Vitória: Instituto Federal do Espírito Santo, Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Infraestrutura Urbana, 2023.

Mendonça, L. F., & Coutinho, J. P. (2023). Mobilidade urbana e segurança viária: impactos do acesso a unidades hospitalares. **Revista Brasileira de Segurança no Trânsito**, 5(1), 45-60.

MOREIRA, D.; BARBOSA, T. Modelagem e avaliação de estratégias para controle de tráfego: uma abordagem microsimulada. **Revista de Engenharia de Tráfego**, v. 8, n. 3, p. 130-150, 2023.

MOREIRA, L. M.; BARBOSA, T. P. Uso de simulação para avaliação de políticas públicas em mobilidade urbana. **Transportes & Sociedade**, v. 15, n. 2, p. 201-217, 2023.

MOURA, F. Intervenções de baixo custo para melhoria da segurança no trânsito urbano. **Revista Brasileira de Transportes**, v. 14, n. 3, p. 42–51, 2012.

MUNIZ, L. R.; GUIMARÃES, I. F. G.; CAMPOS, M. S. **Aplicação da simulação computacional para análise do tráfego no cruzamento central com semáforo da cidade histórica de Mariana**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., Salvador, 2009.

MURESAN, M.; FU, L.; PAN, G. **Adaptive Traffic Signal Control with Deep Reinforcement Learning: An Exploratory Investigation**. Waterloo: University of Waterloo. Canada, 2019.

NEGRÃO, C. E. et al. Aplicação do JaamSim na análise de interseções semaforizadas em Medianeira/PR. **Revista de Engenharia de Transportes**, v. 25, n. 1, p. 33-49, 2017.

NEGRÃO, C. E. et al. Aplicação de softwares de simulação no planejamento do trânsito urbano. **Revista de Engenharia Civil**, v. 25, n. 1, p. 33-49, 2017.

NEGRÃO, D. A.; NAKATI, M. Y. L.; MARIANI, J.; OLIVEIRA, J. R. R.; SANTOS, J. A. A. dos. Modelagem e simulação do tráfego de veículos em um cruzamento da cidade de Medianeira/PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 1, p. 158, abr. 2017.

NUNES, P.; BARBOSA, R. Simulação de veículos guiados automaticamente para otimização logística em indústria aeronáutica. **Revista de Gestão Industrial**, v. 18, n. 3, p. 105-120, 2020.

NUNES, V. A.; BARBOSA, G. F. Simulation-based analysis of AGV workload used on aircraft manufacturing system: a theoretical approach. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 42, e47034, 2020.

OLIVEIRA, C. S.; LIMA, P. R. Estrutura viária e segregação do tráfego em vias paralelas. **Transportes em Foco**, v. 12, n. 3, p. 122-134, 2019.

OLIVEIRA, F.; SANTOS, R.; LIMA, A. JaamSim: uma ferramenta flexível para simulação de eventos discretos. **Revista de Simulação Computacional**, v. 10, n. 1, p. 20-35, 2025.

OLIVEIRA, F.; SANTOS, R.; LIMA, A. Machine learning e simulação de tráfego: avanços recentes. **Revista de Inteligência Artificial Aplicada**, v. 8, n. 1, p. 88-102, 2020.

OLIVEIRA, M.; GOMES, J.. Controle adaptativo de sinais semafóricos: estudos de caso em grandes cidades brasileiras. **Cadernos de Tráfego e Transporte**, v. 12, n. 4, p. 85-102, 2021.

OLIVEIRA, P.; SOUSA, F.; PEREIRA, L. Integração tecnológica no gerenciamento do tráfego urbano: uma análise dos ITS. **Revista de Mobilidade Urbana**, v. 5, n. 3, p. 200-215, 2022.

OLIVEIRA, R. de P. . Energy efficiency and productivity improvements analysis in a Brazilian steel plant: simulation model using JaamSim open source software. **Discover Energy**, v. 5, art. 1, 2025.

OLIVEIRA, T. F.; COSTA, D. A.; SANTOS, R. P. Custos econômicos do congestionamento urbano: uma análise de perda de produtividade e combustível. **Revista Brasileira de Economia**, v. 73, n. 1, p. 89-106, 2019.

OLIVEIRA, V. F. et al. A influência da expansão urbana na qualidade do sistema viário. **Revista de Transportes e Infraestrutura**, v. 14, n. 2, p. 150-166, 2019.

PAIS, F. V.; NOGUEIRA, B. C. S.; PINHEIRO, R. G. S. **Avaliação de desempenho do tráfego urbano usando simulação: estudo de caso em Maceió/AL**. 2022. Dissertação (Mestrado em Informática) – Instituto de Computação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

PAIS, J. C.; SOUZA, T. P.; LIMA, V. R. Simulação computacional para análise do tráfego urbano: estudo de caso em Maceió/AL. **Revista de Transporte e Logística**, v. 12, n. 3, p. 156-174, 2022.

PAPAGEORGIOU, M.; DIOS, C. D.; HADJ-SALEH, M. Real-Time Traffic Signal Control Based on a Dynamic Traffic Model. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 11, n. 3-4, p. 203–222, 2003.

PEREIRA, F. A.; SOUZA, M. C. Avaliação de riscos em interseções interceptantes: abordagens e soluções. **Revista de Segurança Viária**, v. 9, n. 2, p. 75-89, 2021.

PEREIRA, G.; LIMA, R.; COSTA, F. Comunicação com usuários e transparência em sistemas inteligentes de transporte. **Revista de Políticas Públicas e Mobilidade**, v. 6, n. 1, p. 20-35, 2021.

PEREIRA, L.; SOUZA, D.; OLIVEIRA, M. Participação social e tecnologias digitais na gestão do trânsito urbano. **Revista Brasileira de Mobilidade Urbana**, v. 5, n. 1, p. 45-60, 2021.

PEREIRA, R., ALMEIDA, J., & SANTOS, F. (2022). Gerenciamento Dinâmico de Tráfego em Áreas Urbanas: Modelagem e Aplicações. **Journal of Urban Transport Engineering**, 8(1), 55-72.

PERERA, T.; CASSIDY, J.; BROADBENT, M. An introduction to JaamSim modelling. **Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference, Las Vegas**, 2017.

POSSIK, J.; ZACHAREWICZ, G.; ZOUGGAR, A.; VALLESPER, B. HLA-based time management and synchronization framework for lean manufacturing tools evaluation. **Simulation**, v. 99, n. 4, p. 347–362, 2023.

REIS, A.; FURTADO, L. Desafios e avanços na gestão integrada do trânsito urbano. **Revista de Transportes**, v. 10, n. 2, p. 180-197, 2020.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; McSHANE, W. R. **Traffic Engineering**. 4. ed. New Jersey: Pearson, 2011.

RUANE, M.; JOHNSON, K.; MARTIN, P. Otimização de processos industriais utilizando JaamSim e SimWrapper. **Journal of Industrial Engineering**, v. 15, n. 4, p. 320-338, 2022.

RUANE, P.; WALSH, P.; COSGROVE, J.. Using Simulation Optimization to Improve the Performance of an Automated Manufacturing Line. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 630–639, 2022

SANTOS, F.; ALMEIDA, R. Plataformas digitais e monitoramento do tráfego em tempo real. **Revista Brasileira de Transporte**, v. 20, n. 1, p. 67-84, 2020.

SANTOS, J.; ALMEIDA, C. Tecnologias para o gerenciamento eficiente do tráfego urbano. **Revista Brasileira de Engenharia de Transportes**, v. 14, n. 2, p. 120-135, 2020.

SCHMOLLER, E. A. **Técnicas de modelagem e simulação aplicadas ao gerenciamento de tráfego urbano**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

SETTI, J. R.; FRANCO, L. R.; OLIVEIRA, C. M. Avaliação da legibilidade da sinalização em áreas de conflito viário. **Revista Cidades**, v. 10, n. 1, p. 89–103, 2017.

SILVA, A. L., SOUZA, M. R., & PEREIRA, L. F. Análise de fluxo veicular e estratégias para mitigação de congestionamentos em cruzamentos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia de Tráfego**, 18(4), 213-227, 2021.

SILVA, J. P.; PEREIRA, M. L. Mobilidade urbana e qualidade de vida: uma relação necessária. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos**, v. 9, n. 1, p. 33-47, 2021.

SILVA, J. R.; PEREIRA, M. T.; ALVES, D. C. Análise da fluidez em interseções divergentes: estudo de caso. **Revista Brasileira de Engenharia de Tráfego**, v. 15, n. 1, p. 45-58, 2018.

SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, L. A. de; SOUZA, R. A. de. Geração de cenários através de simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão no trânsito urbano. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2020.

SILVA, M. J. et al. Otimização semafórica utilizando TSIS em região urbana de Uberaba-MG. **Transportes**, v. 28, n. 4, p. 211-225, 2020.

SILVA, R.; CARVALHO, T. Sustentabilidade e equidade no sistema de transporte urbano. **Revista Brasileira de Sustentabilidade Urbana**, v. 9, n. 3, p. 150-170, 2018.

SOUZA, M. B. de. **Dispersão urbana e o impacto na mobilidade: desafios e oportunidades**. In: CONGRESSO ACADÊMICO E TECNOLÓGICO DA UNIVERSIDADE BRASIL (CONTECBRASIL), 2024.

SOUZA, M.; MARTINS, G. Simulação de tráfego para avaliação de políticas públicas. **Transportes em Foco**, v. 11, n. 3, p. 99-115, 2019.

SILVA, M. J.; FERREIRA, P. R.; SOUZA, T. Aplicação do JaamSim para otimização semafórica em regiões urbanas. **Transportes**, v. 28, n. 4, p. 211-225, 2021.

SILVA, R.; FARIA, J. Simulação computacional em processos de manufatura aditiva com JaamSim. **Revista Brasileira de Tecnologia Industrial**, v. 7, n. 3, p. 150-165, 2019.

SILVA, R. A.; PEREIRA, M. L. Impactos ambientais e urbanos da expansão da frota veicular: uma análise integrativa. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 115-132, 2021.

TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**. 6. ed. Washington: TRB, 2016.

TORRES, A.; LIMA, P. Avaliação do impacto ambiental da mobilidade urbana por meio de simulação computacional. **Revista de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 7, n. 2, p. 77-90, 2018.

TORRES, F.; LIMA, B. Simulações computacionais aplicadas ao planejamento de tráfego urbano. **Jornal de Transportes**, v. 9, n. 1, p. 45-61, 2018.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**. 5. ed. Washington, D.C.: National Research Council, 2010.

TURNER, S.; ROOSEVELT, D.; SHAFFER, S. Traffic control devices and driver comprehension. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2010, p. 18–26, 2007

UNITED STATES. **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2010.

VASCONCELLOS, E. A. **O transporte urbano no Brasil**. Le Monde Diplomatique Brasil, 2012.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano, espaço e equidade**. São Paulo: Annablume, 2000.

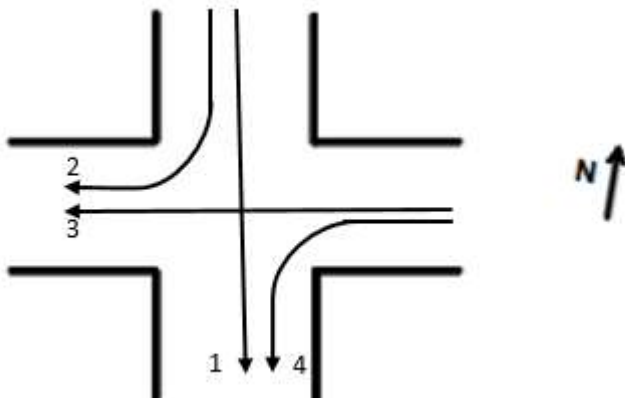
WEBSTER, F. V. *Traffic Signal Settings*. Road Research Technical Paper no. 39. **Road Research Laboratory**. London, 1958.

WEI, Yonghua; ZHENG, Guanjie; GAYAH, Vikash; LI, Zhenhui. **A Survey on Traffic Signal Control Methods**. arXiv preprint, arXiv:1904.08117, 2019.

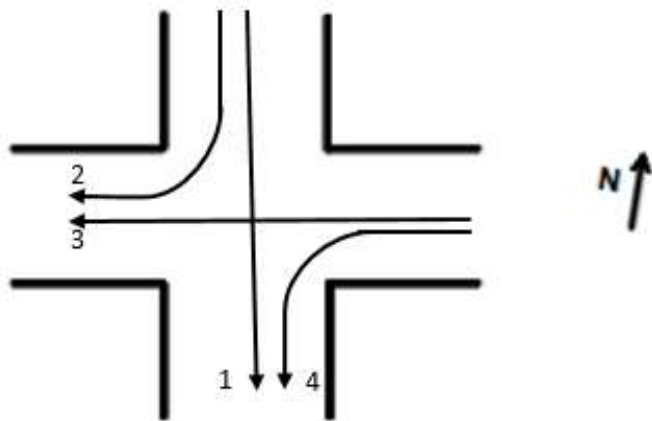
ZHOU, X., CHEN, M., & ZHANG, L. (2019). Adaptive Traffic Signal Control: A Review. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 104, 403-418.

APÊNDICE

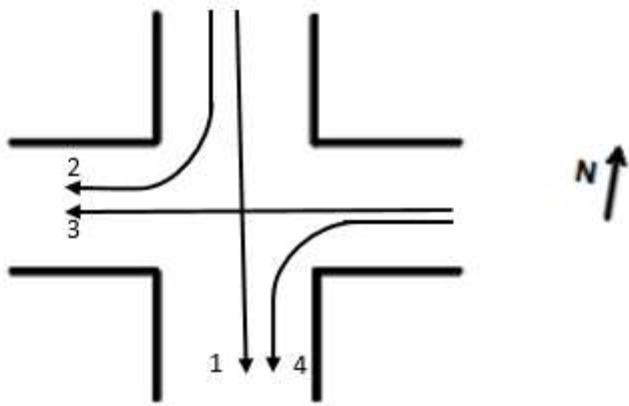
Apêndice 1 – Dados da pesquisa de campo do dia 03/06/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 03/06/2025			Dia da semana: Terça - Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
18:30 - 18:45	68 (43 motos e 25 carros)	20 (16 motos e 4 carros)	86 (48 motos, 37 carros e 1 ambulância)	37 (24 motos e 13 carros)
18:45 - 19:00	66 (38 motos, 27 carros e 1 ambulância)	25 (20 motos e 5 carros)	86 (57 motos e 29 carros)	37 (20 motos, 14 carros e 3 ambulância)
19:00 - 19:15	53 (23 motos e 30 carros)	17 (13 motos e 4 carros)	69 (37 motos e 32 carros)	26 (17 motos e 9 carros)
19:15 - 19:30	34 (21 motos e 13 carros)	10 (3 motos, 6 carros e 1 ambulância)	32 (19 motos e 13 carros)	13 (5 motos e 8 carros)

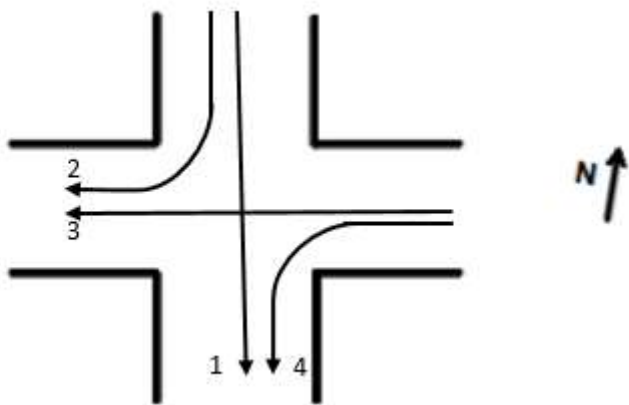
Apêndice 2 – Dados da pesquisa de campo do dia 04/06/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui: 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 04/06/2025			Dia da semana: Quarta - Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
18:30 - 18:45	113 (72 motos, 40 carros e 1 ambulância)	43 (26 motos e 17 carros)	135 (72 motos e 63 carros)	60 (32 motos e 28 carros)
18:45 - 19:00	75 (34 motos e 40 carros e 1 ambulância)	27 (23 motos e 4 carros)	84 (50 motos, 33 carros 1 ambulância)	38 (19 motos, 17 carros e 2 ambulância)
19:00 - 19:15	59 (31 motos, 27 carros 1 ambulância)	26 (17 motos e 9 carros)	82 (37 motos, 44 carros e 1 ambulância)	36 (21 motos e 15 carros)
19:15 - 19:30	74 (40 motos e 34 carros)	22 (16 motos e 6 carros)	66 (39 motos, 26 carros e 1 ambulância)	27 (17 motos e 10 carros)

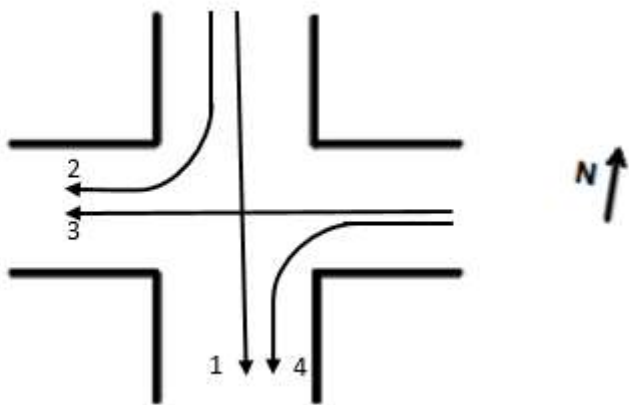
Apêndice 3 – Dados da pesquisa de campo do dia 05/06/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 05/06/2025			Dia da semana: Quinta - Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
18:30 - 18:45	42 (21 motos e 21 carros)	13 (8 motos e 5 carros)	42 (20 motos e 22 carros)	35 (13 motos e 22 carros)
18:45 - 19:00	94 (40 motos e 54 carros)	23 (17 motos e 6 carros)	38 (18 motos, 18 carros e 2 ambulância)	30 (14 motos, 15 carros e 1 ambulância)
19:00 - 19:15	34 (15 motos e 19 carros)	10 (6 motos e 4 carros)	51 (29 motos, 21 carros e 1 ambulância)	16 (5 motos, 10 carros e 1 ambulância)
19:15 - 19:30	42 (23 motos e 19 carros)	10 (5 motos e 5 carros)	46 (16 motos, 29 carros e 1 ambulância)	29 (9 motos e 20 carros)

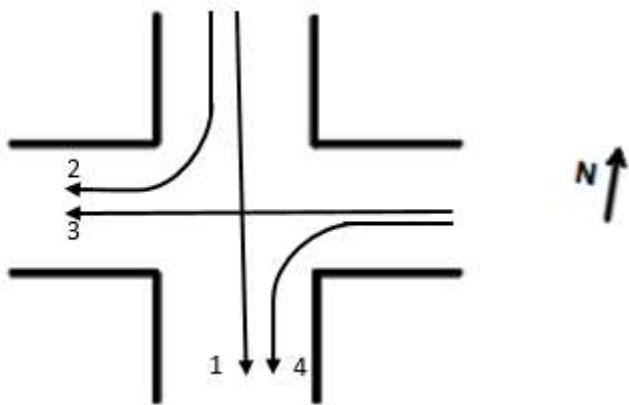
Apêndice 4 – Valores de veículo/h para cada dia da medição 1

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Dia	Movimento 1 (veículos/h)	Movimento 2 (veículos/h)	Movimento 3 (veículos/h)	Movimento 4 (veículos/h)
Dia 1	221	72	273	113
Dia 2	321	118	367	161
Dia 3	212	56	177	110

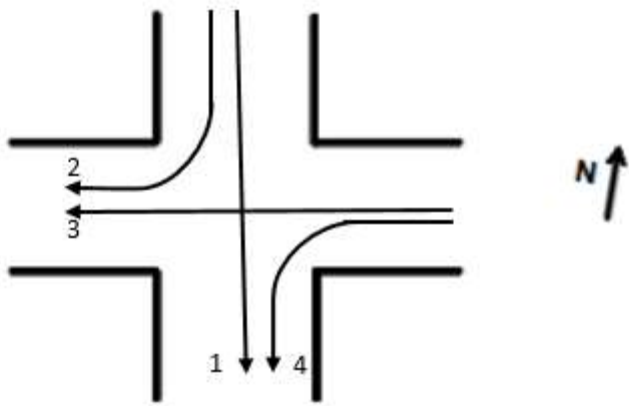
Apêndice 5 – Dados da pesquisa de campo do dia 08/07/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 08/07/2025			Dia da semana: Terça – Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
11:30 - 11:45	106 (63 motos, 42 carros e 1 ambulância)	31 (23 motos e 8 carros)	102 (61 motos, 39 carros e 2 ambulância)	37 (20 motos, 16 carros e 1 ambulância)
11:45 - 12:00	126 (86 motos e 40 carros)	42 (30 motos e 12 carros)	146 (89 motos e 57 carros)	49 (22 motos, 26 carros e 1 ambulância)
12:00 - 12:15	106 (60 motos, 46 carros e 1 ambulância)	32 (24 motos e 8 carros)	91 (61 motos e 38 carros)	38 (19 motos, 18 carros e 1 ambulância)
12:15 - 12:30	100 (54 motos e 46 carros)	30 (19 motos e 11 carros)	96 (61 motos e 45 carros)	34 (22 motos e 12 carros)

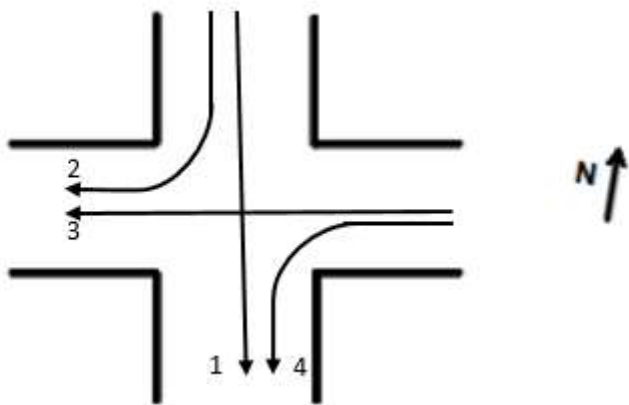
Apêndice 6 – Dados da pesquisa de campo do dia 09/07/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 09/07/2025			Dia da semana: Quarta – Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
11:30 - 11:45	105 (80 motos, 25 carros)	40 (30 motos e 10 carros)	93 (72 motos, 20 carros e 1 ambulância)	33 (20 motos, 13 carros)
11:45 - 12:00	111 (61 motos e 50 carros)	38 (23 motos e 15 carros)	120 (82 motos e 38 carros)	43 (32 motos e 11 carros)
12:00 - 12:15	126 (81 motos, 44 carros e 1 ambulância)	42 (37 motos e 5 carros)	118 (74 motos, 43 carros e 1 ambulância)	38 (20 motos, 17 carros e 1 ambulância)
12:15 - 12:30	107 (52 motos e 55 carros)	36 (25 motos e 11 carros)	84 (50 motos e 34 carros)	51 (25 motos e 26 carros)

Apêndice 7 – Dados da pesquisa de campo do dia 10/07/2025

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Pesquisador: Pedro Augusto Pimentel de Vasconcelos				
Data: 10/07/2025			Dia da semana: Quinta – Feira	
Hora	Movimento 1 (veículos)	Movimento 2 (veículos)	Movimento 3 (veículos)	Movimento 4 (veículos)
11:30 - 11:45	101 (70 motos e 31 carros)	37 (20 motos e 17 carros)	84 (64 motos e 20 carros)	35 (19 motos e 16 carros)
11:45 - 12:00	102 (60 motos e 42 carros)	34 (21 motos e 13 carros)	80 (55 motos e 25 carros)	38 (27 motos e 21 carros)
12:00 - 12:15	124 (79 motos e 55 carros)	49 (40 motos e 9 carros)	146 (100 motos e 46 carros)	48 (31 motos e 17 carros)
12:15 - 12:30	75 (45 motos e 30 carros)	32 (27 motos e 5 carros)	84 (50 motos, 33 carros e 1 ambulância)	28 (18 motos, 10 carros)

Apêndice 8 – Valores de veículo/h para cada dia da medição 2

PESQUISA VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO				
Local: Cruzamento entre as ruas a Rua José Leão e Rua Prefeito Edisio Silva				
Aproximação: Próximo a Unidade Integrada Professor Luiz Rego e ao hospital Balsas Urgente				
Croqui 				
Dia	Movimento 1 (veículos/h)	Movimento 2 (veículos/h)	Movimento 3 (veículos/h)	Movimento 4 (veículos/h)
Dia 1	438	135	435	158
Dia 2	449	156	415	165
Dia 3	402	152	394	149