

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

JULIA ELLEN GALDINO

ANÁLISE COMPARATIVA DAS FERRAMENTAS DE MICROSSIMULAÇÃO DE
TRÁFEGO VISSIM E SUMO: UM ESTUDO DE CASO EM JOINVILLE, SC

Joinville

2024

JULIA ELLEN GALDINO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DUAS FERRAMENTAS DE TRÁFEGO: VISSIM
E SUMO, ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO EM JOINVILLE, SC

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, no Curso de Engenharia de Transportes e Logística, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Simone Becker Lopes

Joinville

2024

JULIA ELLEN GALDINO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DUAS FERRAMENTAS DE TRÁFEGO: VISSIM
E SUMO, ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO EM JOINVILLE, SC.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, no Curso de Engenharia de Transportes e Logística, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 10 de dezembro de 2024.

Banca Examinadora:

Dra. Simone Becker Lopes
Orientadora/Presidente

Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Carlos Eduardo da Cruz
Membro
DETRANS - Joinville

Eng. Felipe Tiburcio
Membro
SEPUR – Joinville

Dedico este trabalho ao meu pai, Milton
J. Galdino. Sempre me ensinando que
não importa o que seja feito, dê o seu
melhor em tudo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por ter incentivado os meus sonhos e apoiado as minhas loucuras aos longos dos anos. Não seria possível ter chegado até aqui sem vocês. E ao Olaf, meu gato, por todas as vezes em que deixei de escrever para abraça-lo, mesmo ele reclamando muito.

As minhas amigas Ana Luiza R. Lira e Bruna Roos pelos mais de 5 anos de amizade, e todas as batalhas que já enfrentamos juntas. Com vocês aprendi o que é uma amizade verdadeira, e por vocês foi possível aguentar firme nessa jornada.

Ao meu namorado, que apesar de estar na minha vida a menos tempo que a UFSC, não mediu esforços em cair de cabeça em todas as minhas loucuras. E nunca deixou de me dar um abraço sempre que foi preciso.

Aos amigos que adquiri durante a graduação, os momentos de descontração, risadas e fofocas ao longo dos dias sempre alegraram os dias nublados. E principalmente ao grande amigo de sala de aula e estágio, Matheus H. Nascimento, obrigada por todas as caronas e todos os surtos de desespero ao longo dos últimos anos.

À Professora Dra. Christiane Fernandes por me apresentar a Engenharia de Tráfego, você abriu portas que mudaram minha visão a respeito de Engenharia de Transportes e Logística.

À minha orientadora Professora Dra. Simone Becker por me auxiliar nessa etapa muito importante, nada disso seria possível sem os seus conselhos e seu apoio.

Ao Giuliano Cortes por topa a ideia de emprestar o drone para gravarmos o cruzamento em uma tarde de terça-feira aleatória.

Ao pessoal do Detrans e principalmente ao Carlos Eduardo (Cadu) por todo o ensinamento nos quase dois anos em que estive estagiando na Prefeitura de Joinville, sua experiência me ensinou muito como ser uma excelente profissional de engenharia. Além de ter me auxiliado disponibilizando os dados necessários para os semáforos.

Aos meus colegas da 4MOB Engenharia, Guilherme, Daiane, Heloisa e Mariana, por todo o conhecimento e oportunidade que estão me dando nessa nova jornada.

E principalmente a Deus por ter me dado saúde e me guiado até onde cheguei hoje.

“When I was in school I liked math because all the problems had answers. Everything else seemed very subjective”.

(Lisa Randall, 2006).

RESUMO

O aumento da frota veicular e da demanda por transporte individual no Brasil tem gerado desafios significativos para a mobilidade urbana, como congestionamentos e a elevação das emissões de poluentes. Nesse contexto, a simulação de tráfego se destaca como uma ferramenta importante para avaliar medidas mitigatórias, possibilitando a análise de diferentes cenários sem a necessidade de intervenções físicas. Entre os *softwares* utilizados para esse tipo de análise, estão o Vissim e o SUMO, conhecidos por suas capacidades de modelagem detalhada e custo-benefício, respectivamente. Este trabalho compara esses dois simuladores, aplicados a um cruzamento semaforizado em Joinville, Santa Catarina. A metodologia adotada envolveu a definição de parâmetros para modelagem, adaptação dos dados, desenvolvimento da infraestrutura virtual e calibração dos modelos. Foram avaliados cenários alternativos, comparando os dois *softwares*, utilizando indicadores de desempenho como tempo de espera e fluxo de veículos. Os resultados evidenciaram que, enquanto, o Vissim oferece maior precisão nas análises detalhadas devido à sua ampla gama de funcionalidades e possibilidades de calibração, o SUMO se destaca pela sua acessibilidade e rapidez na execução das simulações. Apesar das diferenças, ambos os *softwares* apresentaram potencial para aplicação em estudos urbanos, com limitações relacionadas à complexidade do modelo e ao tempo necessário para sua configuração. Os resultados deste trabalho sugerem que a simulação de tráfego é uma ferramenta eficaz para avaliar soluções viáveis e seguras, permitindo a análise prévia de intervenções mitigadoras de maneira eficiente e econômica.

Palavras-chave: Simulação de tráfego; SUMO; Vissim; Mobilidade urbana; Cruzamento semaforizado.

ABSTRACT

The increase in the vehicle fleet and the demand for individual transportation in Brazil has generated significant challenges for urban mobility, such as congestion and the rise in pollutant emissions. In this context, traffic simulation stands out as an important tool for evaluating mitigation measures, enabling the analysis of different scenarios without the need for physical interventions. Among the software used for this type of analysis are Vissim and SUMO, known for their detailed modeling capabilities and cost-effectiveness, respectively. This study compares these two simulators applied to a signalized intersection in Joinville, Santa Catarina. The adopted methodology involved defining modeling parameters, adapting the data, developing the virtual infrastructure, and calibrating the models. Alternative scenarios were evaluated, comparing the two software programs using performance indicators such as waiting time and vehicle flow. The results showed that while Vissim offers greater precision in detailed analyses due to its wide range of functionalities and calibration possibilities, SUMO stands out for its accessibility and speed in executing simulations. Despite their differences, both software programs demonstrated potential for application in urban studies, with limitations related to model complexity and the time required for configuration. The results of this study suggest that traffic simulation is an effective tool for evaluating viable and safe solutions, allowing for the prior analysis of mitigation interventions in an efficient and cost-effective manner.

Keywords: Traffic simulation; SUMO; Vissim; Urban mobility; Signalized intersection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento da frota veicular no Brasil.....	17
Figura 2 - Cruzamento semaforizado escolhido para análise.....	20
Figura 3 – Fatores de ajuste para o cálculo do fluxo de saturação	26
Figura 4 – Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado	27
Figura 5 – Representação de movimentos em uma interseção de duas vias de mão única.....	31
Figura 6 – Movimentos convergentes	32
Figura 7 – Movimentos divergentes	32
Figura 8 – Movimentos interceptantes	33
Figura 9 – Movimentos não-interceptantes	33
Figura 10 – Grupo de movimentos e grupo semaforico	34
Figura 11 – Diagrama de estágios	36
Figura 12 – Diagrama de barras.....	36
Figura 13 – Modelos da simulação de tráfego.....	40
Figura 14 – Fluxograma com as etapas do trabalho	44
Figura 15 - Cruzamento semaforizado definido para análise	47
Figura 16 – Pontos de contagem do Plano Viário de Joinville.....	49
Figura 17 – Pontos de contagem aproximada da área de estudo	49
Figura 18 – Divisão dos pontos com contagem e nomenclatura dos movimentos	50
Figura 19 – Imagem de satélite da área de estudo	51
Figura 20 – Imagem de drone da área de estudo	51
Figura 21 – Tabela com tempos de verde, transição e ciclo	52
Figura 22 – Calibração no SUMO	53
Figura 23 – Calibração no Vissim.....	54
Figura 24 – Mapa do OpenStreetMap	55
Figura 25 – Adição do background.....	56
Figura 26 – <i>Background</i> e <i>links</i> adicionados no VISSIM	57
Figura 27 – Edição dos movimentos através de conectores	57
Figura 28 – Alteração de movimentos da Av. José Vieira x Rua Max Colin	58
Figura 29 – Edição de veículos e fluxos visualizado por meio do <i>NotePad++</i>	60
Figura 30 – Edição dos semáforos no NETEDIT.....	61

Figura 31 – Edição dos veículos, rotas e fluxos no VISSIM	62
Figura 32 – Edição dos controles semaforicos no VISSIM.....	62
Figura 33 – Alteração do estágio 5, movimentos	63
Figura 34 – Tempos de verde para um ciclo de 90 segundos.....	64
Figura 35 – Diagrama de intervalos luminosos	65
Figura 36 – Parâmetros de entrada para otimização semaforica	66
Figura 37 – Tempo de viagem em cada rota do cenário base	67
Figura 38 – Rotas dos gráficos do tempo de viagem do Vissim.....	68
Figura 39 – Tempo de viagem em cada rota do cenário base	68
Figura 40 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do movimento	69
Figura 41 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do movimento	70
Figura 42 – Tempo de viagem das rotas do cenário com o tempo semaforico alterado	71
Figura 43 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do tempo semaforico.....	71
Figura 44 – Simulação e resultados no SUMO	74
Figura 45 – Animações em 3D geradas pelo Vissim	74
Figura 46 – Diagrama de estágios	86
Figura 47 – Movimentos permitidos em cada estágio	87
Figura 48 – Relatório Vistro José Vieira x Max ColinFonte: Autora (2024).	88
Figura 49 – Relatório Vistro José Vieira x Max Colin	89
Figura 50 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona FranciscaFonte: Autora (2024).	90
Figura 51 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca	91
Figura 52 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca	92
Figura 53 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca	93
Figura 54 – Relatório Vistro Hermann A. Lepper x Dona Francisca.....	94
Figura 55 – Relatório Vistro Hermann A. Lepper x Dona Francisca.....	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Princípios da Sinalização de Trânsito	30
Quadro 2 – Entrada automatizada no Excel.....	59
Quadro 3 – Quadro comparativo entre os microssimuladores	75
Quadro 4 - Alocação do tráfego	81
Quadro 5 - Av. Hermann A. Lepper x Av. Hermann A. Lepper.....	82
Quadro 6 – Movimentos e respectivos grupos	85
Quadro 7 - Funcionalidades do Vissim para Análise e Simulação de Tráfego	96
Quadro 8 - Av. Hermann A. Lepper x Av. Hermann A. Lepper.....	98
Quadro 9 - Av. Hermann A. Lepper x Rua Dona Francisca.....	98
Quadro 10 - Av. Hermann A. Lepper x Rua Max Colin.....	99
Quadro 11 - Rua Dona Francisca x Av. Hermann A. Lepper.....	99
Quadro 12 - Rua Dona Francisca x Av. Hermann A. Lepper.....	100
Quadro 13 - Rua Dona Francisca x Rua Max Colin	100
Quadro 14 - Rua Dona Francisca x Rua Dona Francisca	101
Quadro 15 - Av. José Vieira x Rua Max Colin	101
Quadro 16 - Av. José Vieira x Av. Dr. Albano Schulz.....	102
Quadro 17 - Rua Max Colin x Av. José Vieira	103
Quadro 18 - Rua Max Colin x Rua Max Colin.....	103
Quadro 19 - Rua Max Colin x Av. Dr. Albano Schulz	104
Quadro 20 - Av. Dr. Albano Schulz x Av. José Vieira.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos	23
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Contran – Conselho Nacional de Trânsito
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
Detrans – Departamento de Trânsito de Joinville
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITE – *Institute of Transportation Engineers*
FHWA – *Federal Highway Administration*
HCM – *Highway Capacity Manual*
OSM – *OpenStreetMap*
PTV – *Planung Transport Verkehr GmbH*
Sepud – Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável
Sepur – Secretaria de Pesquisa e Planejamento Urbano
SUMO – *Simulation of Urban MObility*
ucp – Unidades de Carros de Passeio
Vissim – *Verkehr in Städten - SIMulation*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1.OBJETIVOS	21
1.1.1. Objetivo Geral.....	21
1.1.2. Objetivos Específicos	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO	22
2.1.1. Características do Tráfego	22
2.1.2. Pesquisas de Tráfego	24
2.1.3. Fluxo, Fluxo de saturação e Tempo perdido de um ciclo	24
2.1.4. Taxa de Ocupação	28
2.1.5. Método de Webster	28
2.2. SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	29
2.2.1. Definição dos tipos de movimentos	30
2.2.2. Características gerais do controle semafórico.....	34
2.2.3. Otimização Semafórica por Meio de Software	38
2.3. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	39
2.3.1. SUMO.....	41
2.3.2. VISSIM	43
3. METODOLOGIA	44
3.1. DEFINIÇÃO DOS DADOS	44
3.2. COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	45
3.3. MODELAGEM DA SIMULAÇÃO	45
3.4. CALIBRAÇÃO	46
3.5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO	46
3.6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS <i>SOFTWARES</i>	46
4. ESTUDO DE CASO	47
4.1. LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	48
4.1.1. Contagem de tráfego.....	48
4.1.2. Análise da Geometria Viária	51
4.1.3. Tempos Semafóricos	52

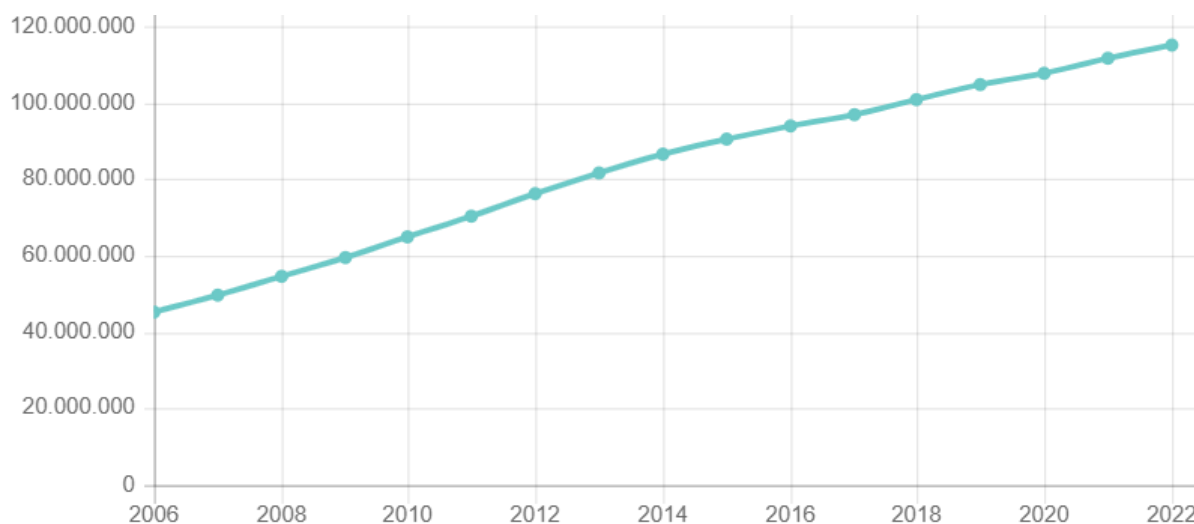
4.2. CALIBRAÇÃO	53
4.3. MODELAGEM DOS CENÁRIOS.....	54
4.3.1. Cenário Base	55
4.3.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego	58
4.3.3. Cenário com alteração do tempo semafórico	58
4.4. INSERÇÃO DE DADOS NOS CENÁRIOS.....	58
4.4.1. Cenário Base	59
4.4.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego	63
4.4.3. Cenário com alteração do tempo semafórico	63
4.5. OTIMIZAÇÃO SEMAFÓRICA	65
4.6. RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DAS SIMULAÇÕES	66
4.6.1. Cenário Base	66
4.6.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego	68
4.6.3. Cenário com alteração do tempo semafórico	70
5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SIMULADORES DE TRÁFEGO	72
5.1. MODELAGEM DA SIMULAÇÃO	72
5.2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	72
5.3. EXPORTAR RESULTADOS	73
5.4. SÍNTESE DA ANÁLISE COMPARATIVA OS MICROSSIMULADORES DE TRÁFEGO	75
6. CONCLUSÃO	76

1. INTRODUÇÃO

As revoluções industriais causaram mudanças no funcionamento das cidades, principalmente no que diz respeito à mobilidade da população. Desde a patente alemã do *Benz-Patent Motorwagen* em 1886 (Vogel, 2011) até aos mais avançados veículos do século XXI, houve mais de um século de tecnologia para o desenvolvimento automobilístico, ademais, para a evolução das cidades e suas infraestruturas de transporte.

De acordo com o Censo 2022 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022), o Brasil teve um aumento de 115.116.532 automóveis na frota veicular, significando um acréscimo de 51% nos últimos dez anos (Figura 1). Esse aumento acelerado, aliado a crescente demanda por transporte individual, intensifica os desafios enfrentados nas áreas urbanas, como congestionamentos e a elevação das emissões de poluentes. Esses problemas impõem a necessidade urgente de soluções que promovam uma mobilidade urbana mais eficiente e sustentável.

Figura 1 - Crescimento da frota veicular no Brasil



Fonte: IBGE (2024).

A questão da mobilidade urbana no Brasil exige um planejamento estratégico e eficiente para lidar com o crescimento populacional e a pressão sobre a infraestrutura viária. No entanto, segundo Lima e Fontgalland (2022) é necessário

repensar a mobilidade, priorizando o transporte público, a mobilidade ativa (como o uso de bicicletas e caminhadas) e a integração de diferentes modos de transporte, de forma a reduzir a dependência do transporte individual e os impactos negativos no tráfego e no meio ambiente. Nesse sentido, a ampliação de infraestruturas para veículos privados, por si só, não é mais vista como a solução ideal. Em vez disso, projetos de mobilidade urbana devem focar em soluções sustentáveis e acessíveis, com o objetivo de melhorar a fluidez do tráfego e a qualidade de vida nas cidades, considerando, por exemplo, a ampliação da infraestrutura cicloviária e o incentivo ao uso de transporte coletivo em um planejamento urbano integrado (Oliveira *et al.*, 2021).

Nesse contexto, as ferramentas de simulação de tráfego desempenham um papel crucial no desenvolvimento de soluções para a mobilidade urbana. Elas permitem a avaliação de diferentes cenários sem a necessidade de intervenções físicas, o que proporciona uma análise mais detalhada e econômica das alternativas. Como destacam Fernandes e Beltrão (2018), a simulação de tráfego possibilita a visualização de mudanças nas infraestruturas viárias em um ambiente virtual, sem o custo e os riscos associados à implementação no mundo real. Essa abordagem não só facilita a avaliação de soluções mitigadoras, mas também contribui para o planejamento de intervenções que visem a redução de congestionamentos e a melhoria da fluidez dos veículos.

Além disso, é relevante destacar que as simulações de tráfego podem ser classificadas em três níveis principais: macroscópica, mesoscópica e microscópica, cada uma atendendo a diferentes propósitos e contextos de aplicação. As simulações macroscópicas tratam o tráfego como um fluxo agregado, utilizando variáveis como volume, densidade e velocidade para modelar redes viárias de grande escala, sendo indicadas para planejamentos estratégicos e estudos de impacto em corredores amplos. Por outro lado, os modelos mesoscópicos combinam aspectos de detalhe e agregação, representando os veículos de forma individual, mas com movimentos baseados em velocidades médias, ideais para análises regionais ou estudos de corredores viários. Já as simulações microscópicas, foco deste trabalho, modelam o comportamento individual de veículos e pedestres, permitindo uma análise detalhada das interações em interseções e cruzamentos. Essa abordagem é essencial para a avaliação de dinâmicas específicas, como tempos de espera e formação de filas em

semáforos, fornecendo insights detalhados e precisos sobre o desempenho local da infraestrutura viária (ITE, 2016).

Segundo Lima (2012) e Araujo (2022), é fundamental avaliar cruzamentos estratégicos nas cidades para otimizar a sinalização e melhorar o desempenho viário. Este estudo se propõe a comparar dois dos principais *softwares* de microssimulação de tráfego: o Vissim (Verkehr In Städten - SIMulation), uma ferramenta comercial amplamente reconhecida por seu alto nível de detalhamento e precisão, e o SUMO (Simulation of Urban MObility), um software livre que se destaca por sua acessibilidade e flexibilidade. O objetivo é analisar o desempenho da sinalização semaforica em um cruzamento de alta demanda na cidade de Joinville, destacando as potencialidades e os desafios associados ao uso de cada ferramenta para estudos dessa natureza.

Joinville, localizada na Região Sul do Brasil, é um importante polo industrial com uma população de 616.317 habitantes, conforme o Censo de 2022 (IBGE, 2022). O município, terceiro maior da Região Sul, atrai grande número de migrantes em busca de oportunidades de emprego, o que tem impulsionado o crescimento populacional e, conseqüentemente, a demanda por transporte individual. Nesse contexto, é fundamental a avaliação da infraestrutura viária existente para garantir que ela acompanhe o ritmo desse desenvolvimento econômico, no entanto, conforme destacado por Lopes (2010), é necessário ressaltar que análises pontuais, como as realizadas neste estudo, contribuem para identificar melhorias localizadas e propor intervenções específicas.

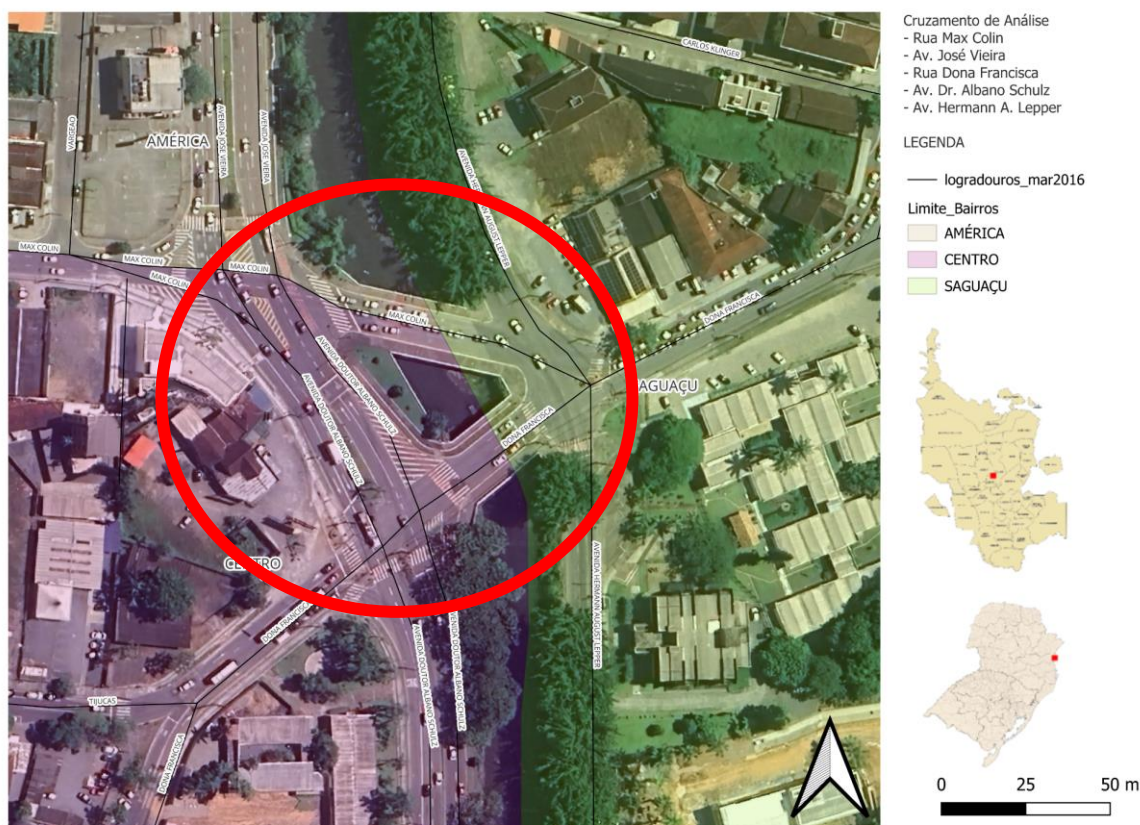
Contudo, essas análises, incluindo o uso de microssimulação, não devem ser interpretadas como soluções abrangentes para os problemas estruturais de mobilidade urbana, que, segundo Lopes (2010) e ITDP (2017), requerem abordagens integradas de uso do solo e transporte, envolvendo planejamento estratégico, políticas públicas sustentáveis que considerem a priorização de modos ativos e transporte público coletivos. Assim, o foco deste trabalho é fornecer subsídios técnicos sobre o uso de duas ferramentas de microssimulação para intervenções em pontos críticos, contribuindo para estudos de sistema viário mais eficientes em termos de fluidez de tráfego, dentro das limitações inerentes à abordagem adotada.

A utilização de simuladores de tráfego para testar diferentes cenários, como o realizado por Freitas (2021) e Araujo (2022), oferece *insights* valiosos sobre como melhorar o tráfego e reduzir os impactos negativos no fluxo de veículos. Portanto,

torna-se justificado tanto pela necessidade acadêmica de analisar e comparar as características de simuladores como o Vissim e o SUMO, quanto pela relevância pública e corporativa de encontrar soluções eficientes para a gestão do tráfego em cidades em crescimento, como Joinville.

Com o objetivo de avaliar um cruzamento semaforizado com grande volume de tráfego, foi escolhido o cruzamento entre as Ruas e Avenidas José Vieira, Dr. Albano Schulz, Dona Francisca, Max Colin e Hermann A. Lepper (Figura 2). Este estudo comparativo entre o Vissim e o SUMO visa identificar qual software é mais adequado para avaliar a redução de filas e tempos de viagem dos usuários, fornecendo informações essenciais para o planejamento de intervenções no trânsito e melhorias na mobilidade urbana.

Figura 2 - Cruzamento semaforizado escolhido para análise



Fonte: Autora (2024).

Portanto, este estudo busca não apenas contribuir para o avanço do conhecimento acadêmico na área de simulação de tráfego, mas também fornecer subsídios para a melhoria da gestão do tráfego urbano em Joinville, destacando qual

ferramenta oferece as melhores características para a implementação de soluções práticas e eficientes.

1.1. OBJETIVOS

Para a análise comparativa de dois microssimuladores de tráfego distintos em um estudo de caso, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar análise comparativa das ferramentas de microssimulação de tráfego Vissim e SUMO, através de um estudo de caso em Joinville/SC.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Definir os dados a serem utilizados na simulação;
- Coletar e organizar os dados necessários;
- Modelar a simulação gerando o cenário base e cenários propostos;
- Calibrar o modelo base;
- Definir os parâmetros de comparação dos funcionamentos de cada *software*;
- Realizar a análise comparativa dos *softwares*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para uma adequada compreensão da análise a ser realizada neste estudo de caso, é necessário entender os conceitos fundamentais de sinalização semafórica e engenharia de tráfego, além das variáveis essenciais que os *softwares* de simulação Vissim e SUMO consideram, como características dos veículos, demanda de tráfego e modelagem da rede viária. A compreensão desses elementos é crucial para interpretar corretamente os resultados das simulações, permitindo uma avaliação do impacto das diferentes configurações semafóricas no desempenho do tráfego. Assim, este estudo aborda esses conceitos teóricos e suas aplicações práticas, de modo a fornecer uma base sólida para a comparação dos dois *softwares* de simulação e a análise de sua eficácia na gestão do tráfego em cenários urbanos.

2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO

A engenharia de tráfego é um campo que busca compreender e organizar os fluxos viários de maneira eficiente e segura, utilizando técnicas e ferramentas que auxiliem na gestão da mobilidade. Dentro desse contexto, a programação semafórica desempenha um papel essencial na regulação do tráfego em cruzamentos e vias urbanas.

2.1.1. Características do Tráfego

Os elementos da programação semafórica são conjuntos de conceitos abordados pelo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V (2022) e pelo Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006).

- I) Volume de Tráfego: “também definido como fluxo de tráfego, é o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo [...]” (DNIT, 2006, p. 45).

II) Volume de Tráfego Equivalente: “é o volume de tráfego veicular expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp)” (Contran, 2022, p. 70).

O desempenho de diferentes tipos de veículos varia conforme suas características. Os carros, conhecidos na literatura técnica como veículos leves, são mais ágeis no trânsito em comparação com veículos comerciais, como ônibus, caminhões e carretas. Da mesma forma, motocicletas são mais ágeis que automóveis (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Na Tabela 1 é apresentado fatores de equivalência para a unidade de carros de passeio (ucp).

Tabela 1 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos

TIPO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA (ucp)
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão (2 eixos)	2,00
Caminhão (3 eixos)	3,00

Fonte: Contran (2022, p. 71).

III) Velocidade (V): “é a relação entre o espaço percorrido por um veículo (d) e o tempo gasto em percorrê-lo (t)” (DNIT, 2006, p. 50). A Equação 1 apresenta o cálculo da velocidade.

$$V = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Em estudos de tráfego, a velocidade é usualmente determinada em km/h.

IV) Densidade: “é o número de veículos por unidade de comprimento da via. A densidade (D_t) pode ser medida pela razão entre o fluxo médio no trecho em veic/h (F_{mt}) e a velocidade média no trecho em km/h (V_{mt}) [...]” (DNIT, 2006, p. 53). A equação da densidade é calculada conforme apresentado na Equação 2.

$$D_t = \frac{F_{mt}}{V_{mt}} \quad (2)$$

2.1.2. Pesquisas de Tráfego

Conforme apresentado no Manual de Estudos de Tráfego (2006), para que haja o levantamento de dados de campo é necessário pesquisa, sendo utilizadas Contagens Volumétricas, Pesquisas Origem e Destino, entre outros métodos.

A Contagem Volumétrica, conforme DNIT (2006), consiste em dimensionar o volume de veículos que percorrem determinado trecho ou ponto da via, em uma unidade de tempo determinada. Sendo a contagem volumétrica classificada nos seguintes itens:

- I) Contagem Global: registra o número de veículos que circulam por um trecho de via, classificando apenas de acordo com as diversas classes;
- II) Contagem Direcional: registra o número de veículos de acordo com o sentido do fluxo utilizados;
- III) Contagem Classificatória: registra o número de veículos de acordo com tipos ou classes veiculares.

De acordo com o *Institute of Transportation Engineers* (ITE, 2016), existem dois métodos básicos para a contagem de tráfego, a contagem manual e a contagem automática.

- I) A contagem manual consiste na contagem de veículos motorizados ou não-motorizados (pedestres e ciclistas) por um analista, seja durante observações em campo ou através de gravações de vídeo.
- II) Já a contagem automática, utiliza a tecnologia automatizada para realizar a contagem, como *softwares*.

2.1.3. Fluxo, Fluxo de saturação e Tempo perdido de um ciclo

- I) Taxa de Fluxo: “é o número de veículos projetado para o período de uma hora a partir dos volumes medidos em uma dada seção de via, durante intervalos de tempo inferiores a uma hora. Em uma programação de tempo fixo, a taxa de fluxo é projetada, com base no volume máximo observado nos intervalos de 15min ao longo do período para a duração do plano” (Contran, 2022, p. 72).

- II) Fluxo de Saturação: “corresponde ao número máximo de veículos que poderia passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica no caso dessa aproximação receber indicação verde durante uma hora inteira” (Contran, 2022, p. 73).

O fluxo de saturação pode ser calculado por meio da observação em campo, utilizando histogramas para análise de saída de veículos de um semáforo. Outra forma de obter o valor do fluxo de saturação é apresentado no *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010).

Segundo o HCM (2010), pode-se calcular o fluxo de saturação conforme a Equação 3 e a Figura 3.

$$S = S_0 \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{LU} \times f_{LT} \times f_{RT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (3)$$

onde:

s = taxa de fluxo de saturação ajustada (veículos/h/faixa),

s_0 = taxa de fluxo de saturação base (ucp/h/faixa),

f_w = fator de ajuste para largura da faixa,

f_{HV} = fator de ajuste para veículos pesados no fluxo de tráfego,

f_s = fator de ajuste para inclinação da aproximação,

f_v = fator de ajuste para existência de uma faixa de estacionamento e atividade de estacionamento adjacente ao grupo de faixas,

f_{bb} = fator de ajuste para o efeito de bloqueio de ônibus locais que param dentro da área da interseção,

f_a = fator de ajuste para o tipo de área,

f_{LU} = fator de ajuste para utilização da faixa,

f_{LT} = fator de ajuste para a presença de veículos que fazem conversão à esquerda em um grupo de faixas,

f_{RT} = fator de ajuste para a presença de veículos que fazem conversão à direita em um grupo de faixas,

f_{Lpb} = fator de ajuste para pedestres em grupos de conversão à esquerda, e

f_{Rpb} = fator de ajuste para pedestres e bicicletas em grupos de conversão à direita.

Figura 3 – Fatores de ajuste para o cálculo do fluxo de saturação

Factor	Formula	Definition of Variables	Notes
Lane width	$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$	W = lane width (m)	W ≥ 2.4 If W > 4.8, a two-lane analysis may be considered
Heavy vehicles	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% HV(E_T - 1)}$	% HV = % heavy vehicles for lane group volume	E _T = 2.0 pc/HV
Grade	$f_g = 1 - \frac{\% G}{200}$	% G = % grade on a lane group approach	-6 ≤ % G ≤ +10 Negative is downhill
Parking	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _m = number of parking maneuvers/h	0 ≤ N _m ≤ 180 f _p ≥ 0.050 f _p = 1.000 for no parking
Bus blockage	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _B = number of buses stopping/h	0 ≤ N _B ≤ 250 f _{bb} ≥ 0.050
Type of area	f _a = 0.900 in CBD f _a = 1.000 in all other areas		
Lane utilization	$f_{LU} = v_g / (v_{g1} N)$	v _g = unadjusted demand flow rate for the lane group, veh/h v _{g1} = unadjusted demand flow rate on the single lane in the lane group with the highest volume N = number of lanes in the lane group	
Left turns	Protected phasing: Exclusive lane: f _{LT} = 0.95 Shared lane: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	P _{LT} = proportion of LTs in lane group	See Exhibit C16-1, Appendix C, for nonprotected phasing alternatives
Right turns	Exclusive lane: f _{RT} = 0.85 Shared lane: f _{RT} = 1.0 - (0.15)P _{RT} Single lane: f _{RT} = 1.0 - (0.135)P _{RT}	P _{RT} = proportion of RTs in lane group	f _{RT} ≥ 0.050
Pedestrian-bicycle blockage	LT adjustment: f _{Lpb} = 1.0 - P _{LT} (1 - A _{pbT}) (1 - P _{LTA}) RT adjustment: f _{Rpb} = 1.0 - P _{RT} (1 - A _{pbT}) (1 - P _{RTA})	P _{LT} = proportion of LTs in lane group A _{pbT} = permitted phase adjustment P _{LTA} = proportion of LT protected green over total LT green P _{RT} = proportion of RTs in lane group P _{RTA} = proportion of RT protected green over total RT green	Refer to Appendix D for step-by-step procedure

Fonte: HCM (2000).

- III) Tempo perdido de um ciclo: “a ocorrência do tempo perdido pode ter duas causas, existência de estágio de pedestres e alternância de passagem entre as correntes de tráfego veicular” (Contran, 2022). Dessa forma, o tempo perdido total (T_p), pode ser calculado através da Equação 4 (Figura 4).

$$T_p = t_{ep} + \sum_{i=1}^n (t_{pin_i} + t_{pfn_i}) \quad (4)$$

onde,

T_p - Tempo perdido total, em segundos;

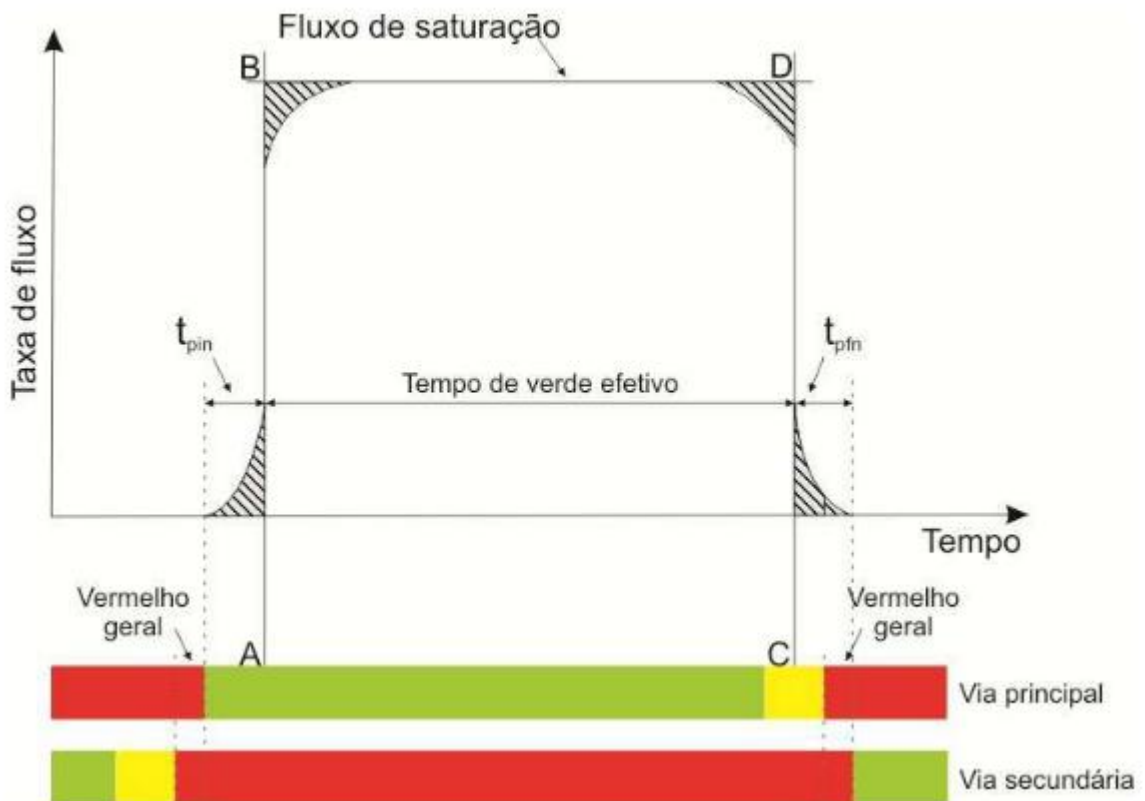
t_{ep} - Tempo de estágio exclusivo para pedestres, caso existente, em segundos;

n - Número de estágios veiculares existentes;

t_{pin_i} - Tempo perdido no início do estágio i , em segundos;

t_{pfn_i} - Tempo perdido no final do estágio i , em segundos.

Figura 4 – Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado



Fonte: Contran (2022, p. 73).

2.1.4. Taxa de Ocupação

Conforme o Contran (2022) a taxa de ocupação é representada pelo símbolo y , é a relação entre sua taxa de fluxo e o respectivo fluxo de saturação, Equação (5).

$$y = \frac{F}{FS} \quad (5)$$

onde,

y – Taxa de ocupação;

F – Taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

FS – Fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora.

2.1.5. Método de Webster

O Método de Webster é utilizado para o cálculo do tempo de ciclo em semáforos, com o objetivo de otimizar a operação dos cruzamentos semaforizados. Esse método é útil em situações de tráfego intenso, onde é necessário balancear o fluxo entre os diferentes grupos de veículos, assegurando a máxima eficiência da sinalização. Levando em consideração parâmetros como o tempo perdido durante as transições e a taxa de ocupação dos grupos críticos de movimento (WEBSTER, 1966).

Conforme apresentado pelo Contran (2022), pode-se calcular o Método de Webster por meio da Equação 6.

$$t_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (6)$$

onde:

t_{co} – Tempo de ciclo ótimo, em segundos;

T_p - Tempo perdido total, em segundos;

y_i – Taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

n – Número de estágios.

O tempo de verde efetivo corresponde ao tempo de verde de cada estágio, utilizando o ciclo ótimo calculado pelo método de Webster, a Equação 7 corresponde ao tempo de verde efetivo.

$$t_{v,efet,i} = (t_c - T_p) \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (7)$$

em que,

$t_{v,ef,i}$ – tempo de verde efetivo do estágio i , em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

T_p – tempo perdido total, em segundos;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

n – número de estágios.

2.2. SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

A sinalização semafórica é um componente essencial na gestão do tráfego urbano, especialmente em interseções, onde há a interação entre diferentes modos de transporte e pedestres. A correta operação dos semáforos pode ter um impacto significativo na eficiência do tráfego, ajudando a minimizar congestionamentos, reduzir acidentes e otimizar o tempo de viagem. Dessa forma, compreender como a sinalização semafórica influencia a circulação dos veículos e a segurança nas vias é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mobilidade urbana. No contexto deste estudo, é preciso explorar as funções e os princípios que regem a sinalização semafórica, uma vez que esses elementos impactam diretamente nos resultados das simulações de tráfego realizadas pelos *softwares* Vissim e SUMO.

Segundo o Conselho Nacional de Trânsito (Contran, 2022), "a função da sinalização semafórica pode ser dividida em regulamentação e advertência, sendo: Regular a prioridade de passagem dos diferentes tipos de veículos (motorizados e não motorizados) e pedestres em uma interseção ou trecho de via; e Advertir condutores de veículos motorizados, não motorizados, e pedestres, sobre a presença de obstáculos ou situações perigosas em uma interseção ou trecho de via."

Para que haja real eficácia, o Contran (2022) informa os princípios que devem ser seguidos para as sinalizações de trânsito em geral (Quadro 1).

Quadro 1 - Princípios da Sinalização de Trânsito

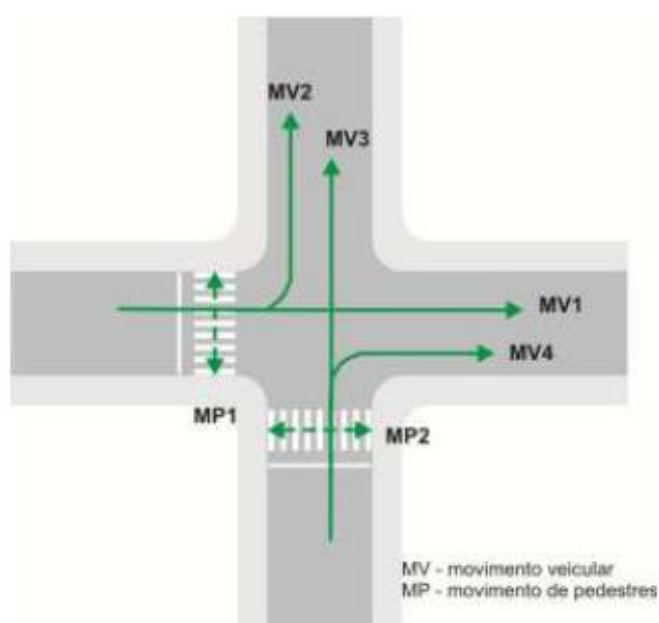
Legalidade	Estar de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro – CTB e legislação complementar;
Suficiência	Permitir fácil percepção do que realmente é importante, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
Padronização	Seguir um padrão legalmente estabelecido e atender à regra de que situações iguais devem ser sinalizadas segundo os mesmos critérios;
Clareza	Transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão; Evitar a ocorrência de informação conflitante no direito de passagem;
Precisão e confiabilidade	Ser precisa e confiável, corresponder à situação existente; Ter credibilidade; Atender aos requisitos técnicos mínimos de segurança viária e fluidez, alternando o direito de passagem de movimentos conflitantes;
Visibilidade e legibilidade	Ser vista à distância necessária e em tempo hábil para a tomada de decisão;
Manutenção e conservação	Estar permanentemente limpa, conservada e visível; Sofrer as adequações necessárias, tais como reprogramação, atualização e remoção, acompanhando a dinâmica do trânsito.

Fonte: Contran (2022, p. 9).

2.2.1. Definição dos tipos de movimentos

Segundo o Contran (2022) o termo movimento, em uma interseção ou segmento viário situado no meio de um quarteirão, refere-se ao fluxo de veículos com a mesma origem e destino, e/ou ao fluxo de pedestres que se deslocam na mesma direção, embora não necessariamente no mesmo sentido. Visualmente, o movimento é representado por uma linha e uma seta, onde a linha mostra a direção e a seta indica o sentido (Figura 5).

Figura 5 – Representação de movimentos em uma interseção de duas vias de mão única



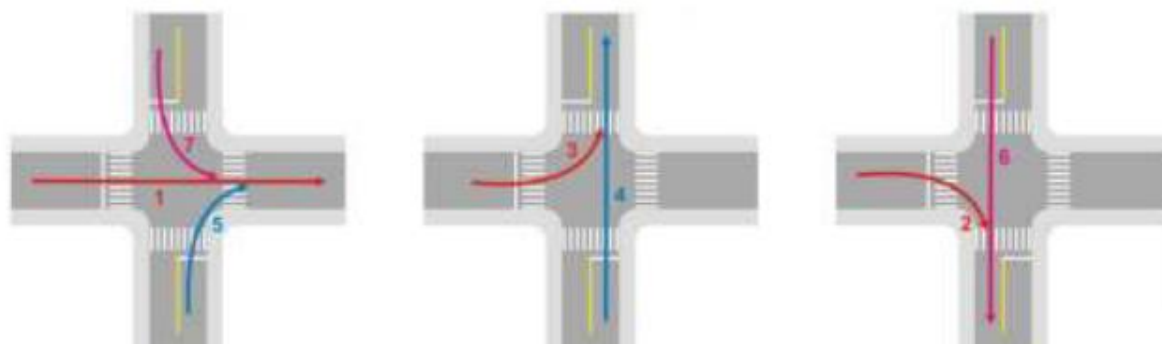
Fonte: Contran (2022, p. 27).

A Figura 5 apresenta uma interseção de duas vias de mão única com movimentos veiculares (MV) e de pedestres (MP). Os movimentos MV1 e MV2 possuem a mesma origem, porém destinos diferentes. O mesmo ocorre com os movimentos MV3 e MV4.

Os movimentos de uma interseção, podem ser classificados da seguinte maneira, quanto à iteração de cada uma das trajetórias:

- a) Convergentes: origens em diferentes aproximações, e possuem destino semelhante (Figura 6).

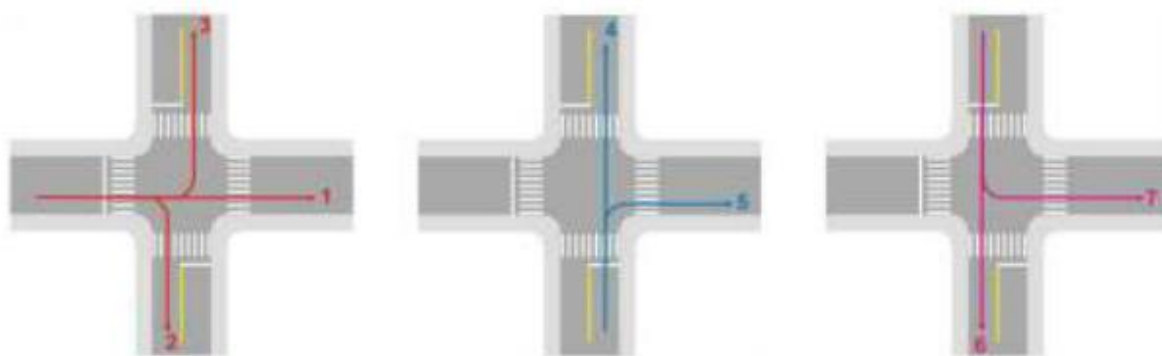
Figura 6 – Movimentos convergentes



Fonte: Contran (2022, p. 29).

- b) Divergentes: origens na mesma aproximação, e possuem destinos divergentes (Figura 7).

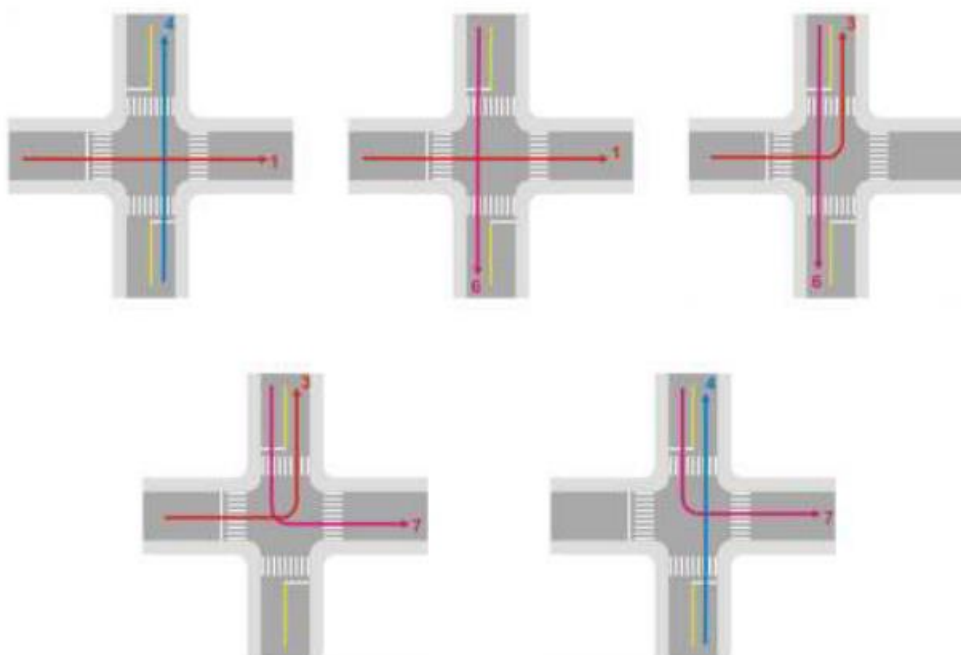
Figura 7 – Movimentos divergentes



Fonte: Contran (2022, p. 29).

- c) Interceptantes: origens em aproximações diferentes e se interceptam em algum ponto da área de conflito (Figura 8).

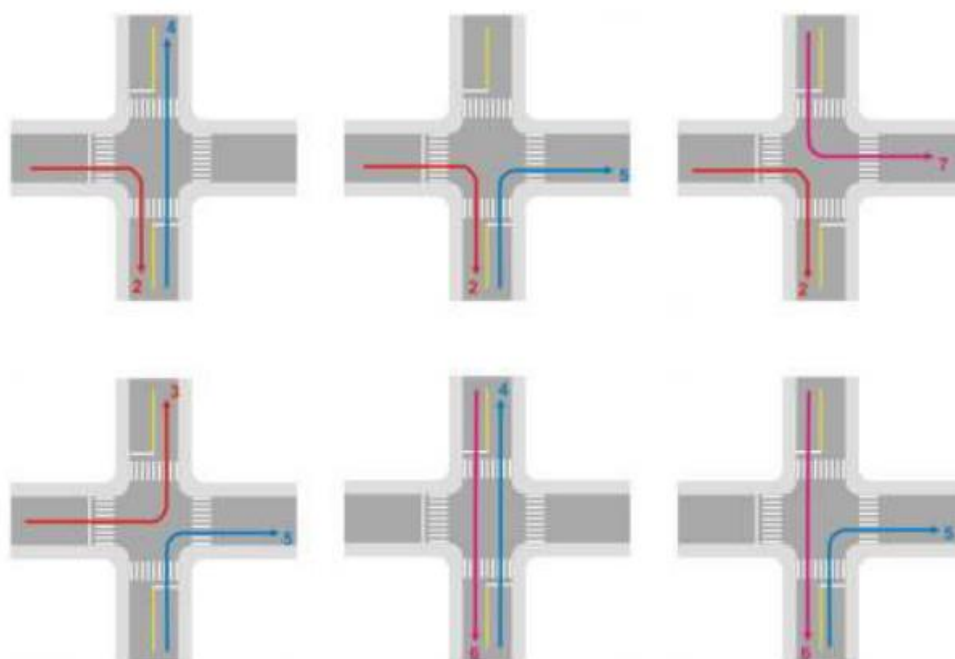
Figura 8 – Movimentos interceptantes



Fonte: Contran (2022, p. 29).

- d) Não-Interceptantes: não há encontro de trajetórias em nenhum ponto da área de conflito (Figura 9).

Figura 9 – Movimentos não-interceptantes



Fonte: Contran (2022, p. 30).

Com relação à iteração das trajetórias, para o controle semafórico, é classificado como:

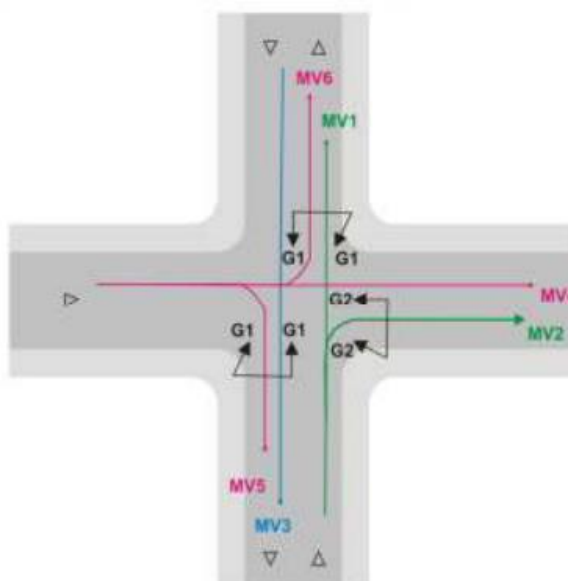
- a) Conflitantes: movimentos com origens diferentes cujas trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito.
- b) Não-conflitantes: movimentos cujas trajetórias não se interceptam nem convergem em nenhum ponto da área de conflito.

2.2.2. Características gerais do controle semafórico

Conforme apresentado no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V (2022), as características gerais são divididas entre elementos básicos, que caracterizam o controle semafórico, os tipos de controle e modos de implementação do controle semafórico.

- a) Elementos básicos:
 - a. Grupo de movimentos: é o conjunto de movimentos que recebem o direito de passagem simultaneamente em uma mesma aproximação (Figura 10).
 - b. Grupo semafórico: é o conjunto semafórico com a informação luminosa idêntica, controlando os grupos de movimentos com direito a passagem.

Figura 10 – Grupo de movimentos e grupo semafórico



Fonte: Contran (2022, p. 59).

- c. Estágio: intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem, composto pelo tempo de verde e entre verdes.
- d. Entreverdes: é o intervalo de tempo entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.
 - i. Semáforos Veiculares: composto do tempo de amarelo, somado a um tempo de vermelho geral sempre que preciso.
 - ii. Semáforos de Pedestres: composto do tempo de vermelho intermitente, somado a um tempo de vermelho geral.
- e. Vermelho Geral: intervalo de tempo entre o final do amarelo (ou vermelho intermitente) e início do verde, entre estágios distintos.
- f. Ciclo: sequência completa de estágios de uma sinalização semafórica. Composta da soma de todos os estágios e entreverdes.
- g. Plano semafórico: conjunto de elementos que caracteriza a programação da sinalização semafórica em um determinado período do dia.
- h. Tempo perdido no início do estágio: tempo relativo à demora de reação dos motoristas à mudança da indicação semafórica e necessário para iniciar o movimento de saída dos veículos (geralmente cerca de 2 segundos).
- i. Verde efetivo: tempo efetivamente disponível para os veículos atravessarem a interseção.
- j. Diagrama de estágios: representação gráfica da alocação dos movimentos que podem ser realizados em cada estágio presente durante o ciclo (Figura 11).

- b. Semi Atuado: sinal verde é contínuo para os veículos da aproximação com maior fluxo, sendo interrompido quando detectores implantados na via de menor fluxo indicarem a presença de demanda veicular.
- c. Totalmente atuado: detectores de tráfego em todas as aproximações do cruzamento permitem alteração nos tempos dos estágios.

c) Estratégias de controle:

- a. Controle isolado: cada interseção é controlada independente das demais, não ocorrendo nenhum tipo de coordenação semafórica.
- b. Controle em rede: visa o aumento do desempenho da circulação do tráfego ao longo de uma rede aberta ou de uma rede fechada.
 - i. Controle em rede aberta: visa privilegiar a circulação do tráfego em uma via (ou em um percurso pré-estabelecido), definido como controle em corredor.
 - ii. Controle em rede fechada: visa melhorar o desempenho geral do tráfego em uma determinada região, é denominado controle em área.

A programação em rede implica, além dos parâmetros da programação de controle isolado, a definição de um parâmetro denominado defasagem.

- iii. Defasagem: é a diferença, em segundos, entre os verdes de dois semáforos consecutivos de uma mesma via e está relacionado com o sincronismo dos semáforos.

d) Modos de Operação:

- a. Controle local: programação semafórica implementada diretamente no controlador, em campo.
- b. Controle centralizado: controles de tráfego conectados a um computador central que faz a gerência das operações dos controladores.

2.2.3. Otimização Semafórica por Meio de Software

O processo de otimização semafórica busca melhorar o desempenho de intersecções por meio da redução de filas e atrasos, além de minimizar os tempos de ciclos semafóricos. Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V (Contran, 2022), esse tipo de intervenção promove maior eficiência no fluxo veicular e contribui para a diminuição do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes, impactando positivamente o meio ambiente.

Nesse contexto, o uso de softwares específicos, como o Vistro, tem sido uma prática amplamente adotada. Conforme Pereira e Pereira (2017) ferramentas de simulação e sistemas de otimização permitem realizar análises detalhadas de intersecções e desenvolver planos de tempos de ciclo otimizados. Com uma interface acessível, o Vistro possibilita a entrada de dados de tráfego, como volumes veiculares e tempos de atraso, gerando soluções para a sincronização de sinais semafóricos.

Uma característica central desse processo é a definição de uma função objetivo, que orienta a otimização com base em métricas específicas de desempenho. No caso do Vistro, a função objetivo pondera o atraso total dos veículos (em horas) e o número de paradas ao longo da intersecção. A atribuição de pesos a essas variáveis permite que o software ajuste as soluções de acordo com as prioridades do projeto, como reduzir os atrasos ou minimizar as paradas. Essa abordagem contribui para um equilíbrio entre eficiência operacional e conforto dos usuários (PTV, 2024).

Além disso, o Vistro oferece a possibilidade de escolher métodos de otimização, como algoritmos genéticos ou o método Hill Climbing, que avaliam diferentes soluções para encontrar aquela que melhor atende aos objetivos definidos. A precisão do processo pode ser ajustada em incrementos de tempo, garantindo maior detalhamento da análise e resultados alinhados às condições específicas da rede viária (PTV, 2024).

O funcionamento do software baseia-se em princípios da engenharia de tráfego, como o cálculo de tempos de verde em função da demanda veicular e a priorização de fluxos principais. Ele também possibilita a simulação de diferentes cenários, como a adição de faixas exclusivas ou ajustes nos tempos de ciclo, contribuindo para a avaliação de intervenções futuras.

Outra aplicação importante do Vistro é no planejamento de corredores semafóricos, envolvendo a integração de múltiplas intersecções. Essa funcionalidade

é particularmente útil em áreas urbanas com alta densidade de tráfego, onde há necessidade de soluções que reduzam atrasos e aumentem a capacidade da rede viária (PTV, 2024).

2.3. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

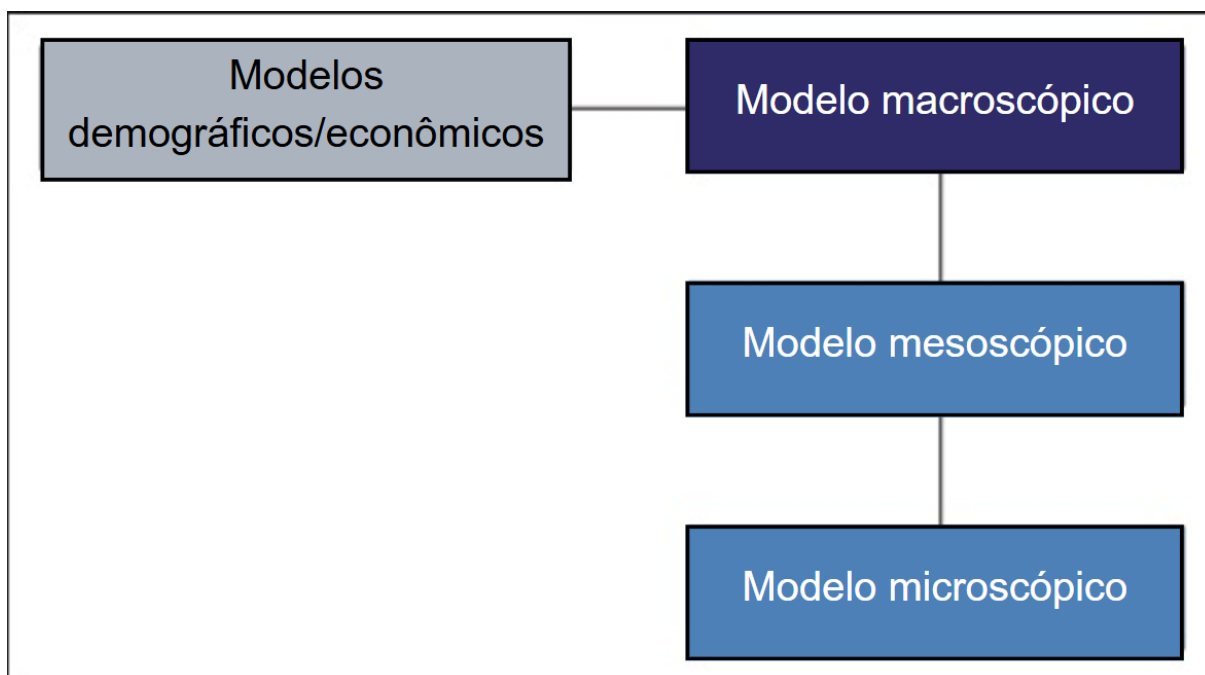
Quando se considera alterações no tráfego urbano, o custo de testar essas mudanças na prática torna-se inviável. Frequentemente, a teoria sozinha não é suficiente para promover melhorias concretas na realidade. À vista disso, a tecnologia contribuiu com a utilização de simuladores, que permitem testar na prática ideias comprovadas teoricamente.

De acordo com Daguno *et al.* (2023) antes de implementar novas intervenções em sistemas de tráfego, os engenheiros avaliam os impactos de suas decisões em cenários projetados para o futuro. Essa avaliação permite dimensionar soluções práticas e planejar ações estratégicas para a política de transportes. A modelagem computacional é fundamental nesse processo, especialmente para a previsão e análise de cenários futuros.

A simulação é a ferramenta mais eficaz para profissionais encarregados de tomar decisões sobre sistemas específicos, possibilitando a análise de situações que não podem ser avaliadas de outra maneira. Dessa forma, é possível definir a simulação como o processo de criar uma representação de um modelo real e realizar experimentos para compreender o comportamento do sistema e avaliar diferentes estratégias de operação (Shannon, 1998).

Os modelos de simulação de tráfego são classificados em três abordagens básicas da análise de tráfego: a macroscópica, que descreve o comportamento da corrente de tráfego, a mesoscópica, que prioriza a análise entre pelotões de veículos que se formam nas correntes de tráfego, e a microscópica, que tem como enfoque a interação de veículo a veículo em uma corrente de tráfego (Figura 13).

Figura 13 – Modelos da simulação de tráfego



Fonte: Adaptado de ITE (2016, p. 323).

Segundo Barceló (2010) a modelagem da dinâmica dos fluxos de tráfego para simular sua propagação na rede viária é baseada na afirmação de que um sistema pode ser modelado em diferentes modos de acordo com diferentes abordagens. A abordagem a adotar vai depender do propósito do analista e do estudo em questão. O autor destaca as abordagens microscópica, mesoscópica e microscópica.

Segundo o autor, na modelagem macroscópica o fluxo de tráfego é modelado de forma agregada, baseado na analogia à hidrodinâmica que considera fluxos de tráfego como um fluido através de variáveis agregadas, tais como densidade, volume e velocidade. Ainda Storani et al. (2021) a modelagem macroscópica é utilizada para representação de situações de fluxo livre de veículos, necessitando para a elaboração e a calibração da simulação uma quantidade menor de dados de entrada e de hardware em comparação as outras modelagens, entretanto apresentando resultados agrupados e com seu detalhamento em uma escala mais ampla da rede.

Ribeiro (2003) destaca que na modelagem macroscópica as relações atraso-fluxo se aplicam bem para explicar tempos de viagem ao longo de arcos longos. Assim, o uso da modelagem macroscópica é comum em análises de *free-ways* e vias arteriais. Modelos tradicionais de alocação de tráfego, como o TRIPS, o EMME2 e o TRANPLAN, fazem uso da abordagem macroscópica. As relações simplificadas entre

atraso e fluxo conduzem a estimativas satisfatórias de fluxos, para fins de planejamento.

Os modelos mesoscópicos representam uma alternativa intermediária de modelagem baseada na simplificação da dinâmica veicular. O modelo mesoscópico é um nível médio de detalhamento, utilizando a dinâmica e os resultados para um conjunto de veículos, conforme empregado na modelagem macroscópica e a configuração individual dos veículos, como é definido para o modelo microscópico, apresentando uma necessidade inferior de hardware em comparação a microssimulação de tráfego e um detalhamento dos resultados melhor que a macrossimulação de tráfego (BARCELÓ, 2010).

A modelagem microscópica, sendo a abordagem adotada no presente estudo, é baseada na representação do comportamento individual dos veículos na simulação, possibilitando configurar fatores como a aceleração, a desaceleração, a mudança de faixa e as repostas do motorista ao trânsito, apresentando o maior custo computacional em comparação aos outros modelos.

A esse respeito Araújo (2003) destaca que em virtude de apresentarem uma descrição do tráfego mais completa, os modelos microscópicos apresentam a vantagem potencial de oferecer uma replicação mais realista. Porém, paralelamente, exigem maior esforço para implementação. Em comparação à abordagem macroscópica, a aplicação de modelos microscópicos de simulação é mais complexa, consome maior volume de dados, maior tempo de implantação, e exige maior esforço computacional. Assim, são mais custosos para serem desenvolvidos, implementados e mantidos. Modelos microscópicos apresentam maior complexidade lógica e parâmetros para serem calibrados. Assim, é consenso na bibliografia que o processo de calibração é complexo, demorado e dificultoso.

A modelagem microscópica de tráfego utiliza de submodelos como o de *car-following*, de *lane-changing* e de *gap-acceptance* para realizar a representação do comportamento dos veículos no trânsito, apresentando uma diversidade de parâmetros para definir a percepção dos motoristas ao trânsito vivenciado na realidade (BARCELÓ, 2010).

2.3.1. SUMO

O Eclipse SUMO, um dos softwares adotados nesse estudo, é um simulador de tráfego microscópico, gratuito e *open source*, disponível desde 2001. Ele possibilita a modelagem de sistemas de tráfego intermodal, abrangendo veículos rodoviários, transporte público e pedestres. Incluso no SUMO há uma série de ferramentas de suporte que automatizam tarefas essenciais para a criação, execução e avaliação de simulações de tráfego, como importação de redes, cálculo de rotas, visualização e cálculo de emissões. Além disso, o SUMO pode ser aprimorado com modelos personalizados e oferece diversas APIs para controle remoto da simulação (*Eclipse Foundation*).

Em consonância com Lopez *et al.* (2018) as redes SUMO são compostas por nós e arestas que representam diversos tipos de infraestrutura, como ruas, vias navegáveis, trilhos, ciclovias e passarelas. Cada aresta é descrita por segmentos de linha e pode incluir múltiplas faixas paralelas com atributos constantes como largura, limite de velocidade e permissões de acesso específicas (por exemplo, faixas exclusivas para ônibus). Para garantir a representação precisa da rede, são utilizadas as ferramentas NETCONVERT e NETEDIT.

O NETCONVERT, uma ferramenta de linha de comando, importa redes de fontes diversas como *OpenStreetMap* (OSM), *OpenDRIVE* e *Shapefile*, refinando heurísticamente dados ausentes para alcançar detalhamento suficiente para simulações microscópicas (Lopez *et al.*, 2018).

O NETEDIT, um editor gráfico de redes, complementa a geração automática com refinamentos manuais e suporte à definição de elementos como interseções, semáforos, infraestrutura adicional (como paradas de ônibus) e pontos de interesse. Essas ferramentas são fundamentais devido à complexidade na preparação de redes e infraestrutura para simulações detalhadas, sendo o NETCONVERT continuamente aprimorado para melhorar suas heurísticas e reduzir a necessidade de edição manual, incluindo a adição de suporte para novos formatos de dados, modelagem de redes com tráfego à esquerda, e geração de redes multimodais para veículos, bicicletas e pedestres (Lopez *et al.*, 2018).

O SUMO destaca-se por sua capacidade de modelar com precisão diversos aspectos do tráfego urbano e rural, oferecendo uma plataforma robusta para a análise e planejamento de sistemas de transporte. Sua flexibilidade e extensibilidade permitem que pesquisadores e planejadores adaptem a ferramenta às necessidades específicas de seus estudos, proporcionando insights valiosos para a melhoria da

eficiência e segurança dos sistemas de transporte. Com o contínuo desenvolvimento de suas ferramentas de suporte, o SUMO mantém-se na vanguarda das tecnologias de simulação de tráfego, facilitando a criação de ambientes de simulação cada vez mais realistas e detalhados.

2.3.2. VISSIM

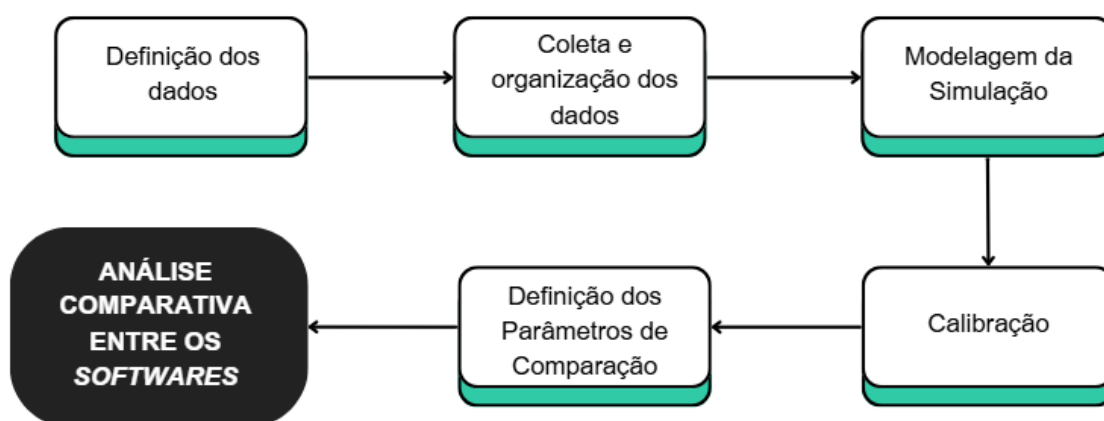
O Vissim, o outro software adotado nesse estudo, é uma ferramenta avançada de simulação microscópica, baseada em passos de tempo e comportamento, destinada a modelar o tráfego urbano e rural, bem como fluxos de pedestres. A ferramenta permite a modelagem de transporte privado e público, incluindo sistemas baseados em trilhos e estradas. O Vissim facilita a análise e teste de interações complexas entre sistemas, como controles de sinal adaptativos, recomendações de rotas em redes e veículos comunicantes. Além disso, possibilita simular a interação entre fluxos de pedestres e o transporte público e privado, além de planejar a evacuação de edifícios e estádios. Devido à sua versatilidade, o Vissim é empregado para resolver uma ampla gama de questões em diversas áreas de aplicação, demonstrando sua utilidade em análises detalhadas de tráfego e planejamento urbano (*Planung Transport Verkehr GmbH – PTV Group, 2022*).

No Anexo A é possível verificar respostas a problemas de tráfego em que, segundo a *PTV Group*, o Vissim pode ser implantado.

3. METODOLOGIA

Para realizar a análise do funcionamento dos dois simuladores de tráfego selecionados, SUMO e Vissim, é necessário estabelecer um escopo de estudo claro. Nesse sentido, o trabalho foi estruturado em etapas distintas, cada uma com metas específicas que abrangem desde o embasamento teórico até a análise e comparação final dos resultados obtidos pelos simuladores (Figura 14).

Figura 14 – Fluxograma com as etapas do trabalho



Fonte: Autora (2024).

3.1. DEFINIÇÃO DOS DADOS

Inicialmente deve ser definido o ponto a ser definido como área de estudo, sendo realizada uma pesquisa bibliográfica para que seja aprofundado os temas relevantes ao assunto, como engenharia de tráfego, simulação de tráfego e otimização semaforica. Essa pesquisa deve ter como objetivo identificar estudos anteriores e fundamentos teóricos que possam embasar a metodologia e análise do trabalho. Através da pesquisa bibliográfica define-se quais dados são necessários para a implementação do estudo de caso. Os dados a serem utilizados são: os volumes de tráfego por meio de contagens de tráfego, a coleta dos mapas da área de estudo que permitam verificar as características geométricas das vias e coleta dos tempos semaforicos.

3.2. COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A coleta dos dados necessários para a realização das simulações e análises, tem como objetivo o levantamento dos dados necessários para o estudo de caso. Para a obtenção de dados precisos, é necessário solicitar informações à Prefeitura do Município, realizar buscas em documentos oficiais e complementar com análises de mapas e observações *in loco*.

Para a organização dos dados, é preciso que seja realizado a separação de quais dados serão realmente usados e de que forma, sendo necessário construções de tabelas e mapas com as informações adquiridas. Além da realização da alocação de tráfego através da utilização de rotas fixas para cada movimento, com o objetivo de garantir a validação do princípio de Wardrop, que estipula que todos os veículos que entram na rede devem eventualmente deixá-la, assegurando uma distribuição otimizada dos fluxos viários.

3.3. MODELAGEM DA SIMULAÇÃO

A modelagem da simulação traz a construção da rede de tráfego para cada ferramenta de simulação, desde a importação dos mapas, até aos ajustes necessários para que seja refletido com precisão as características de cada cenário de estudo. No caso deste estudo, foi modelado o cenário base, que é o cenário de referência com as características atuais do cruzamento, e foram propostos dois cenários alternativos para análise: o cenário de alteração do movimento de tráfego e o cenário com os tempos semaforicos otimizados. Adicionalmente, os modelos devem ser aprimorados por meio da definição de parâmetros de entrada, como volume de tráfego, tempos semaforicos e características da rede viária.

A otimização semaforica, para um dos cenários alternativos, foi realizada por meio da utilização de software, o PTV Vistro. O Vistro é de uso comercial, e nesse estudo teve seus resultados aplicados tanto para o software de microssimulação da mesma empresa, o Vissim, quanto para o SUMO. O Vistro tem como função objetivo, para o cálculo do tempo de ciclo ótimo, o atraso total dos veículos (em horas) e o número de paradas ao longo da interseção.

3.4. CALIBRAÇÃO

A calibração da simulação é uma etapa essencial para garantir que os modelos representem as condições reais do tráfego no cruzamento analisado. Essa etapa foi realizada de maneira visual, com base em dados coletados por meio de filmagens com drones, que permitiram observar volumes de tráfego, tempos de espera e comportamentos típicos dos motoristas. A calibração envolveu a revisão dos parâmetros de entrada, a observação da simulação e a verificação da consistência dos volumes de tráfego, considerando o cenário base.

3.5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

A definição dos parâmetros de comparação teve como objetivo a avaliação de como cada *software* traz o seu funcionamento, além de como apresenta resultados por meio de cenários reais e propostos. Para essa análise foram utilizados três cenários para a obtenção de resultados, sendo eles, o cenário base, o cenário com alteração do movimento de tráfego e o cenário com a alteração do tempo semafórico por meio da utilização da otimização do ciclo.

Para a comparação dos softwares foram considerados como parâmetros: o tempo médio de espera, tempo médio de duração das rotas, além de aspectos como a facilidade de utilização da interface, precisão na simulação e desempenho computacional. Esses parâmetros permitem uma análise abrangente e fundamentada das potencialidades e limitações de cada ferramenta.

3.6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS *SOFTWARES*

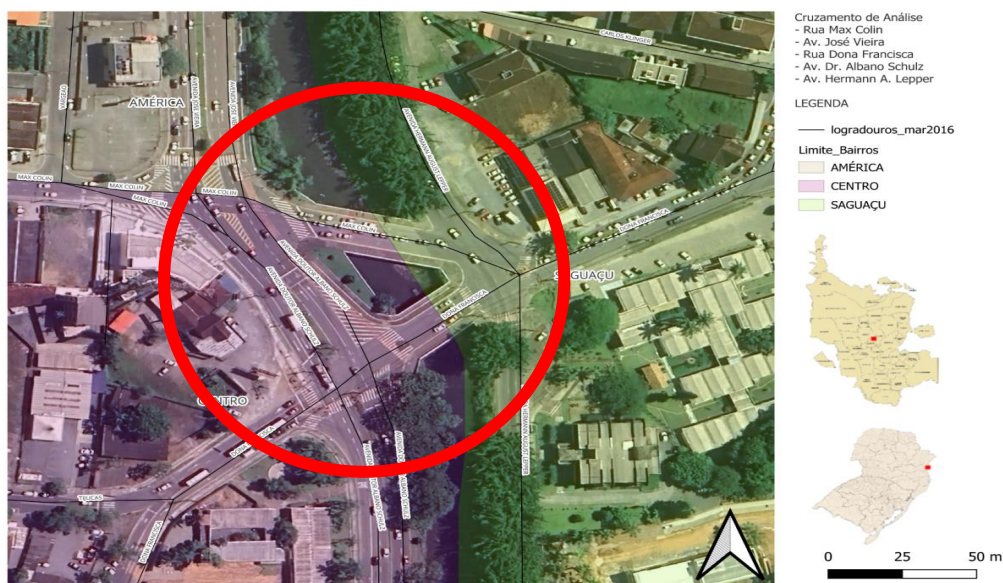
Para finalizar, deve ser realizada a análise dos desempenhos de cada software, concluindo assim a etapa final, que consiste na comparação entre as ferramentas utilizadas. Essa análise abrange desde a modelagem que cada *software* apresenta até os resultados obtidos por meio das simulações. O método de comparação foi baseado em critérios previamente definidos no item anterior.

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será apresentada a área de estudo definida para a análise comparativa entre os dois softwares de microssimulação de tráfego utilizados neste trabalho: Vissim e SUMO. Inicialmente, será detalhado o contexto em que o cruzamento está inserido, sua importância na rede viária local e as características que justificam sua escolha como objeto de estudo. Em seguida, serão descritos os detalhes técnicos do equipamento semafórico instalado no local, incluindo o número de fases e a complexidade operacional, bem como os cenários existentes e propostos utilizados para a simulação. Por fim, será explicado como a análise comparativa foi estruturada para atingir os objetivos da pesquisa.

O cruzamento escolhido para este estudo está localizado entre as Avs. Dr. Albano Schulz, José Vieira e Hermann A. Lepper, com as Ruas Max Colin e Dona Francisca (Figura 15). Este sendo um ponto estratégico do município, além de uma importante ligação entre bairros. Devido à sua área de influência significativa, este cruzamento desempenha um papel crucial na mobilidade urbana local, sendo responsável por acomodar um elevado volume de tráfego diário. Tal relevância justificou a seleção desta área como objeto de análise, visto que otimizações em sua operação podem ter impactos diretos e positivos na eficiência do sistema viário.

Figura 15 - Cruzamento semaforizado definido para análise



Fonte: Autora (2024).

Para gerenciar o fluxo de veículos e pedestres no cruzamento, é utilizado um equipamento semaforico, composto por 16 fases semaforicas. Essa configuração complexa é necessária para atender à demanda elevada e à diversidade de movimentos viários no local, como giros à esquerda, à direita, travessias de pedestres e fluxos convergentes e divergentes. O equipamento foi projetado para operar de maneira coordenada, buscando minimizar os tempos de espera e garantir a segurança dos usuários.

A análise desenvolvida neste trabalho considerou cenários distintos: o cenário existente, que reflete a operação atual do cruzamento, e cenários propostos, que incluem possíveis ajustes, como alterações nos movimentos de tráfego e a otimização semaforica do equipamento existente. Esses cenários foram simulados nos softwares Vissim e SUMO para comparar o desempenho das ferramentas, identificando as suas potencialidades e limitações no estudo de cruzamentos complexos.

Nesta seção, serão apresentados os dados coletados e os procedimentos subsequentes que sustentaram a execução do trabalho. A organização segue a estrutura descrita na metodologia, destacando os principais aspectos do levantamento e análise.

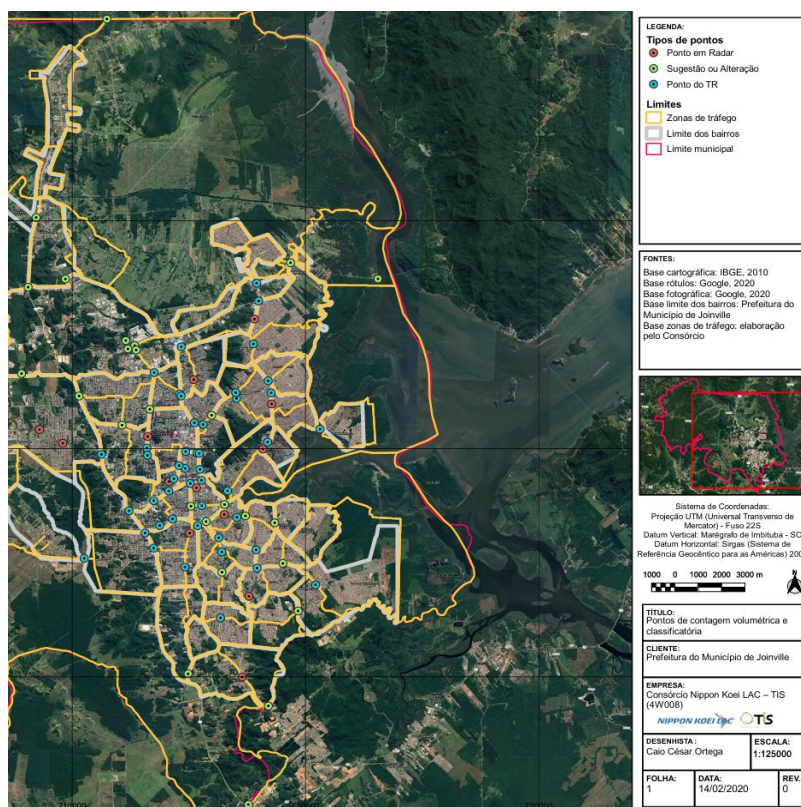
4.1. LEVANTAMENTO DOS DADOS

O levantamento de dados foi organizado em três etapas principais, descritas a seguir, para garantir clareza na compreensão das informações utilizadas no estudo.

4.1.1. Contagem de tráfego

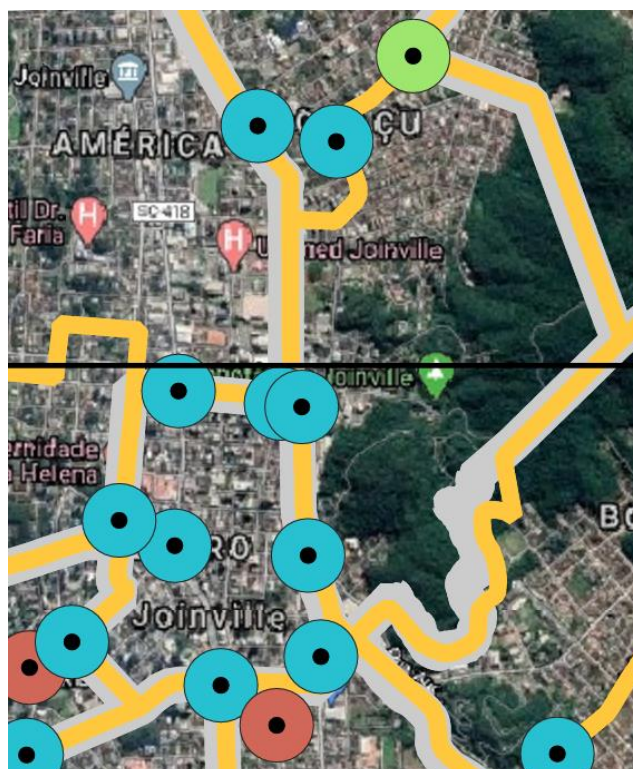
Os dados de volume de tráfego utilizados, foram obtidos por meio de contagens volumétricas, classificatórias e direcionais, decorrentes da realização do Plano Viário do município de Joinville/SC. Tendo em vista que duas das três interseções do cruzamento de estudo apresentavam contagens de tráfego nos anos de 2020 e 2022, conforme as Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Pontos de contagem do Plano Viário de Joinville



Fonte: Joinville (2020).

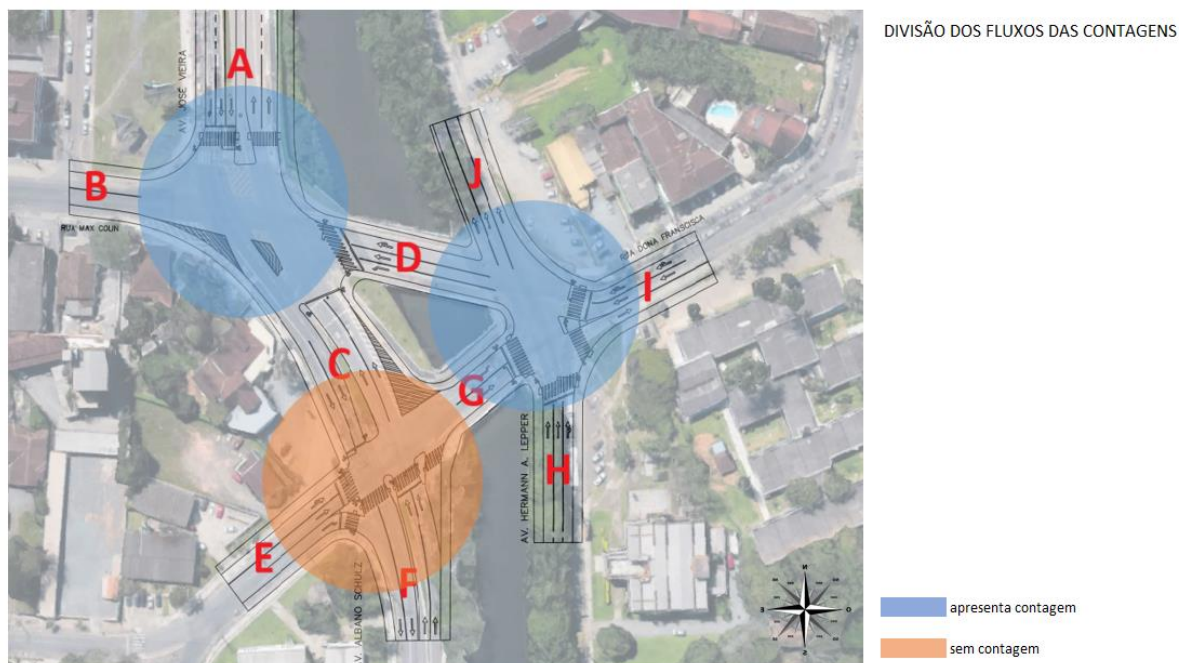
Figura 17 – Pontos de contagem aproximada da área de estudo



Fonte: Joinville (2020).

As contagens foram realizadas em um período de 2 horas nos horários de pico, entre os intervalos das 07h00 às 09h00 e 17h00 às 19h00, sendo efetuadas no cruzamento da rua Dona Francisca com a Av. Hermann A. Lepper entre os dias 10 à 12 de março de 2020 e no cruzamento da Rua Max Colin com a Av. José Vieira entre os dias 05 à 07 de abril de 2022. Conforme o Manual de Estudos de Tráfego Urbano (DNIT, 2006) as contagens foram realizadas em três dias úteis, de terça a quinta-feira, evitando variações nos volumes de tráfego causadas por padrões de deslocamento típicos de segunda-feira e sexta-feira. A divisão dos dados foi realizada conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Divisão dos pontos com contagem e nomenclatura dos movimentos



Fonte: Autora (2024).

Os volumes de tráfego foram distribuídos conforme os dados disponibilizados no Plano Viário, podendo ser verificado a contagem completa no Anexo B. Após a organização dos dados da contagem, foi realizada a alocação de tráfego, com os ajustes necessários para atender ao princípio de Wardrop e estimar os volumes de veículos nos pontos de contagem que não possuíam dados levantados.

A alocação foi realizada de forma manual, por meio da utilização das possíveis rotas para cada um dos pontos. Caso um veículo inicia-se seu percurso em H e segue

para A haveria a junção de dois pontos de contagem, sendo necessária a verificação dos valores e divisão por meio da utilização da porcentagem de veículos que vão de D para A. No Apêndice A, é possível verificar a alocação dos fluxos veiculares.

4.1.2. Análise da Geometria Viária

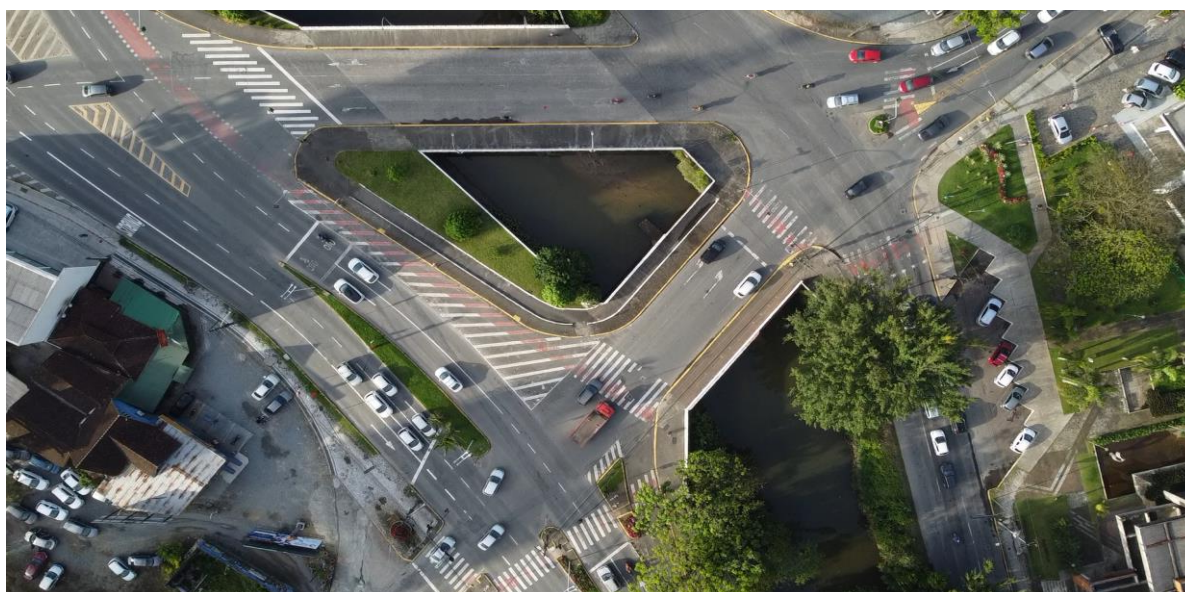
Para a obtenção dos dados geométricos, como: número das faixas e geometria das interseções, foram utilizadas imagens coletadas *in loco* e imagens obtidas por meio do Google Maps, conforme apresentado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Imagem de satélite da área de estudo



Fonte: Google Maps (2024).

Figura 20 – Imagem de drone da área de estudo



Fonte: Giuliano Battistella Cortes (2024).

4.1.3. Tempos Semafóricos

Os tempos semafóricos foram disponibilizados pelo Departamento de Trânsito de Joinville (Detrans Joinville), através de dados obtidos pela central semafórica Antares, e visualizados no programa da empresa Dataprom, o DP40, sendo possível verificá-los na Figura 21.

Figura 21 – Tabela com tempos de verde, transição e ciclo

Plano	Estrut.	Defas.
1	1	12
2	1	4
3	1	4
4	2	0
5	1	80

Ciclo	
1	
2	

Estágio1	Transição1	Estágio2	Transição2	Estágio3	Transição3	Estágio4	Transição4	Estágio5	Transição5		
Vd	Am	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm		
Vd	Vd	Vd	Am	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd	Vd		
Vm	Vm	Vm	Vm	Vd	Vd	Vd	Vd	Am	Vm		
Vm	Vm	Vm	Vm	Vd	Vd	Vd	Vd	VmP	Vm		
Vd	Vd	Vd	VmP	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd	Vd		
Vm	Vm	Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	VmP		
Vm	Vm	Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	Am	Vm		
Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd	Am	Vm	Vm		
Vm	Vm	Vd	Vd	Vd	Am	Vm	Vm	Vm	Vm		
Vd	Vd	Vd	Am	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm		
Vd	VmP	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd		
Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd		
Vd	Vd	Vd	Vd	Vd	VmP	Vm	Vm	Vd	Vd		
Vd	Vd	Vd	VmP	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd		
Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vm	Vd		
Tc1	Tc2	Tc3	Tc4	Tc5	Tc6	Tc7	Tc11	Tc12	Tc13	Tc14	Tc15
23	4	5	3	16	3	18	3	3	2	6	4

Fonte: Joinville (2024).

Com o propósito de facilitar o entendimento e a visualização da programação semafórica, foi feito o diagrama de verdes dos grupos semafóricos, além de mostrar os movimentos permitidos em cada estágio (Apêndice B).

4.2. CALIBRAÇÃO

A calibração da simulação é uma etapa essencial para que os modelos representem as condições reais do tráfego no cruzamento analisado. Essa etapa foi realizada com base em dados coletados por meio de filmagens com drone, que permitiram observar volumes de tráfego por meio da contagem de tráfego, tempos de espera e comportamentos típicos dos motoristas.

O processo de calibração ocorreu de modo visual e envolveu a revisão dos parâmetros de entrada nos dois softwares:

- No SUMO, foram ajustados os tempos de reação dos motoristas, as taxas de aceleração e desaceleração, bem como os volumes de tráfego inseridos na simulação (Figura 22).

Figura 22 – Calibração no SUMO

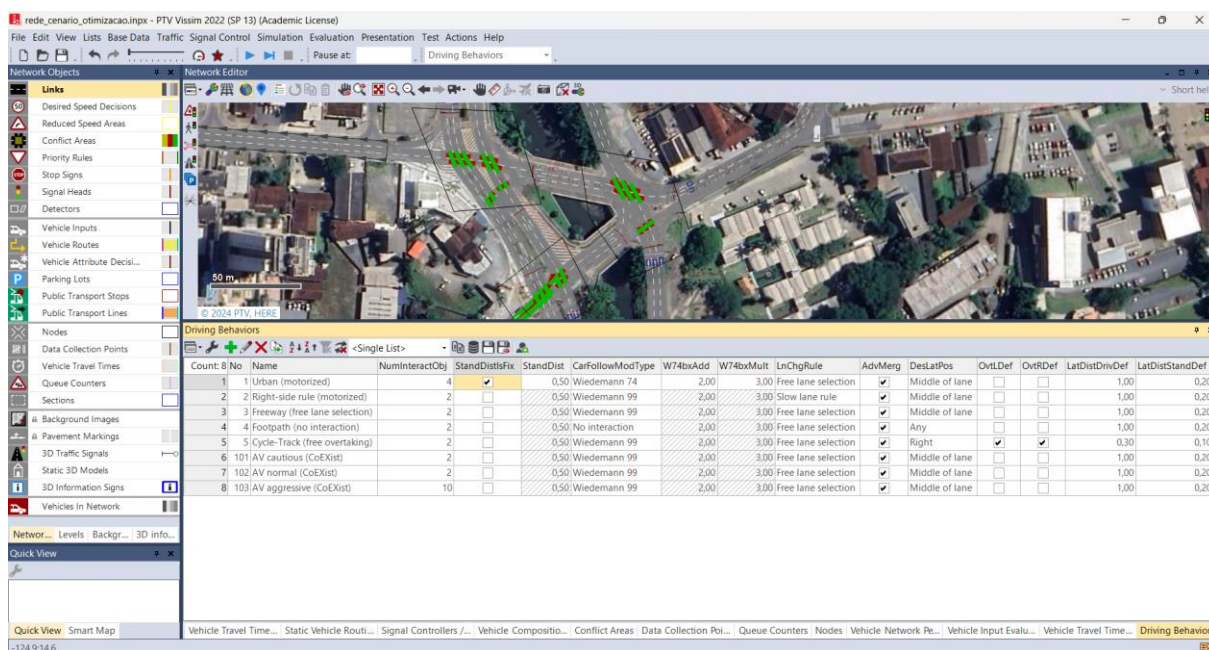
```

Version 1.20.0
--->
4
5
6 <routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation=
    "http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
7
8   <!-- VTypes -->
9   <vType id="BUS" accel="2" decel="3" tau="1.0" minGap="0.5"
    lcStrategic="1.0" lcCooperative="0.5" lcSpeedGain="0.8"
    vClass="bus" guiShape="bus" sigma="1"/>
10  <vType id="CAM.LEVE" accel="2" decel="3" tau="1.0" minGap=
    "0.5" lcStrategic="1.0" lcCooperative="0.5" lcSpeedGain=
    "0.8" length="9" maxSpeed="13.88" vClass="truck" color=
    "grey" sigma="1"/>
11  <vType id="CAM.PESADO" accel="1.5" decel="2.5" tau="1.0"
    minGap="0.5" lcStrategic="1.0" lcCooperative="0.5"
    lcSpeedGain="0.8" length="12" maxSpeed="22.22" vClass=
    "truck" color="blue" sigma="1"/>
12  <vType id="CARRO" accel="4" decel="5" tau="1.0" minGap="0.5"
    maxSpeed="13.88" lcStrategic="1.0" lcCooperative="0.5"
    lcSpeedGain="0.8" vClass="passenger" guiShape=
    "passenger/sedan" color="white" sigma="1"/>
13  <vType id="MOTO" accel="4" decel="5" tau="1.0" minGap="0.5"
    maxSpeed="13.88" lcStrategic="1.0" lcCooperative="0.5"
    lcSpeedGain="0.8" vClass="motorcycle" guiShape="motorcycle"
    color="yellow" sigma="1"/>
14  <!-- Vehicles, persons and containers (sorted by depart) -->
    <flow id="Dona Francisca Leste-Dr Albano Schulz-CAM.LEVE"
      type="CAM.LEVE" begin="0.00" departLane="best" from=
  
```

Fonte: Autora (2024).

- No VISSIM, os ajustes incluíram a calibração dos parâmetros de comportamento de car-following e lane-changing, além da validação dos volumes de tráfego por faixa (Figura 23).

Figura 23 – Calibração no Vissim



Fonte: Autora (2024).

Por meio da calibração verificou-se que as filas simuladas estavam de acordo com os padrões observados por meio de uma análise visual. Essa abordagem visual permitiu observar a formação e dissipação das filas, bem como os tempos de espera dos veículos, garantindo que os ajustes finais refletissem o comportamento real do cruzamento.

4.3. MODELAGEM DOS CENÁRIOS

De acordo com Ortúzar e Willumsen (2011) um modelo é a representação simplificada do mundo real, focando em elementos considerados importantes através de uma perspectiva particular. Dessa forma, torna-se muito importante a modelagem de uma rede de tráfego, para que seja possível uma análise complexa da realidade, mas visualizada por meio da tecnologia envolvendo a simulação em transportes.

A modelagem de uma simulação de tráfego tem como representação as condições da rede viária, como, a geometria da via, os fluxos e tempos semafóricos. Dessa forma, foram utilizados cenários distintos para avaliar o funcionamento de cada um dos *softwares*. Tendo como cenários o funcionamento base do cruzamento, a alteração do movimento de tráfego e a alteração dos tempos semafóricos, esses cenários têm o objetivo de avaliar o desempenho das ferramentas de simulação por meio de diferentes configurações.

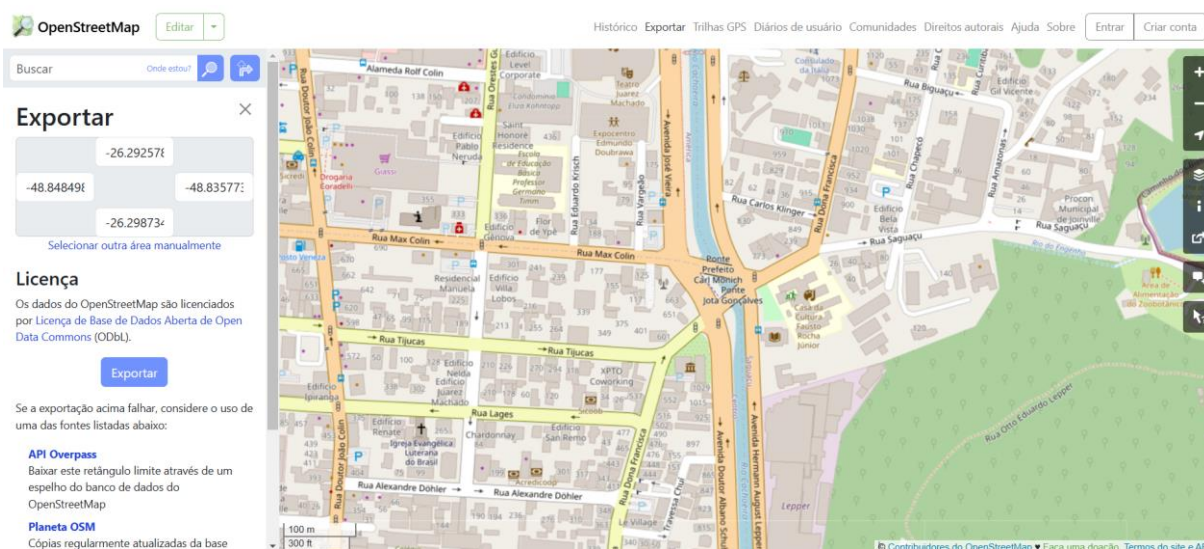
4.3.1. Cenário Base

O cenário base foi a modelagem da realidade, com base na geometria observada *in loco*, além da utilização dos planos semafóricos conforme o funcionamento atual do cruzamento analisado.

- SUMO:

Para iniciar a modelagem no SUMO, foi importada a rede viária por meio do OpenStreetMap, conforme Figura 24.

Figura 24 – Mapa do OpenStreetMap

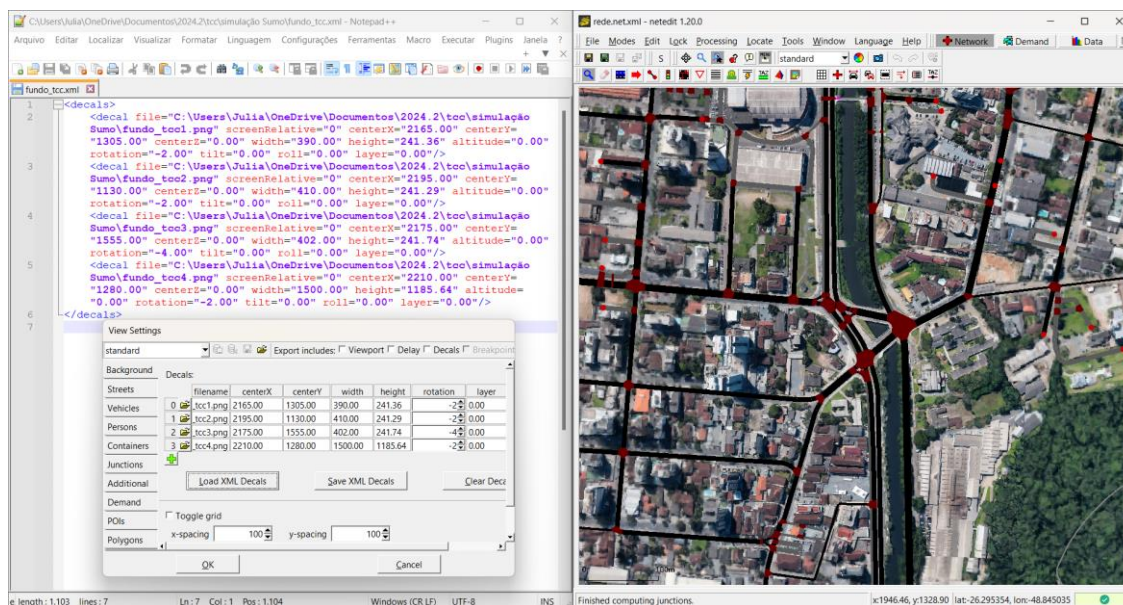


Fonte: OpenStreetMap (2024).

Após a conversão do arquivo do OpenStreetMap de *.osm* para *.net.xml*, por meio do *prompt* de comando, a rede já pode ser aberta e editada através do NETEDIT, editor da rede do SUMO. Quando aberta a rede, para facilitar a visualização é indicado

a adição de fundo, dessa forma, conforme a Figura 25, foram adicionados os backgrounds à rede.

Figura 25 – Adição do background



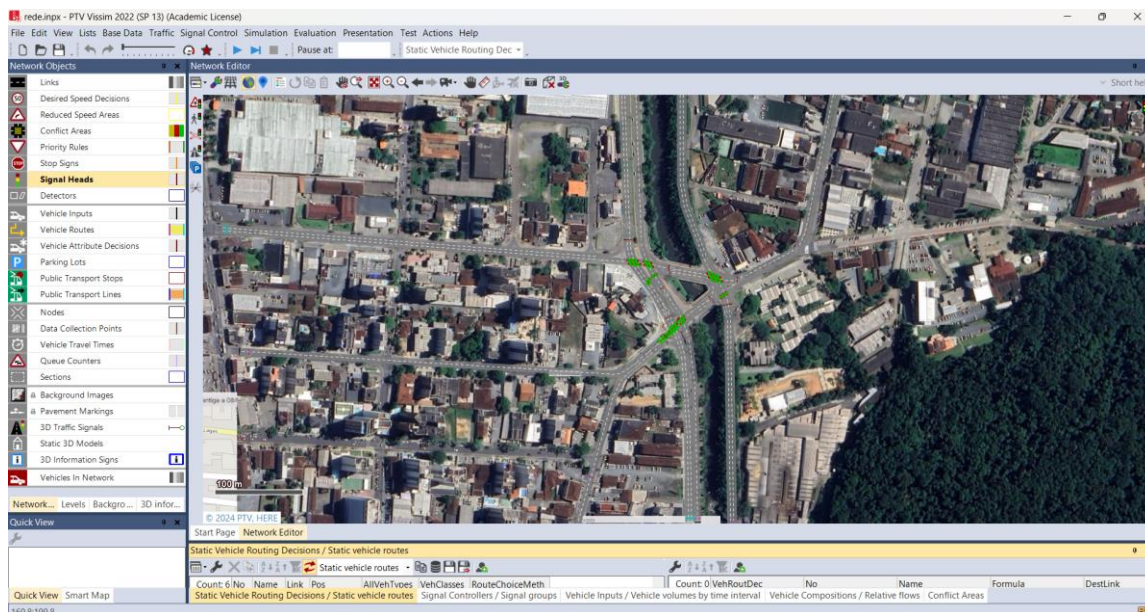
Fonte: Autora (2024).

Já para as vias, foram necessárias verificações para que a rede esteja de acordo com a realidade, como número de faixas, alterações de movimentos permitidos, além da alteração do funcionamento dos semáforos.

- Vissim:

Quando iniciada a modelagem no VISSIM, analogamente ao SUMO, é inserido o *background* à rede, contudo, não é possível importar a rede pronta de um mapa, sendo necessária a construção dos *links* na rede, a Figura 26 mostra a rede já pronta.

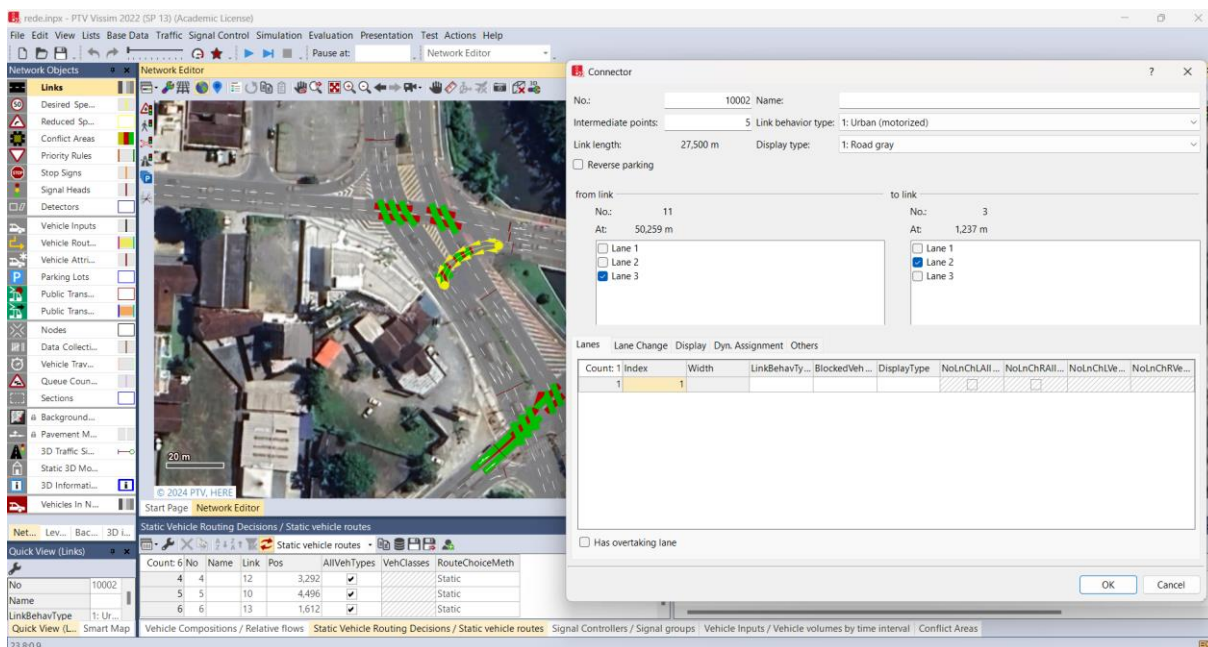
Figura 26 – Background e links adicionados no VISSIM



Fonte: Autora (2024).

Permissões de movimentos e faixas são adicionadas, além de detalhes como marcas no pavimento são acrescentadas conforme apresentadas na Figura 27.

Figura 27 – Edição dos movimentos através de conectores



Fonte: Autora (2024).

4.3.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego

Para o segundo cenário projetado, foi proposto uma alteração na rede viária, havendo alterações de permissões das faixas de rolamento. A Figura 28 apresenta os movimentos existentes na rede e os movimentos propostos para a alteração viária.

Figura 28 – Alteração de movimentos da Av. José Vieira x Rua Max Colin



Fonte: Autora (2024).

4.3.3. Cenário com alteração do tempo semafórico

Por conta de o cenário com a alteração do tempo semafórico apresentar mudanças apenas nos tempos de verde e de ciclo, não foi necessário realizar ajustes na rede, com relação ao cenário base.

4.4. INSERÇÃO DE DADOS NOS CENÁRIOS

Segundo Garber e Hoel (2009) os principais componentes do modo rodoviário de transporte são o motorista, o pedestre, o veículo e a estrada. Dessa forma, para que haja o desenvolvimento do modelo, é necessário a interseção de dados de

entrada, como, matrizes Origem-Destino, volumes de tráfego, velocidades da via e dos veículos, além de tipos de veículos que transitam pela rede.

4.4.1. Cenário Base

O cenário base teve como dados de entrada os volumes de tráfego alocados para a hora pico analisada, a inserção dos tempos semaforicos, as velocidades máximas permitidas nas vias e a caracterização dos diferentes meios de transportes motorizados.

- SUMO:

A inserção dos volumes de tráfego no SUMO pode ser acrescentada manualmente ou por meio da utilização de códigos editáveis no bloco de notas, sendo possível uma automatização através do Excel (Quadro 2). Além disso, na Figura 29, são apresentadas as informações de veículos, como, tipo de veículo, características da cor, velocidade, volume e rota.

Quadro 2 – Entrada automatizada no Excel

ORIGENS	DESTINOS	CARRO
Jose_Vieira	-Max_Colin	<flow type='CARRO' id='Jose_Vieira-Max_Colin-CARRO' vehsPerHour='426' from='Jose_Vieira' to='-Max_Colin' departLane='best'/>
Jose_Vieira	-Dr_Albano_Schulz	<flow type='CARRO' id='Jose_Vieira-Dr_Albano_Schulz-CARRO' vehsPerHour='1166' from='Jose_Vieira' to='-Dr_Albano_Schulz' departLane='best'/>

Fonte: Autora (2024).

Figura 29 – Edição de veículos e fluxos visualizado por meio do *NotePad++*

```

xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
  <!-- VTypes -->
  <vType id="BUS" maxSpeed="22.22" vClass="bus" guiShape="bus" sigma="1"/>
  <vType id="CAM.LEVE" length="12.00" maxSpeed="22.22" vClass="truck"
  color="grey" sigma="1"/>
  <vType id="CAM.PESADO" length="18.50" maxSpeed="22.22" vClass="truck"
  color="blue" sigma="1"/>
  <vType id="CARRO" maxSpeed="27.78" vClass="passenger" guiShape=
  "passenger/sedan" color="white" sigma="1"/>
  <vType id="MOTO" maxSpeed="27.78" vClass="motorcycle" guiShape=
  "motorcycle" color="yellow" sigma="1"/>

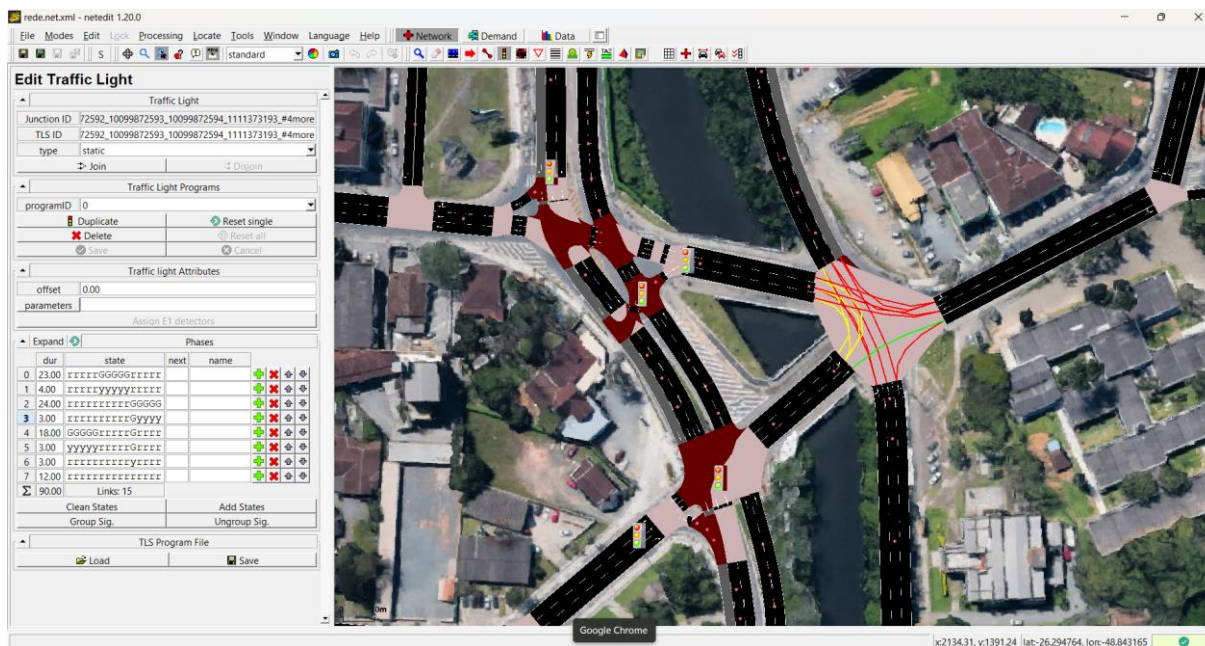
  <!-- Vehicles, persons and containers (sorted by depart) -->
  <flow type='MOTO' id='Jose_Vieira-Max_Colin-MOTO' vehsPerHour='19' from=
  'Jose_Vieira' to='-Max_Colin' departLane='best'/>
  <flow type='CARRO' id='Jose_Vieira-Max_Colin-CARRO' vehsPerHour='426'
  from='Jose_Vieira' to='-Max_Colin' departLane='best'/>
  <flow type='BUS' id='Jose_Vieira-Max_Colin-BUS' vehsPerHour='1' from=
  'Jose_Vieira' to='-Max_Colin' departLane='best'/>
  <flow type='CAM.LEVE' id='Jose_Vieira-Max_Colin-CAM.LEVE' vehsPerHour=
  '2' from='Jose_Vieira' to='-Max_Colin' departLane='best'/>
  <flow type='MOTO' id='Jose_Vieira-Dr_Albano_Schulz-MOTO' vehsPerHour=
  '319' from='Jose_Vieira' to='-Dr_Albano_Schulz' departLane='best'/>
  <flow type='CARRO' id='Jose_Vieira-Dr_Albano_Schulz-CARRO' vehsPerHour=
  '1166' from='Jose_Vieira' to='-Dr_Albano_Schulz' departLane='best'/>
  <flow type='BUS' id='Jose_Vieira-Dr_Albano_Schulz-BUS' vehsPerHour='22'
  from='Jose_Vieira' to='-Dr_Albano_Schulz' departLane='best'/>
  <flow type='CAM.LEVE' id='Jose_Vieira-Dr_Albano_Schulz-CAM.LEVE'
  vehsPerHour='10' from='Jose_Vieira' to='-Dr_Albano_Schulz' departLane=
  'best'/>
  <flow type='MOTO' id='Dona_Francisca_Oeste-Dr_Albano_Schulz-MOTO'
  vehsPerHour='30' from='Dona_Francisca_Oeste' to='-Dr_Albano_Schulz'
  departLane='best'/>
  <flow type='CARRO' id='Dona_Francisca_Oeste-Dr_Albano_Schulz-CARRO'
  vehsPerHour='198' from='Dona_Francisca_Oeste' to='-Dr_Albano_Schulz'
  departLane='best'/>
  <flow type='BUS' id='Dona_Francisca_Oeste-Dr_Albano_Schulz-BUS'
  vehsPerHour='1' from='Dona_Francisca_Oeste' to='-Dr_Albano_Schulz'
  departLane='best'/>
  <flow type='CAM.LEVE' id=

```

Fonte: Autora (2024).

Já para a inserção das configurações semafóricas, foi utilizado a edição através do NETEDIT, pois através da ferramenta de edição do SUMO é possível visualizar a ordem de cada grupo semafórico a ser editado (Figura 30).

Figura 30 – Edição dos semáforos no NETEDIT

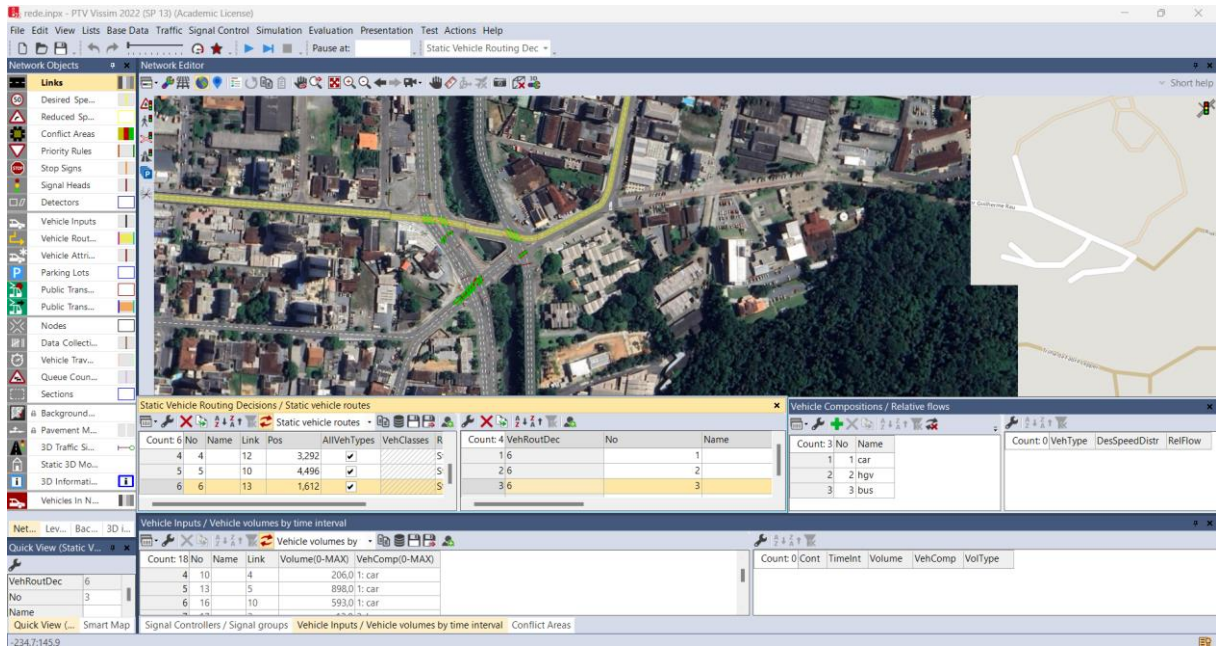


Fonte: Autora (2024).

- **Vissim:**

A edição dos veículos e dos volumes de tráfego ocorrem por meio da utilização do painel editável do VISSIM, sendo necessária a inserção das rotas existentes, a porcentagem da quantidade de fluxo, além da utilização de veículos já pré-existentes (Figura 31).

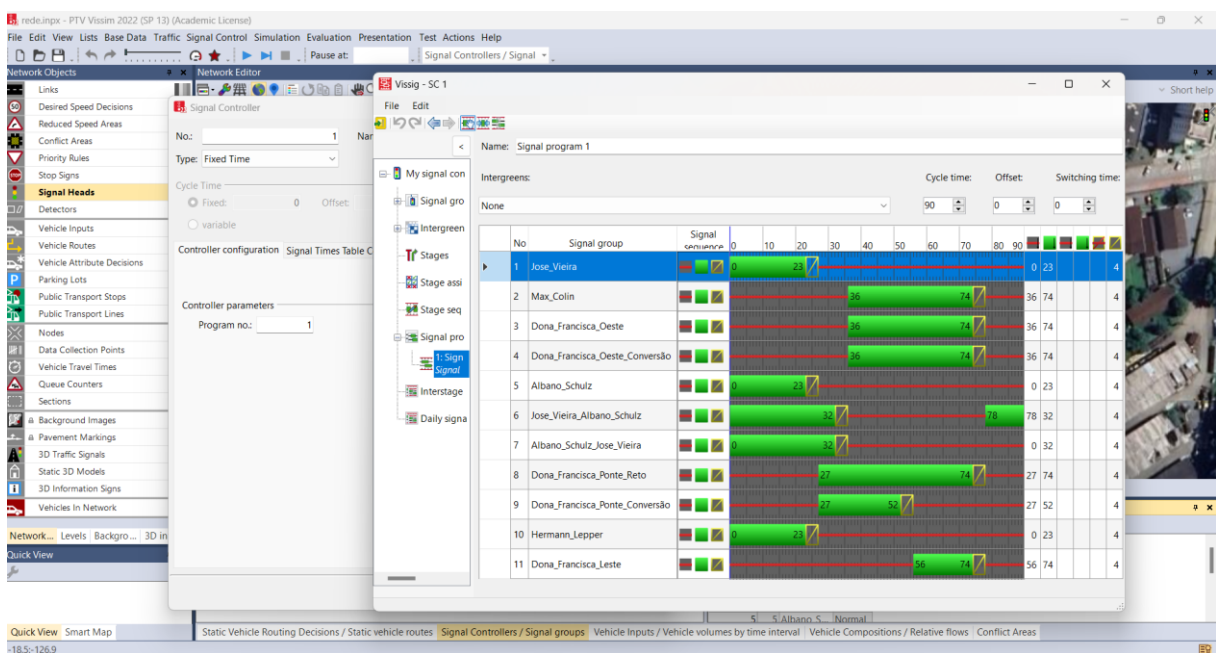
Figura 31 – Edição dos veículos, rotas e fluxos no VISSIM



Fonte: Autora (2024).

Com relação a edição dos semáforos, da mesma forma que o SUMO, também ocorre por meio do editor do *software* de simulação, contudo, se mostra mais intuitiva visualmente na hora de preencher as informações da interseção analisada (Figura 32).

Figura 32 – Edição dos controles semafóricos no VISSIM

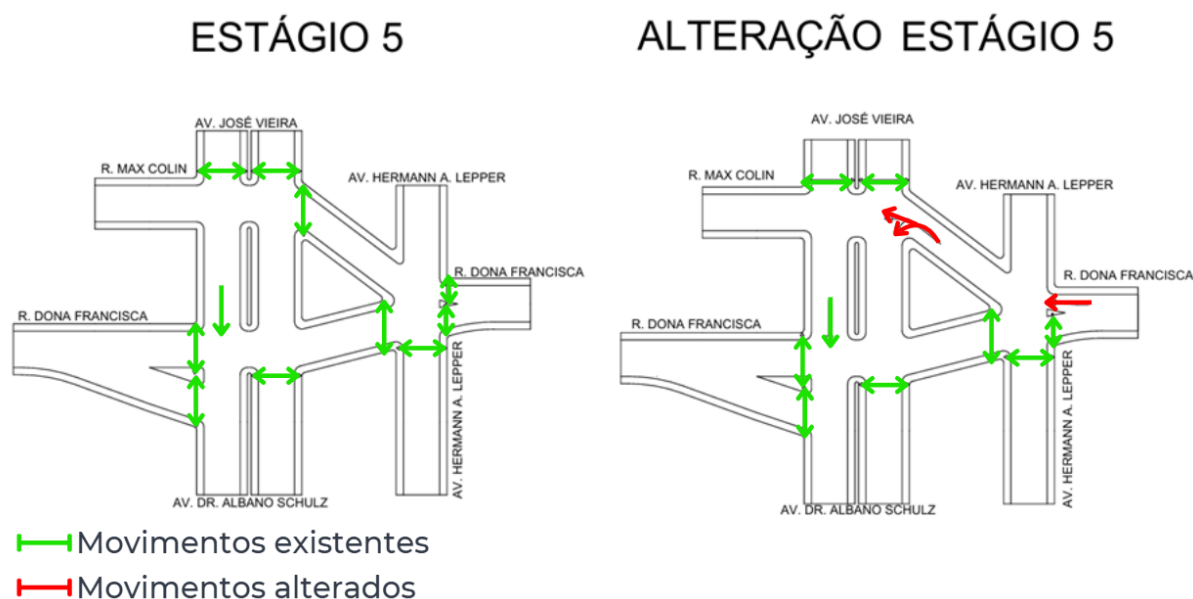


Fonte: Autora (2024).

4.4.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego

Com a alteração do movimento de tráfego, foi possível alterar o 5º estágio semafórico, passando a ter mais tempo de verde para a vazão dos veículos da Rua Dona Francisca Leste e da Rua Max Colin, conforme a Figura 33.

Figura 33 – Alteração do estágio 5, movimentos

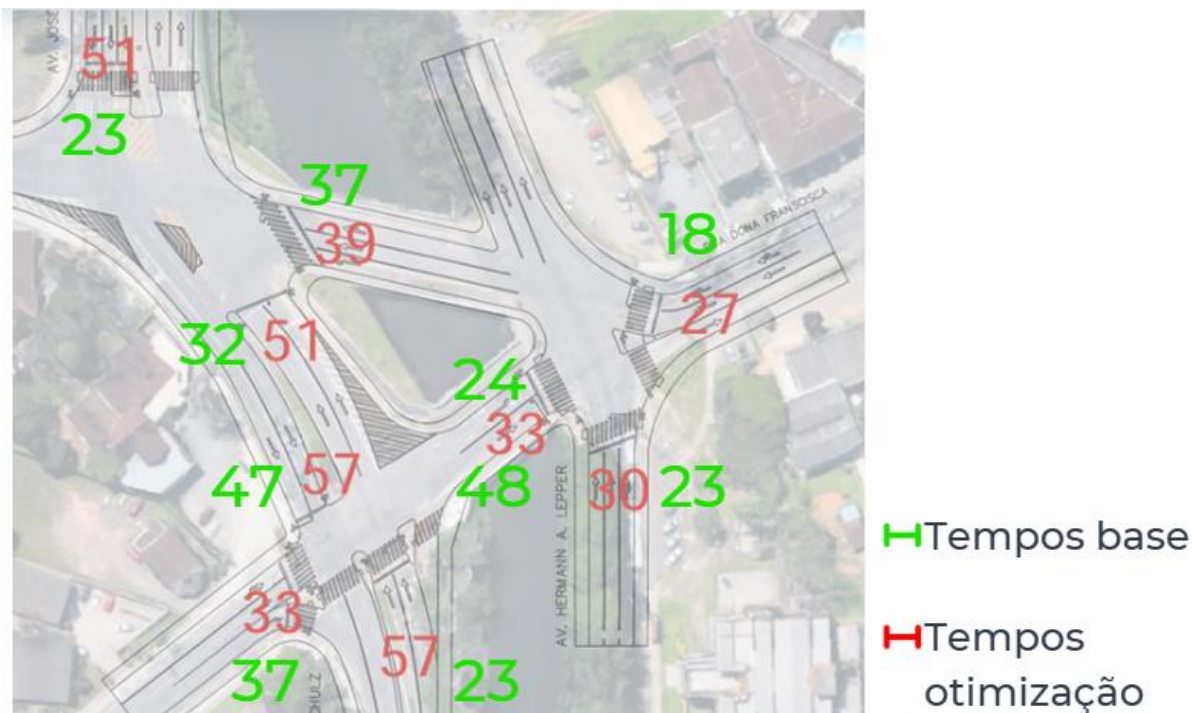


Fonte: Autora (2024).

4.4.3. Cenário com alteração do tempo semafórico

Com os resultados obtidos por meio da otimização semafórica, os tempos de verde e o tempo de ciclo total foram alterados. A Figura 34 apresenta os tempos de verde calculados pelo Vistro.

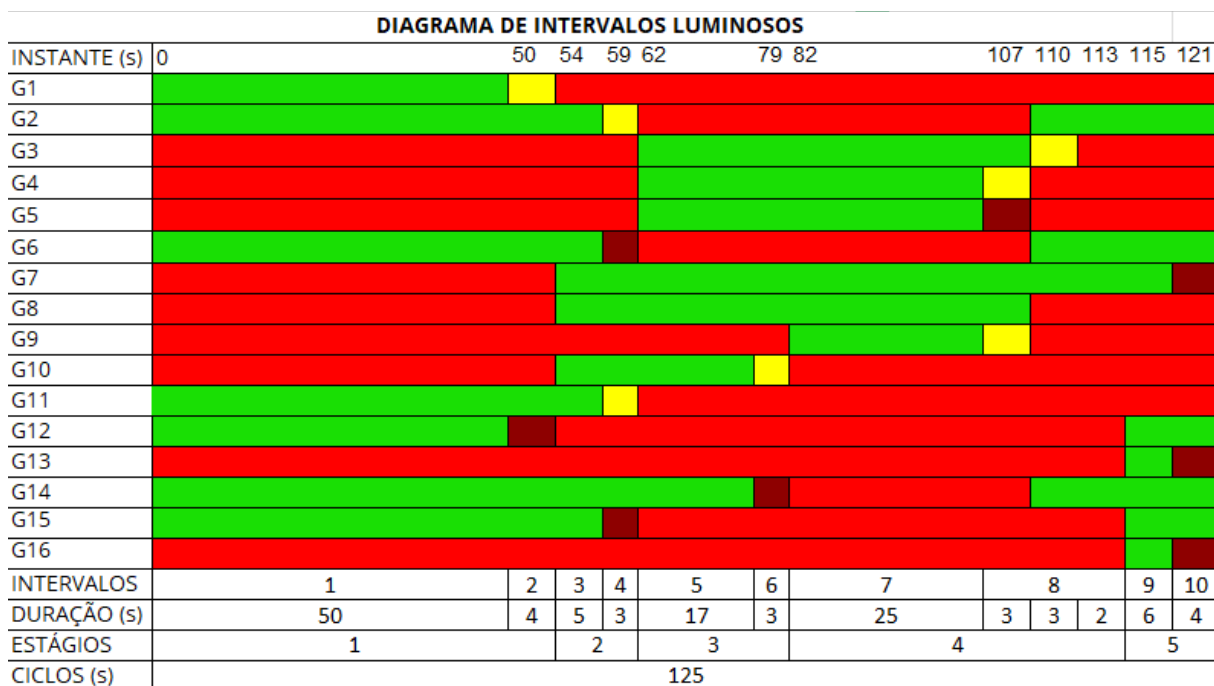
Figura 34 – Tempos de verde para um ciclo de 90 segundos



Fonte: Autora (2024).

Por conta de o *software* ter calculado cada cruzamento em separado e eles funcionarem como apenas um conjunto de semáforos, foi necessário organizar os tempos de verde, gerando assim um tempo de ciclo final de 125 segundos. A nova programação é apresentada na Figura 35.

Figura 35 – Diagrama de intervalos luminosos



Fonte: Autora (2024).

4.5. OTIMIZAÇÃO SEMAFÓRICA

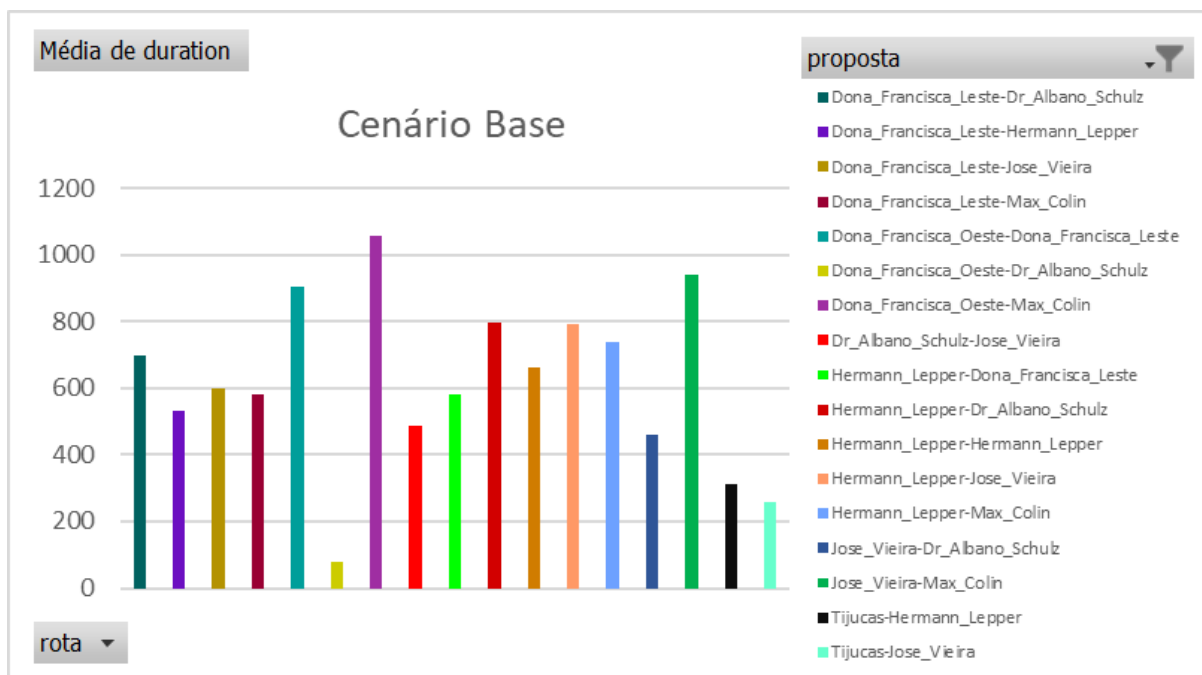
A otimização semafórica é o cálculo realizado para minimizar o tempo de atraso dos veículos em um determinado semáforo. Para que seja realizada essa otimização, pode ser executado os cálculos por meio da utilização do Método de Webster, como também, realizar a otimização por meio da utilização de ferramentas de *softwares*, por meio de função objetivo, orientando a otimização com base em métricas específicas de desempenho. No caso do Vistro, a função objetivo pondera o atraso total dos veículos (em horas) e o número de paradas ao longo da interseção.

Por meio da utilização do Vistro, torna-se necessário o levantamento de dados similares à modelagem de uma simulação de tráfego, como, características da geometria da via, levantamento do volume de fluxos veiculares e programações semafóricas já existentes.

Na Figura 36, é possível verificar alguns parâmetros de entrada necessários para o cálculo do tempo semafórico pelo Vistro.

- SUMO: O software apresentou limitações na modelagem detalhada de interações entre veículos, mas compensou pela rapidez de execução e simplicidade de ajuste dos parâmetros. Na Figura 37 é possível verificar o tempo de duração médio para cada uma das rotas.

Figura 37 – Tempo de viagem em cada rota do cenário base



Fonte: Autora (2024).

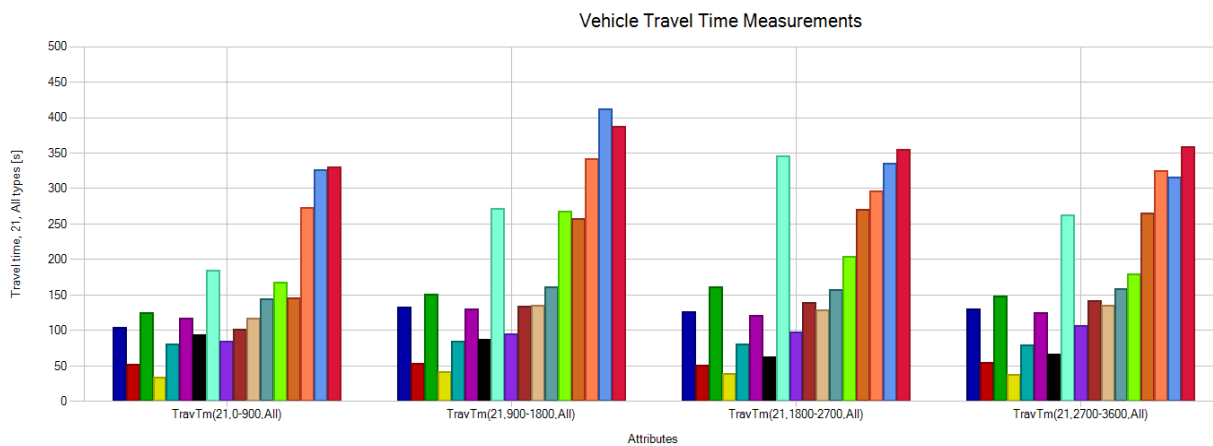
- Vissim: O Vissim apresentou maior detalhamento nas interações entre veículos. Na Figura 39, é possível observar o tempo médio de duração das rotas, para cada quartil da hora simulada, com a legenda das rotas disponível na Figura 38.

Figura 38 – Rotas dos gráficos do tempo de viagem do Vissim



Fonte: Autora (2024).

Figura 39 – Tempo de viagem em cada rota do cenário base



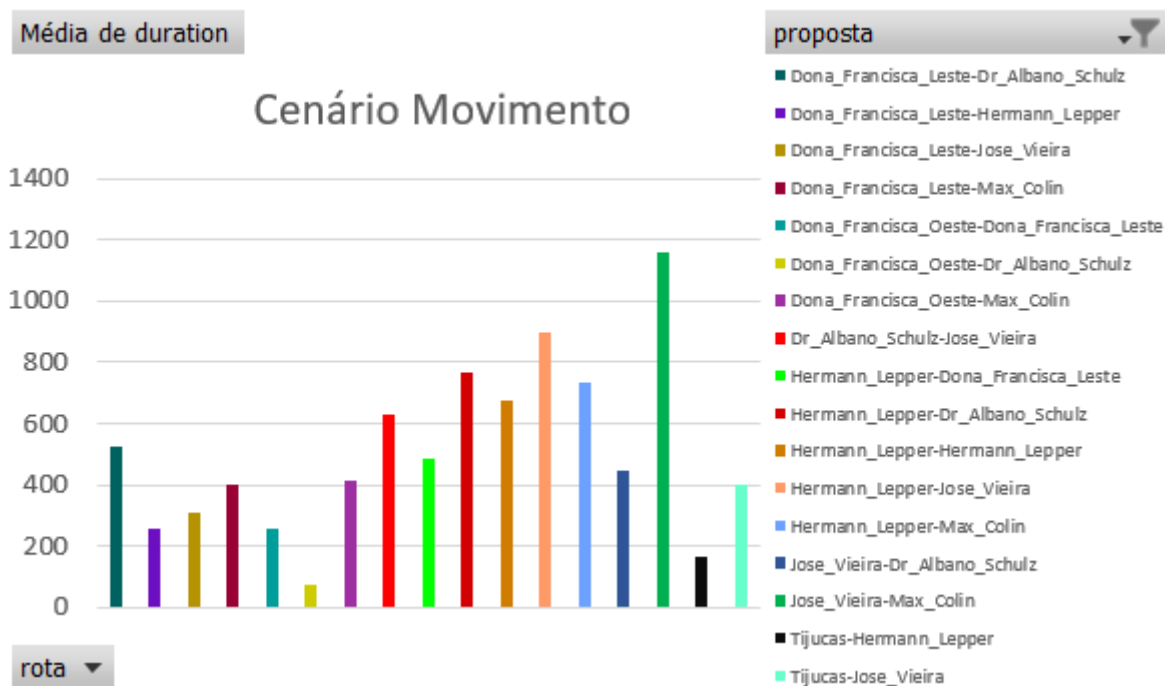
Fonte: Autora (2024).

4.6.2. Cenário com alteração do movimento de tráfego

Neste cenário, foram realizadas alterações na configuração das faixas de tráfego, incluindo mudanças nas permissões de conversão e alteração dos estágios semaforicos.

- SUMO: A alteração reduziu os conflitos com relação ao cenário base. Na Figura 40 é possível verificar o tempo de duração médio para cada uma das rotas.

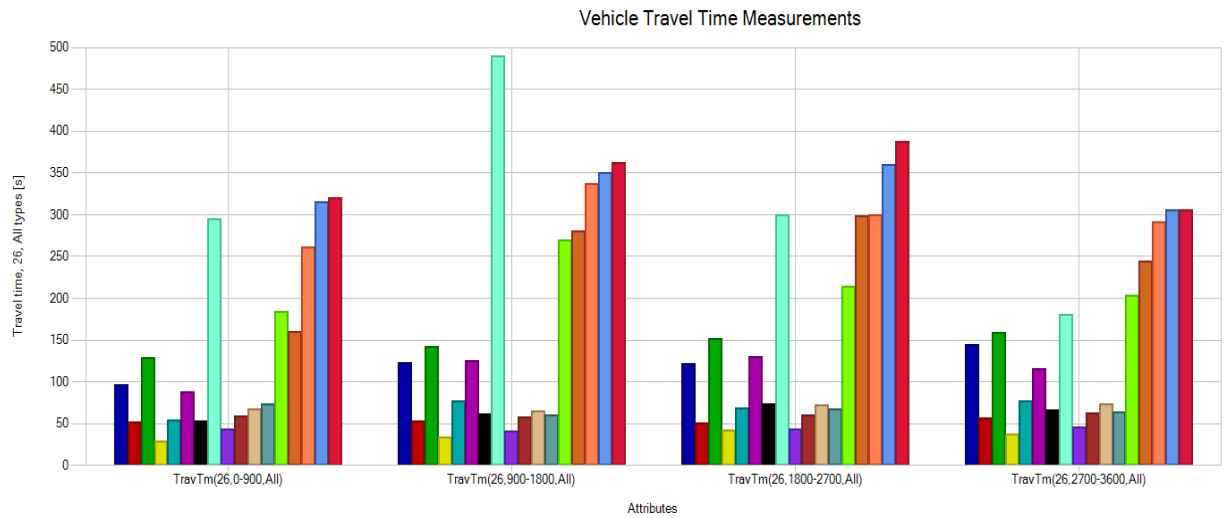
Figura 40 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do movimento



Fonte: Autora (2024).

- Vissim: Na Figura 41 é possível verificar o tempo de duração médio para cada uma das rotas.

Figura 41 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do movimento



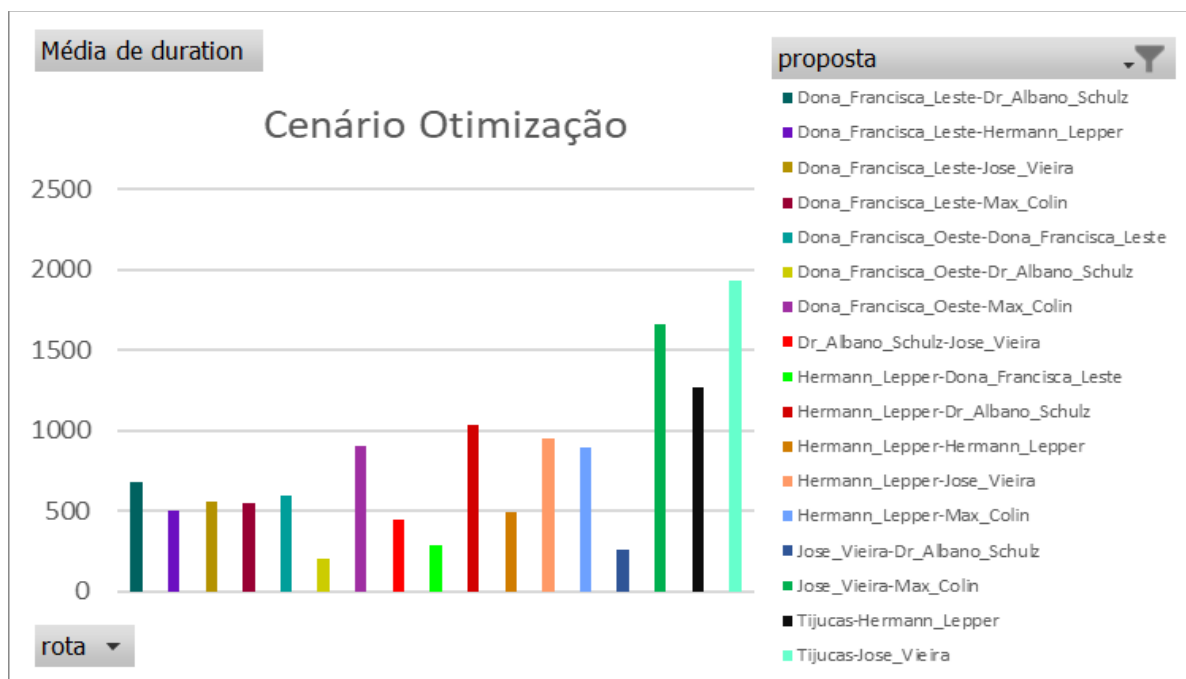
Fonte: Autora (2024).

4.6.3. Cenário com alteração do tempo semafórico

Nesse cenário, foram ajustados os tempos de ciclo e de verde para cada fase semafórica com base nos resultados da otimização semafórica.

- SUMO: Na Figura 42 é possível verificar o tempo de duração médio para cada uma das rotas.

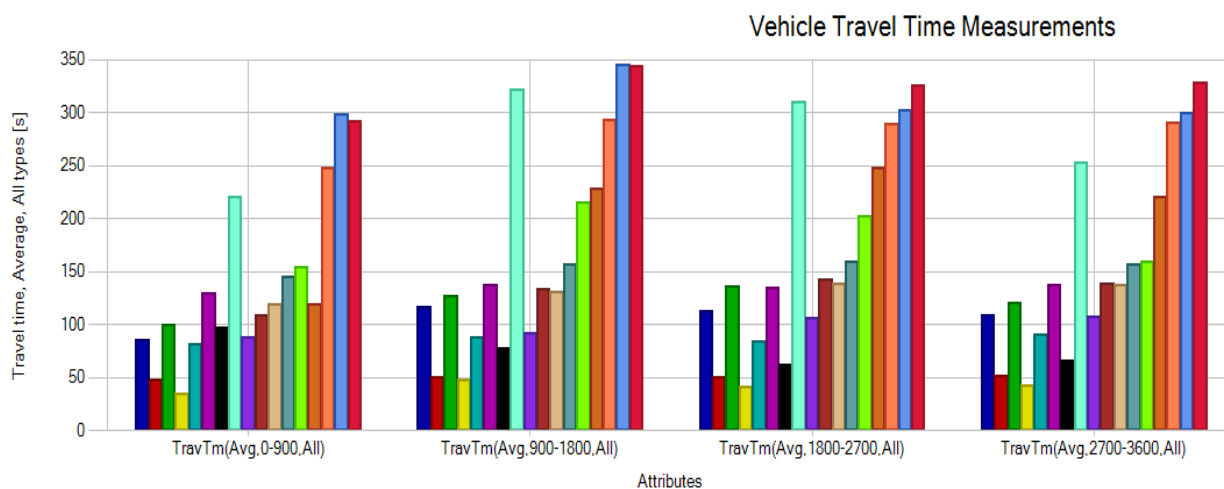
Figura 42 – Tempo de viagem das rotas do cenário com o tempo semafórico alterado



Fonte: Autora (2024).

- Vissim: Com maior detalhamento, o VISSIM identificou impactos mais complexos, apresentando uma redução no tempo médio de espera de 1%, com relação ao cenário base, sendo possível verificar o tempo de duração médio para cada uma das rotas na Figura 43.

Figura 43 – Tempo de viagem em cada rota do cenário com alteração do tempo semafórico



Fonte: Autora (2024).

5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SIMULADORES DE TRÁFEGO

Para uma comparação do SUMO e do Vissim, será analisado os passos que foram tomados na simulação dos cenários, ao longo deste trabalho.

5.1. MODELAGEM DA SIMULAÇÃO

- SUMO:

O SUMO utiliza um fluxo de trabalho simplificado para modelar redes de tráfego. Sua modelagem começa com a importação de dados de redes viárias, como mapas do OpenStreetMap (OSM), permitindo uma construção rápida do layout do cruzamento.

Por meio da ferramenta NETEDIT, a rede pode ser editada, incluindo adição de faixas, ajustes de semáforos e definição de permissões de movimentos. Apesar de sua simplicidade, o SUMO requer ajustes manuais detalhados para simular características específicas, como comportamentos individuais de veículos.

A flexibilidade no uso de arquivos XML para editar fluxos de tráfego, tempos de sinal e outras características faz do SUMO uma ferramenta prática. No entanto, sua interface gráfica é mais rústica, exigindo conhecimento técnico para aproveitar ao máximo seus recursos.

- Vissim:

O VISSIM é mais robusto na modelagem, oferecendo uma interface gráfica intuitiva que permite construir redes de tráfego diretamente no *software*. A modelagem começa com a importação de um mapa de fundo e a adição manual de *links*, faixas, permissões de movimento e configurações de semáforos.

O processo de modelagem no Vissim é mais detalhado, permitindo a personalização de cada elemento, como comportamento dos motoristas, características das vias e interações entre pedestres e veículos.

5.2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

- SUMO:

O desenvolvimento do modelo no SUMO envolve a definição dos parâmetros de entrada por meio de arquivos configuráveis. O tráfego é gerado com base em fluxos de veículos atribuídos às rotas, utilizando o NETEDIT ou arquivos XML. Essa abordagem permite uma automação eficiente, especialmente para redes complexas.

A configuração semafórica é editada diretamente no NETEDIT, onde as fases dos sinais podem ser ajustadas de forma visual. Embora seja necessário um maior esforço para integrar variáveis externas, o SUMO oferece ferramentas para análises básicas e avançadas, sendo ideal para estudos com recursos limitados.

- Vissim:

No Vissim, o desenvolvimento do modelo é visual e interativo. Os fluxos de tráfego são inseridos diretamente no *software*, assim como as configurações semafóricas. O Vissim permite a inclusão de perfis detalhados de velocidade e rotas para diferentes tipos de veículos, além de simular interações em tempo real.

Adicionalmente, o *software* oferece suporte para a importação de dados de sensores e algoritmos externos, o que amplia suas aplicações em estudos mais complexos.

5.3. EXPORTAR RESULTADOS

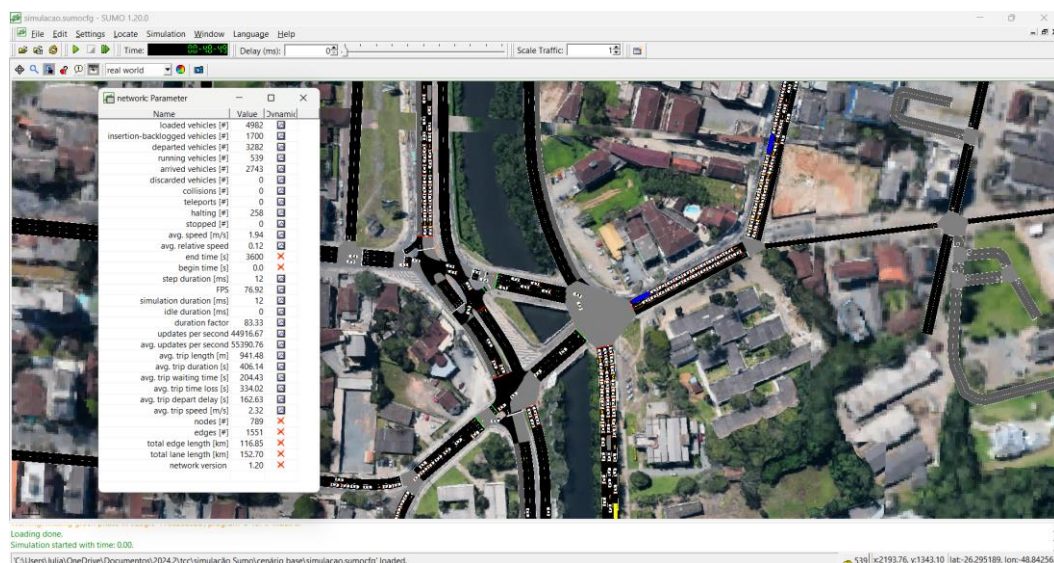
- SUMO:

O SUMO exporta os resultados da simulação em formatos como CSV, XML ou arquivos de texto, o que facilita a análise em *softwares* externos como Excel ou Python. As métricas exportadas incluem tempos de viagem, tempos de espera, fluxo de veículos e emissões de poluentes.

A exportação no SUMO pode ser configurada para capturar dados de pontos específicos da rede ou para gerar relatórios detalhados de toda a simulação. Apesar de não oferecer gráficos diretamente no *software*, sua compatibilidade com ferramentas de análise externa torna o SUMO eficiente para estudos baseados em grandes volumes de dados.

Além de apresentar dados em tela e uma visualização mais simplificada do funcionamento da rede por meio da simulação (Figura 44).

Figura 44 – Simulação e resultados no SUMO



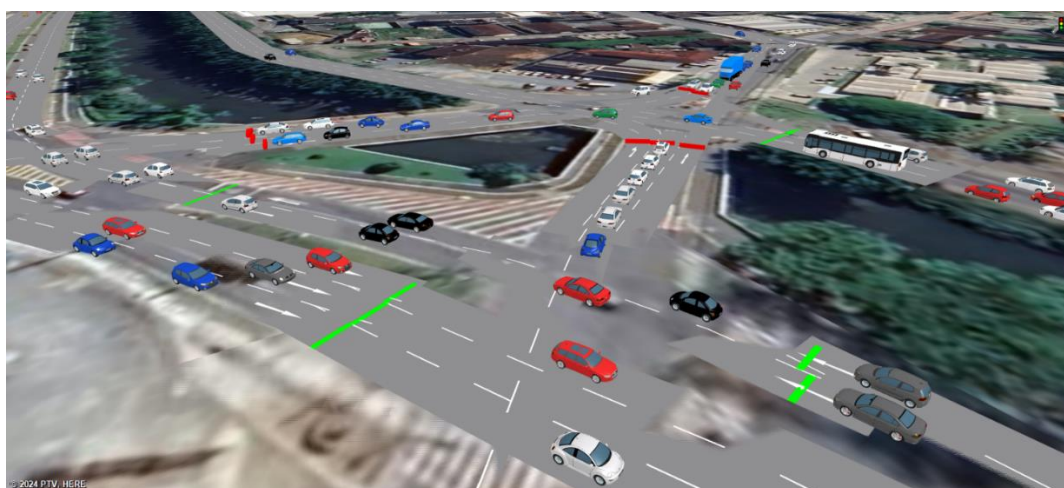
Fonte: Autora (2024).

- **Vissim:**

O Vissim fornece resultados diretamente no *software*, com a possibilidade de exportação em formatos como CSV, Excel e relatórios gráficos. Além de tempos de viagem e fluxos, o Vissim permite a visualização de métricas como densidade, ocupação de faixas e tempo de sinal.

Uma vantagem significativa é sua capacidade de gerar animações e representações gráficas diretamente no *software*, facilitando a apresentação dos resultados. Esse recurso torna o VISSIM mais adequado para projetos que exigem visualizações detalhadas (Figura 45).

Figura 45 – Animações em 3D geradas pelo Vissim



Fonte: Autora (2024).

5.4. SÍNTESE DA ANÁLISE COMPARATIVA OS MICROSSIMULADORES DE TRÁFEGO

O Quadro 3 apresenta a síntese da análise comparativa entre os softwares Vissim e SUMO destacando onde estão os pontos positivos de um em relação ao outro.

Quadro 3 – Quadro comparativo entre os microsimuladores

Critérios	SUMO	Vissim
Modelagem detalhada da rede	✗	✓
Interface gráfica intuitiva	✗	✓
Necessita ajustes manuais complexos	✓	✗
Suporte para análise de grandes redes	✓	✓
Exportação de resultados automatizada	✓	✓
Animações e gráficos no software	✗	✓
Suporte para integração de dados externos	✓	✓
Adequado para estudos avançados	✗	✓
Ferramenta gratuita	✓	✗
Compatível com análises em Python/Excel	✓	✓
Tempo de execução das simulações	✓	✗
Capacidade de interação para otimização da sinalização semafórica	✓	✓

Fonte: Autora (2024).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre os softwares de microssimulação de tráfego SUMO e VISSIM, utilizando como estudo de caso um cruzamento semaforizado na cidade de Joinville, SC. A pesquisa concluiu que ambos os simuladores possuem potencial significativo para análises de mobilidade urbana, mas com características distintas que atendem a diferentes necessidades de projetos.

Os resultados demonstraram que:

- O SUMO é mais acessível e rápido, ideal para simulações com menor necessidade de detalhamento e custos reduzidos.
- O Vissim oferece maior precisão e detalhamento, sendo mais eficaz para estudos que demandam alta confiabilidade nos dados e análises aprofundadas.

Recomenda-se que futuras pesquisas explorem:

- A expansão das redes simuladas, incluindo mais cruzamentos e interseções para avaliar a eficiência dos softwares em escalas maiores.
- A atualização dos dados de entrada, como as contagens de tráfego.
- A incorporação de métricas ambientais, como emissão de poluentes, para uma análise mais completa.
- A implantação e verificação em campo dos cenários propostos.
- Aprofundar as análises de forma mais detalhada.
- Desenvolver uma calibração mais fina por meio de métodos de análise estatística, utilizando a comparação do *delta* para análise.
- Verificar a significância estatística das diferenças dos resultados dos softwares analisados.

Os achados deste trabalho destacam a relevância da simulação de tráfego como ferramenta necessária para o planejamento urbano, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão em intervenções de mobilidade sustentável.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. R. C. **Simulação de tráfego aplicada ao estudo de interseções urbanas com semáforos**: análise de desempenho. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/daviribeirocamposaraujo.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.
- ARAUJO, F. W. **Experimentação com simulação de tráfego mesoscópica utilizando o software SUMO aplicada à Região Metropolitana da Grande Florianópolis**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
- BAGGIO, M. L. **Comparison of simulators SUMO and VISSIM for measuring traffic flow interactions and vehicle emissions**: a case study in Joinville, Santa Catarina, Brazil. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023.
- BARCELÓ, Jaume. **Fundamentals of traffic simulation**. Barcelona: Springer, 2010.
- BRUTON, M. J. **Introdução ao planejamento dos transportes**. 17. ed. Rio de Janeiro: Interciência/USP, 1979.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito V: Sinalização Semafórica**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of__05__MBST_Vol._V__Sinalizacao_Semaforica.pdf. Acesso em: 11 jun. 2024.
- DAGUANO, R. F. *et al.* Automatic calibration of microscopic traffic simulation models using artificial neural networks. **Seasons**, v. 23, n. 23, p. 8798, 2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 11 jun. 2024.
- ECLIPSE FOUNDATION. **About SUMO**. Eclipse SUMO, 2024. Disponível em: <https://eclipse.dev/sumo/about/>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- FERNANDES, F. O.; BELTRÃO, T. G. P. **O uso da microssimulação na alocação do tráfego na área crítica de um polo gerador de viagens**: Um estudo de caso do IFG – Campus Goiânia. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Transportes) – Faculdade de Engenharia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2018.
- FREITAS, G. T. **Proposta de melhoria do tráfego na Rua Florianópolis em Joinville utilizando software SUMO**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.

GARBER, N. J.; HOEL, L. A. **Traffic and Highway Engineering**. 4. ed. Toronto: Cengage Learning, 2009.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. **Traffic engineering handbook**. 7. ed. New Jersey: Wiley, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022: **Frota de veículos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2022&localidade1=0&indicador=28120>. Acesso em: 11 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022: **População residente, área territorial e densidade demográfica**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/4714/#/n3/42/n6/in%20n3%2042/v/all/p/all/d/v614%202//,p+v,t/resultado>. Acesso em: 12 jun. 2024.

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. TOD Standard. **Padrão de qualidade DOTS**. 3a ed. Nova York: ITDP, 2017.

JOINVILLE. **Joinville: cidade em dados 2018** – Características gerais. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2018. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/Joinville-Cidade-em-Dados-2018-Character%C3%ADsticas-Gerais.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

KRYLATOV, A.; ZAKHAROV, V.; TUOVINEN, T. **Optimization Models and Methods for Equilibrium Traffic Assignment**. 1. ed. Cham: Springer, 2020. (Springer Tracts on Transportation and Traffic, v. 15).

LIMA, C. **Uso de simulador de tráfego para análise de interseção na Av. Humberto Alencar Castelo Branco com Estrada Samuel Aizemberg**. Relatório de Iniciação Científica (Graduação em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2012.

LIMA, L. V. A.; FONTGALLAND, I. L. Mobilidade urbana sustentável para cidades inteligentes. **Revista Eletrônica Acadêmica**, v. 3, n. 1, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.52076/eacad-v3i1.80>. Acesso em: 27 nov. 2024.

LOPES, Simone Becker. **Uma ferramenta para planejamento da mobilidade sustentável com base em modelo de uso do solo e transportes**. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: 10.11606/T.18.2010.tde-13122010-161312. Acesso em: 03 dez. 2024.

LOPEZ, P. A. *et al.* Microscopic traffic simulation using SUMO. **21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, 04-07 nov. 2018, Maui, HI, USA, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8569938>. Acesso em: 17 jun. 2024.

MERCEDES BENZ. **Institucional**: História: Pioneiros. Disponível em: <https://mercedes-benz-trucks.com.br/institucional/historia/pioneiros>. Acesso em: 11 jun. 2024.

NEVES, G. R.; GALHARDI, A. C.; ZAGO, G. B. A aplicação de softwares de simulação de tráfego na evacuação de áreas de risco: uma análise bibliográfica. **Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2017**, 24-26 mai. 2017, Joinville, SC. Disponível em: <http://dSPACE.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/30231/1/A%20APLICA%C3%87%C3%83O%20DE%20SOFTWARES%20DE%20SIMULA%C3%87%C3%83O%20DE%20TR%C3%81FEGO%20-%20V%20ANAIS%20-%20SIMEP%20ARTIGO%202017.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

OLIVEIRA, M. C. J.; JESUS-LOPES, J. C. de; GARCIA, J. G. de A.; RODRIGUES, D. B. B.; ARAMAQUI, J. N.; DALTO, P. G. J. Atributos de cidades sustentáveis e inteligentes: ciclovias e transporte público. **Anais do IV Encontro Latinoamericano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Euro Elecs 2021**, 10-12 nov. 2021.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

PEREIRA, M.B.; PEREIRA, D.L. Simulação e otimização de sistemas de sinalização semaforica. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação - SBSI 2017**, 5-8 jun. 2017, Lavras, MG. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbsi.2017.6089>. Acesso em: 28 nov. 2024.

PRIBERAM. **Dicionário Priberam da Língua Portuguesa**. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/calibrar>. Acesso em: 21 nov. 2024.

PTV - PLANUNG TRANSPORT VERKEHR. **PTV Vissim 2022 User Manual**. Karlsruhe, Alemanha: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2023.

PTV - PLANUNG TRANSPORT VERKEHR. **PTV Vistro 2025 User Manual**. Karlsruhe, Alemanha: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2024.

RODRIGUES, F.; ARAÚJO, I. L. V. Comparação entre ferramentas específicas dos softwares de microssimulação Aimsun e Synchro/SimTraffic na construção de pequenas redes. **X RIO DE TRANSPORTES**, 22-23 ago. 2012, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://www.imtraff.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Comparacao-de-microssimuladores-Synchro-e-AimSun.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; McSHANE, W. R. **Traffic Engineering**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Education International, 2004.

SHANNON, R. E. **Introduction to the art and science of simulation**. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, Texas, 1977.

SILVA, P. C. M. **Teoria do fluxo de tráfego**. Apostila (Graduação em Engenharia de Tráfego) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 1994. Revisado em: abr. 2001 e jul. 2007.

STORANI, F. et al. Analysis and comparison of traffic flow models: a new hybrid traffic flow model vs benchmark models. **European Transport Research Review**. v.13, 2021.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual 2000**. Washington, DC, National Academy of Sciences, 2000.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual 2010 I: Concepts**. Washington, DC, National Academy of Sciences, 2010.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual 2010 III: Interrupted Flow**. Washington, DC, National Academy of Sciences, 2010.

VOGEL, J. **A experiência de dirigir um Benz 1886**: primeiro automóvel da História. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/a-experiencia-de-dirigir-um-benz-1886-primeiro-automovel-da-historia-2871697>. Acesso em: 26 jun. 2024.

WEBSTER, F. V.; COBBE, B. M. **Traffic Signals**. 56. ed. Road Research Technical Paper. H.M. Stationery Office, 1966. 111 p. Original da Universidade de Michigan. Digitalizado em 5 dez. 2007.

APÊNDICE A – Alocação de Tráfego

Quadro 4 - Alocação do tráfego

Rotas		Movimento Realizado	Total de Veículos
Início	Fim		
A	B	AB	448
A	F	AF	1517
E	A	15% EG	116
E	B	50% GJ	93
E	F	30% EG	231
E	I	GI	585
E	J	50% GJ	94
F	A	85% CA	598
H	A	5% HD	28
H	B	67% HD	378
H	F	28% HD	158
H	I	HI	375
H	J	HJ	478
I	A	5% ID	48

I	B	67% ID	650
I	F	28% ID	271
I	J	IJ	26
			6094

Fonte: Autora (2024).

Quadro 5 - Av. Hermann A. Lepper x Av. Hermann A. Lepper

ORIGENS	DESTINOS	TOTAL	MOTO	CARRÃO	ÔNIBUS	CAMINHÃO L	CAMINHÃO PESADO
Jose_Vieira	-Max_Colin	448	19	426	1	2	0
Jose_Vieira	- Dr_Albano_Schulz	1517	319	1166	22	10	0
Dona_Francisca_Oeste	- Dr_Albano_Schulz	231	30	198	1	2	0
Dona_Francisca_Oeste	-Max_Colin	93	15	76	1	1	0
Tijucas	-Jose_Vieira	116	15	99	1	1	0

Tijucas	- Hermann_Le pper	94	15	77	1	1	0
Dona_Francis ca_Oeste	- Dona_Francis a_Leste	585	71	508	2	4	0
Dr_Albano_S chulz	-Jose_Vieira	598	27	566	2	3	0
Hermann_Le pper	- Dona_Francis a_Leste	375	47	318	7	3	0
Hermann_Le pper	- Hermann_Le pper	478	88	365	17	7	1
Hermann_Le pper	-Max_Colin	378	40	335	0	3	0
Hermann_Le pper	-Jose_Vieira	28	3	25	0	0	0
Hermann_Le pper	- Dr_Albano_S chulz	158	17	140	0	1	0
Dona_Francis a_Leste	- Hermann_Le pper	26	2	23	0	1	0
Dona_Francis a_Leste	-Max_Colin	650	104	540	1	5	0

Dona_Francisca_Leste	-Jose_Vieira	48	8	40	0	0	0
Dona_Francisca_Leste	- Dr_Albano_Schulz	271	43	226	0	2	0
		6094	863	5128	56	46	1

Fonte: Autora (2024).

APÊNDICE B – Programação Semafórica

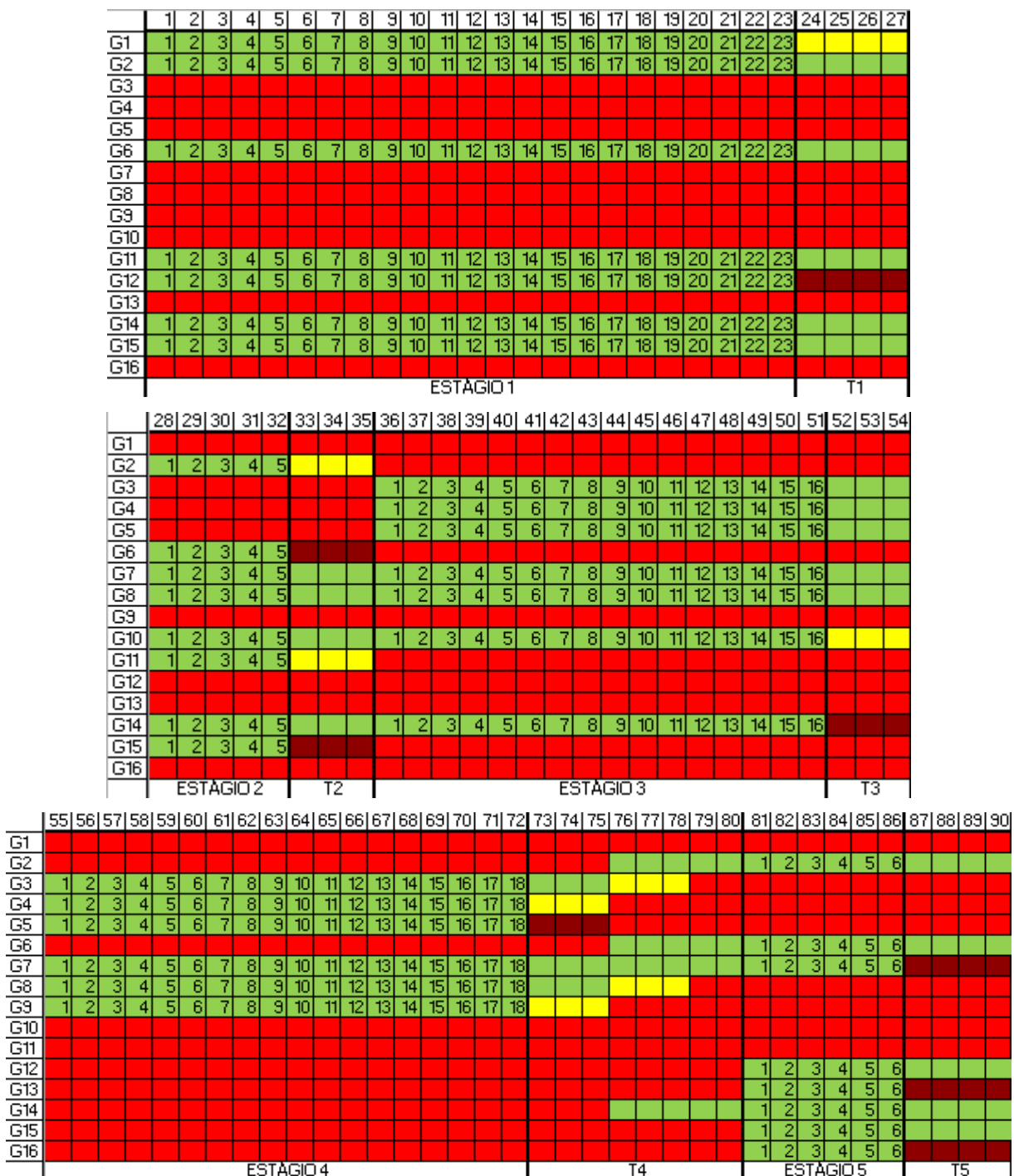
Quadro 6 – Movimentos e respectivos grupos

Veicular Albano S. x D. Francisca (Sentido Norte) e Veicular Hermann Lepper x D. Francisca e Veicular José Vieira x Max Colin (Sentido Sul)	G1
Veicular Albano Schulz x Dona Francisca (Sentido Sul)	G2
Veicular Max Colin x Albano Schulz (ponte)	G3
Veicular Dona Francisca x Albano Schulz (Museu Sambaqui)	G4
Pedestre Albano Schulz (ilha para canteiro central)	G5
Pedestre Dona Francisca (Museu para ilha)	G6
Pedestre Albano Schulz (canteiro central para ilha próximo rio) + Pedestre Hermann Lepper (para casa da cultura)	G7
Veicular Dona Francisca x Hermann Lepper (sentido Mirante), faixa da direita	G8
Veicular Dona Francisca x Hermann Lepper (casa amarela)	G9
Veicular Dona Francisca x Hermann lepper (sentido max colin ou fórum)	G10
Veicular Albano Schulz x Max Colin (sentido Norte)	G11
Pedestre Dona Francisca x Hermann Lepper (em cima da ponte, sentido mirante)	G12
Pedestre Dona Francisca, casa da cultura para a ilha	G13
Pedestre Dona Francisca, da ilha para casa amarela	G14
Pedestre Max Colin x Albano Schulz (Ponte)	G15

Pedestre José Vieira x Max Colin (Sentido Norte)	G16
--	-----

Fonte: Autora (2024).

Figura 46 – Diagrama de estágios



Fonte: Autora (2024).

Figura 47 – Movimentos permitidos em cada estágio



Fonte: Autora (2024).

APÊNDICE C – Otimização Semafórica

Figura 48 – Relatório Vistro José Vieira x Max Colin

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Unmitigated

Number	1											
Intersection	New Intersection											
Control Type	Signalized											
Analysis Method	HCM 7th Edition											
Name												
Approach	Northbound			Southbound			Eastbound			Westbound		
Lane Configuration												
Turning Movement	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right
Base Volume Input [veh/h]	0	704	0	0	1517	448	0	0	0	439	1025	70
Total Analysis Volume [veh/h]	0	704	0	0	3193	900	0	0	0	864	2128	70

Intersection Settings

Cycle Length [s]	90											
Active Pattern	Pattern 2											
Coordination Type	Time of Day Pattern Coordinated											
Actuation Type	Fixed time											
Lost time [s]	0,00											

Phasing & Timing (Basic)

Control Type	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss
Signal Group	0	6	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0
Auxiliary Signal Groups												
Maximum Green [s]	0	63	0	0	63	0	0	0	0	0	47	0
Amber [s]	0,0	4,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0
All red [s]	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Walk [s]	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
Pedestrian Clearance [s]	0,0	9,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	0,0
Delayed Vehicle Green [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
l1, Start-Up Lost Time [s]	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0

Phasing & Timing: Pattern 2

Split [s]	0,0	51,0	0,0	0,0	51,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,0	0,0
Lead / Lag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum Green [s]	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0
Minimum Recall		No			No						No	
Maximum Recall		No			No						No	
Pedestrian Recall		No			No						No	

Exclusive Pedestrian Phase

Pedestrian Signal Group	0											
Pedestrian Walk [s]	0											
Pedestrian Clearance [s]	0											

Lane Group Calculations

g / C, Green / Cycle	0,51	0,51	0,51		0,38	0,38	0,38
(v / s) _i Volume / Saturation Flow Rate	0,22	0,85	0,91		0,54	0,65	0,66
so, Base Saturation Flow per Lane [pc/h/ln]	1900	1900	1900		1900	1900	1900
Arrival type	3	3	3		3		
s, saturation flow rate [veh/h]	3204	3204	1507		1603	1683	1664
c, Capacity [veh/h]	1638	1638	770		606	636	629
X, volume / capacity	0,43	1,67	1,77		1,43	1,73	1,75
d, Delay for Lane Group [s/veh]	14,61	1223,64	1414,64		806,19	1346,07	1381,02
Lane Group LOS	B	F	F		F	F	F

Fonte: Autora (2024).

Figura 49 – Relatório Vistro José Vieira x Max Colin

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Critical Lane Group	No	No	Yes		No	No	Yes
50th-Percentile Queue Length [veh/ln]	4,25	288,43	312,26		142,90	245,39	248,77
50th-Percentile Queue Length [m/ln]	32,40	2197,82	2379,42		1088,91	1869,90	1895,63
95th-Percentile Queue Length [veh/ln]	7,63	431,22	474,11		202,71	363,32	369,23
95th-Percentile Queue Length [m/ln]	58,17	3285,93	3612,70		1544,67	2768,52	2813,50

Movement, Approach, & Intersection Results

d_M, Delay for Movement [s/veh]	0,00	14,61	0,00	0,00	1251,41	1414,64	0,00	0,00	0,00	806,19	1362,97	1381,02
Movement LOS		B			F	F				F	F	F
Critical Movement		No			No	Yes				No	No	No
d_A, Approach Delay [s/veh]		14,61			1287,31			0,00			1206,28	
Approach LOS		B			F			A			F	
d_I, Intersection Delay [s/veh]	1141,73											
Intersection LOS	F											
Intersection V/C	1,565											

Fonte: Autora (2024).

Figura 50 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Unmitigated

Number	2											
Intersection	New Intersection											
Control Type	Signalized											
Analysis Method	HCM 7th Edition											
Name												
Approach	Northbound			Southbound			Eastbound			Westbound		
Lane Configuration							r					
Turning Movement	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right
Base Volume Input [veh/h]	0	598	0	0	1956	0	116	772	231	0	0	0
Total Analysis Volume [veh/h]	0	598	0	0	4057	0	116	1361	688	0	0	0

Intersection Settings

Cycle Length [s]	90											
Active Pattern	Pattern 2											
Coordination Type	Time of Day Pattern Coordinated											
Actuation Type	Fixed time											
Lost time [s]	0,00											

Phasing & Timing (Basic)

Control Type	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss
Signal Group	0	6	0	0	2	0	0	8	0	0	0	0
Auxiliary Signal Groups												
Maximum Green [s]	0	42	0	0	42	0	0	38	0	0	0	0
Amber [s]	0,0	4,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
All red [s]	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Walk [s]	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedestrian Clearance [s]	0,0	9,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Delayed Vehicle Green [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
l1, Start-Up Lost Time [s]	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Phasing & Timing: Pattern 2

Split [s]	0,0	57,0	0,0	0,0	57,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lead / Lag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum Green [s]	0	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0
Minimum Recall		No			No			No				
Maximum Recall		No			No			No				
Pedestrian Recall		No			No			No				

Exclusive Pedestrian Phase

Pedestrian Signal Group	0											
Pedestrian Walk [s]	0											
Pedestrian Clearance [s]	0											

Lane Group Calculations

g / C, Green / Cycle	0,58			0,58			0,31			0,31		
(v / s) i Volume / Saturation Flow Rate	0,19			0,88			0,44			0,48		
so, Base Saturation Flow per Lane [pc/h/ln]	1900			1900			1900			1900		
Arrival type	3			3			3			3		
s, saturation flow rate [veh/h]	3204			4584			1670			1683		
c, Capacity [veh/h]	1851			2649			520			524		
X, volume / capacity	0,32			1,53			1,42			1,41		
d, Delay for Lane Group [s/veh]	10,33			977,91			801,25			781,43		
Lane Group LOS	B			F			F			F		

Fonte: Autora (2024).

Figura 51 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Critical Lane Group	No	Yes	No	No	Yes
50th-Percentile Queue Length [veh/ln]	2,82	250,53	121,72	119,79	131,92
50th-Percentile Queue Length [m/ln]	21,47	1909,06	927,49	912,81	1005,25
95th-Percentile Queue Length [veh/ln]	5,07	368,96	171,68	168,57	191,04
95th-Percentile Queue Length [m/ln]	38,65	2811,46	1308,16	1284,50	1455,72

Movement, Approach, & Intersection Results

d_M, Delay for Movement [s/veh]	0,00	10,33	0,00	0,00	977,91	0,00	801,25	790,49	1024,90	0,00	0,00	0,00
Movement LOS		B			F		F	F	F			
Critical Movement		No			No		No	No	Yes			
d_A, Approach Delay [s/veh]		10,33			977,91			865,56				0,00
Approach LOS		B			F			F				A
d_I, Intersection Delay [s/veh]									857,40			
Intersection LOS									F			
Intersection V/C												1,366



Fonte: Autora (2024).

Figura 52 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Unmitigated

Number	3											
Intersection	New Intersection											
Control Type	Signalized											
Analysis Method	HCM 7th Edition											
Name												
Approach	Northbound				Eastbound				Westbound			
Lane Configuration												
Turning Movement	Left	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Right	Left	Thru	Thru	Right
Base Volume Input [veh/h]	426	0	478	375	0	0	0	0	0	0	736	26
Total Analysis Volume [veh/h]	965	0	960	625	0	0	0	0	0	0	1652	56

Intersection Settings

Cycle Length [s]	90											
Active Pattern	Pattern 1											
Coordination Type	Time of Day Pattern Coordinated											
Actuation Type	Fixed time											
Lost time [s]	0,00											

Phasing & Timing (Basic)

Control Type	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss	Permiss
Signal Group	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Auxiliary Signal Groups												
Maximum Green [s]	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	11	0
Amber [s]	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0
All red [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Walk [s]	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
Pedestrian Clearance [s]	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0
Delayed Vehicle Green [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
l1, Start-Up Lost Time [s]	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0

Phasing & Timing: Pattern 1

Split [s]	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	0,0
Lead / Lag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum Green [s]	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0
Minimum Recall			No								No	
Maximum Recall			No								No	
Pedestrian Recall			No								No	

Exclusive Pedestrian Phase

Pedestrian Signal Group	0											
Pedestrian Walk [s]	0											
Pedestrian Clearance [s]	0											

Lane Group Calculations

g / C, Green / Cycle	0,29	0,29	0,29						0,26		0,26	
(v / s)_j Volume / Saturation Flow Rate	0,53	0,51	0,57						0,51		0,51	
so, Base Saturation Flow per Lane [pc/h/ln]	1900	1900	1900						1900		1900	
Arrival type	3								3			
s, saturation flow rate [veh/h]	1603	1672	1490						1683		1664	
c, Capacity [veh/h]	463	483	430						430		425	
X, volume / capacity	1,84	1,76	1,98						1,99		2,01	
d, Delay for Lane Group [s/veh]	1544,72	1408,75	1795,65						1815,98		1857,34	
Lane Group LOS	F	F	F						F		F	

Fonte: Autora (2024).

Figura 53 – Relatório Vistro Dr. Albano Schulz x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

Critical Lane Group	No	No	Yes		No	Yes
50th-Percentile Queue Length [veh/ln]	204,05	194,58	219,64		221,85	224,20
50th-Percentile Queue Length [m/ln]	1554,89	1482,68	1673,69		1690,50	1708,38
95th-Percentile Queue Length [veh/ln]	301,79	285,64	328,45		328,52	332,47
95th-Percentile Queue Length [m/ln]	2299,66	2176,56	2502,77		2503,33	2533,43

Movement, Approach, & Intersection Results

d_M, Delay for Movement [s/veh]	1528,52	0,00	1499,43	1795,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1835,96	1857,34
Movement LOS	F		F	F							F	F
Critical Movement	No		No	No							No	Yes
d_A, Approach Delay [s/veh]	1583,04				0,00				1836,66			
Approach LOS	F				A				F			
d_I, Intersection Delay [s/veh]	1653,03											
Intersection LOS	F											
Intersection V/C	1,728											

Fonte: Autora (2024).

Figura 54 – Relatório Vistro Hermann A. Lepper x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**
Version 2025 (SP 0-0)

Number	3							
Intersection	New Intersection							
Control Type	Signalized							
Analysis Method	HCM 7th Edition							
Name								
Approach	Northeastbound				Southeastbound			
Lane Configuration								
Turning Movement	Left	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Right
Base Volume Input [veh/h]	187	0	585	0	0	0	0	0
Total Analysis Volume [veh/h]	204	73	1084	0	0	0	0	0

Intersection Settings

Cycle Length [s]	90							
Active Pattern	Pattern 1							
Coordination Type	Time of Day Pattern Coordinated							
Actuation Type	Fixed time							
Lost time [s]	0,00							

Phasing & Timing (Basic)

Control Type	Permissive	Permissive	Permissive	Permissive	Permissive	Permissive	Permissive	Permissive
Signal Group	0	0	3	0	0	0	0	0
Auxiliary Signal Groups								
Maximum Green [s]	0	0	11	0	0	0	0	0
Amber [s]	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
All red [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Walk [s]	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedestrian Clearance [s]	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Delayed Vehicle Green [s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
l1, Start-Up Lost Time [s]	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Phasing & Timing: Pattern 1

Split [s]	0,0	0,0	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lead / Lag	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimum Green [s]	0	0	10	0	0	0	0	0
Minimum Recall			No					
Maximum Recall			No					
Pedestrian Recall			No					

Exclusive Pedestrian Phase

Pedestrian Signal Group	0
Pedestrian Walk [s]	0
Pedestrian Clearance [s]	0

Lane Group Calculations

g / C, Green / Cycle	0,32	0,32	
(v / s)_j Volume / Saturation Flow Rate	0,07	0,64	
so, Base Saturation Flow per Lane [pc/h/lane]	1900	1900	
Arrival type	3		3
s, saturation flow rate [veh/h]	3113	1683	
c, Capacity [veh/h]	1003	542	
X, volume / capacity	0,20	2,00	
d, Delay for Lane Group [s/veh]	22,58	1835,16	
Lane Group LOS	C	F	
Critical Lane Group	No	Yes	

Fonte: Autora (2024).

Figura 55 – Relatório Vistro Hermann A. Lepper x Dona Francisca

Generated with **PTV VISTRO**

Version 2025 (SP 0-0)

50th-Percentile Queue Length [veh/ln]	1,56	282,84	
50th-Percentile Queue Length [m/ln]	11,91	2155,21	
95th-Percentile Queue Length [veh/ln]	2,81	424,08	
95th-Percentile Queue Length [m/ln]	21,43	3231,52	

Movement, Approach, & Intersection Results

d_M, Delay for Movement [s/veh]	22,58	0,00	1835,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Movement LOS	C		F					
Critical Movement	No		No					
d_A, Approach Delay [s/veh]	1548,08				0,00			
Approach LOS	F				A			
d_I, Intersection Delay [s/veh]	1653,03							
Intersection LOS	F							
Intersection V/C	1,728							

Fonte: Autora (2024).

ANEXO A – Funcionalidades do Vissim para Análise e Simulação de Tráfego

Quadro 7 - Funcionalidades do Vissim para Análise e Simulação de Tráfego

<p>Planejamento do Desenvolvimento Urbano</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelagem e análise do impacto dos planos de desenvolvimento urbano; ✓ Apoio na configuração e coordenação de canteiros de obras; ✓ Simulação do comportamento de pedestres dentro e fora de edifícios; ✓ Simulação da busca por estacionamento, tamanho dos estacionamentos e seu impacto no comportamento dos motoristas.
<p>Análise de Capacidade</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelagem realista dos fluxos de tráfego em sistemas de interseções complexas; ✓ Representação gráfica do impacto do tráfego intenso e fluxos de tráfego entrelaçados; ✓ Consideração de tempos entre verdes irregulares.
<p>Sistemas de Controle de Tráfego</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Investigação e visualização do tráfego em nível microscópico; ✓ Análise de parâmetros de tráfego (velocidade, comprimento de filas, tempo de viagem, atrasos); ✓ Exame do impacto do controle de tráfego atuado e sinais de mensagem variável; ✓ Desenvolvimento de ações para acelerar o fluxo de tráfego; ✓ Simulação de cenários de demanda de viagem para interseções sinalizadas; ✓ Análise de controle de tráfego atuado com entrada de dados eficiente;

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Criação de planos de sinalização e construção para acalmamento de tráfego antes da implementação.
Simulação de Transporte Público	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelagem detalhada das operações de ônibus, bonde, metrô, VLT e trem de passageiros; ✓ Análise de melhorias operacionais específicas para o transporte público com prioridade de sinal padrão da indústria; ✓ Simulação e comparação de diferentes abordagens para faixas especiais de transporte público e locais de paradas; ✓ Teste e otimização de controles de sinais atuados com prioridade para o transporte público durante o planejamento da implementação.
Geometria de Interseções	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelagem de diversas geometrias de interseções; ✓ Simulação de tráfego para múltiplas variações de nós; ✓ Consideração da interdependência entre diferentes modos de transporte (motorizado, ferroviário, ciclistas e pedestres); ✓ Análise de variantes de planejamento quanto ao nível de serviço, atrasos e comprimento de filas; ✓ Representação gráfica dos fluxos de tráfego.

Fonte: PTV Group (2022).

ANEXO B – Contagem de Tráfego

Quadro 8 - Av. Hermann A. Lepper x Av. Hermann A. Lepper

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão o Leve	Caminhão Pesado	Total
Mé- di- a	17:15 - 17:29	HJ	16	82	2	1	1	102
Mé- di- a	17:30 - 17:44	HJ	26	110	4	3	0	143
Mé- di- a	17:45 - 17:59	HJ	23	93	5	1	0	122
Mé- di- a	18:00 - 18:14	HJ	23	80	6	2	0	111
			88	365	17	7	1	478

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 9 - Av. Hermann A. Lepper x Rua Dona Francisca

Data	Hora	Moviment o	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão o Leve	Caminhão o Pesado	Total
Mé- di- a	17:15 - 17:29	HI	11	75	1	1	0	88
Mé- di- a	17:30 - 17:44	HI	15	78	1	0	0	94
Mé- di- a	17:45 - 17:59	HI	11	82	3	1	0	97

Média	18:00 - 18:14	HI	10	83	2	1	0	96
			47	318	7	3	0	375

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 10 - Av. Hermann A. Lepper x Rua Max Colin

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhã o Leve	Caminhã o Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	HD	10	75	1	1	0	87
Média	17:30 - 17:44	HD	12	104	0	1	0	117
Média	17:45 - 17:59	HD	16	97	1	1	0	115
Média	18:00 - 18:14	HD	14	92	0	1	0	107
			52	368	2	4	0	426

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 11 - Rua Dona Francisca x Av. Hermann A. Lepper

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhã o Leve	Caminhã o Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	GJ	7	33	0	1	0	41
Média	17:30 - 17:44	GJ	5	41	1	1	0	48

Média	17:45 - 17:59	GJ	7	38	1	0	0	46
Média	18:00 - 18:14	GJ	11	41	0	0	0	52
			30	153	2	2	0	187

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 12 - Rua Dona Francisca x Av. Hermann A. Lepper

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	IJ	1	6	0	0	0	7
Média	17:30 - 17:44	IJ	0	5	0	1	0	6
Média	17:45 - 17:59	IJ	0	5	0	0	0	5
Média	18:00 - 18:14	IJ	1	7	0	0	0	8
			2	23	0	1	0	26

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 13 - Rua Dona Francisca x Rua Max Colin

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	ID	27	129	2	3	0	161

Média	17:30 - 17:44	ID	32	156	1	1	0	190
Média	17:45 - 17:59	ID	33	149	1	2	0	185
Média	18:00 - 18:14	ID	41	158	0	1	0	200
			133	592	4	7	0	736

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 14 - Rua Dona Francisca x Rua Dona Francisca

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	GI	14	101	0	1	0	116
Média	17:30 - 17:44	GI	16	124	0	2	0	142
Média	17:45 - 17:59	GI	17	146	1	0	0	164
Média	18:00 - 18:14	GI	24	137	1	1	0	163
			71	508	2	4	0	585

Fonte: Joinville (2020).

Quadro 15 - Av. José Vieira x Rua Max Colin

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
------	------	-----------	------	-------	--------	---------------	-----------------	-------

Média	17:15 - 17:29	AB	3	109	0	0	0	112
Média	17:30 - 17:44	AB	7	118	0	1	0	126
Média	17:45 - 17:59	AB	4	96	0	0	0	100
Média	18:00 - 18:14	AB	5	103	1	1	0	110
			19	426	1	2	0	448

Fonte: Joinville (2022).

Quadro 16 - Av. José Vieira x Av. Dr. Albano Schulz

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	AC	91	311	5	4	0	411
Média	17:30 - 17:44	AC	91	302	5	3	0	401
Média	17:45 - 17:59	AC	78	277	6	1	0	362
Média	18:00 - 18:14	AC	59	276	6	2	0	343
			319	1166	22	10	0	1517

Fonte: Joinville (2022).

Quadro 17 - Rua Max Colin x Av. José Vieira

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	DA	1	13	0	0	0	14
Média	17:30 - 17:44	DA	1	17	0	0	0	18
Média	17:45 - 17:59	DA	1	15	0	0	0	16
Média	18:00 - 18:14	DA	2	20	0	0	0	22
			5	65	0	0	0	70

Fonte: Joinville (2022).

Quadro 18 - Rua Max Colin x Rua Max Colin

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	DB	28	234	0	3	0	265
Média	17:30 - 17:44	DB	34	232	1	2	0	269
Média	17:45 - 17:59	DB	29	220	0	1	0	250
Média	18:00 - 18:14	DB	30	210	0	1	0	241
			121	896	1	7	0	1025

Fonte: Joinville (2022).

Quadro 19 - Rua Max Colin x Av. Dr. Albano Schulz

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	DC	18	84	1	2	0	105
Média	17:30 - 17:44	DC	24	82	0	0	0	106
Média	17:45 - 17:59	DC	25	93	0	1	0	119
Média	18:00 - 18:14	DC	22	86	0	1	0	109
			89	345	1	4	0	439

Fonte: Joinville (2022).

Quadro 20 - Av. Dr. Albano Schulz x Av. José Vieira

Data	Hora	Movimento	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão Leve	Caminhão Pesado	Total
Média	17:15 - 17:29	CA	7	169	0	1	0	177
Média	17:30 - 17:44	CA	12	179	1	1	0	193
Média	17:45 - 17:59	CA	9	164	1	1	0	175
Média	18:00 - 18:14	CA	4	154	0	1	0	159
			32	666	2	4	0	704

Fonte: Joinville (2022).