

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

JULIA KEROLIN VIANA PACHER

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE FLUIDEZ DO TRÁFEGO UTILIZANDO
MODELAGEM DE MICROSIMULAÇÃO – ESTUDO DE CASO EM
JOINVILLE, SC**

Joinville

2024

JULIA KEROLIN VIANA PACHER

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE FLUIDEZ DO TRÁFEGO UTILIZANDO
MODELAGEM DE MICROSIMULAÇÃO – ESTUDO DE CASO EM
JOINVILLE, SC**

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

Orientadora: Dra. Christiane Wenck Nogueira
Fernandes
Coorientador: Natan Bissoli

Joinville

2024

JULIA KEROLIN VIANA PACHER

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE FLUIDEZ DO TRÁFEGO UTILIZANDO MODELAGEM DE
MICROSSIMULAÇÃO – 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 Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 28 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Profa. Christiane Wenck Nogueira Fernandes, Dra.
Orientadora

Prof. Natan Bissoli
Coorientador

Profa. Simone Becker Lopes, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Felipe Soares Tiburcio
Prefeitura Municipal de Joinville

AGRADECIMENTOS

À minhas duas grandes amigas Ana Uhlemann e Camila Voltolini por estarem sempre ao meu lado me incentivando em direção aos meus objetivos. Vocês duas foram essenciais nessa trajetória e sou muito grata pelo carinho, amparo e motivação.

Ao meu companheiro Gustavo Kamradt pelo nosso amor, que tornou tudo mais leve, principalmente nos últimos anos de graduação. Celebrar o fim desse trajeto não faria sentido sem você ao meu lado, que foi meu maior encorajador. Obrigada pelo apoio e motivação para seguir em busca dos meus sonhos, independente dos obstáculos. Ao Cybex, nosso gato de estimação que foi meu grande apoio emocional e companheiro nos momentos de ansiedade.

Ao professor Helry Dias, que foi o responsável por despertar meu interesse em tráfego e transportes. Que acreditou em mim e me encorajou a chegar até aqui.

À minha irmã Ana Luiza e familiares que me incentivaram a não desistir. À minhas amigas Mariana, Bettina, Ana Correa, Vanderleia, Vanessa e as diversas amigas que cultivei nesses anos de graduação, muito obrigada.

À minha orientadora Professora Dra. Christiane Fernandes e ao coorientador Professor Natan Bissoli por abraçarem minhas ideias, pela paciência e pelo suporte durante a realização desse trabalho.

Ao Felipe Tibúrcio, Edson e a equipe da Secretaria de Pesquisa e Planejamento Urbano – SEPUR pelo auxílio com os dados necessários para a execução do estudo.

Aos meus colegas da Passebus Juvenal, Jacson, Caroline e meu supervisor Almir Schelbauer pelo incentivo e pela troca de conhecimentos nos últimos dois anos de graduação e estágio.

A assistência estudantil PRAE que foi essencial na minha trajetória universitária, sem auxílio estudantil não seria possível concluir minha graduação.

“Quando algo é importante o suficiente, você realiza,
mesmo que as chances não estejam a seu favor.”

Elon Musk

RESUMO

À medida que as cidades crescem novos desafios de mobilidade são gerados criando gargalos nas principais zonas urbanas do país. Seja de grande ou médio porte, as cidades brasileiras têm enfrentado diversos obstáculos devido ao excesso de veículos em circulação. Em Joinville-SC, cidade foco do estudo de caso, o número de veículos equivale a aproximadamente metade da quantidade de habitantes, número que reflete diretamente no fluxo de tráfego. Nesse contexto, o presente trabalho visa propor uma melhoria de medidas de desempenho, em um cruzamento urbano localizado ao sul da cidade, região onde os moradores enfrentam grandes congestionamentos nos horários pico. Com aplicação de estudos de tráfego e utilizando o software de microssimulação VISSIM, foram propostos 3 cenários alternativos e observou-se que o cenário alternativo 2 apresenta 99% de melhoria em um dos cruzamentos e 52% no outro cruzamento analisado nas medidas de Fila Média e Fila Média Máxima, em relação ao cenário atual da área de estudo.

Palavras-chave: microssimulação; tráfego; VISSIM; Joinville-SC.

ABSTRACT

As cities grow, new mobility challenges are generated, creating bottlenecks in the country's main urban areas. Whether large or medium-sized, Brazilian cities have faced several obstacles due to the excess of vehicles in circulation. In Joinville-SC, the city that is the focus of the case study, the number of vehicles is equivalent to approximately half the number of inhabitants, a number that directly reflects the traffic flow. In this context, the present work aims to propose an improvement in performance measures, in an urban section located to the south of the city, a region where residents face major congestion at peak times. By applying traffic studies and using the VISSIM microsimulation software, 3 alternative scenarios were proposed and it was observed that alternative scenario 2 presents 99% improvement in one of the sections and 52% in the other section analyzed in the Average Queue and Maximum Average Queue, in relation to the current scenario of the study area.

Keywords: microsimulation; traffic; VISSIM; Joinville-SC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do trabalho.....	14
Figura 2: Modelo Car-following de Wiedemann.....	21
Figura 3: Gap acceptance	22
Figura 4: Lane changing.....	23
Figura 5: Etapas da metodologia do trabalho.....	30
Figura 6: Área de Estudo	35
Figura 7: Movimentos permitidos cruzamento 1	35
Figura 8: Movimentos permitidos cruzamento 2.....	36
Figura 9: Volume Total de tráfego: cenário base.....	36
Figura 10: Codificação da rede no VISSIM: Cenário Base.....	38
Figura 11: Resultados simulação: Cenário base	39
Figura 12: Resultados FHP: Contagem.....	40
Figura 13: Resultados FHP: VISSIMFonte: A autora (2024)	40
Figura 14: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 1	41
Figura 15: Problemática cenário alternativo 1	42
Figura 16: Resultados simulação: Cenário alternativo 1	42
Figura 17: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 2	43
Figura 18: Rua Barbacena cenário base	43
Figura 19: Resultados simulação: Cenário alternativo 2	44
Figura 20: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 3	45
Figura 21: Resultados simulação: Cenário alternativo 3	46
Figura 22: Resultados simulação: todos os cenários	46
Figura 23: Aplicação Teste Shapiro Wilk.....	48
Figura 24: Semelhanças estatísticas dos dados	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Expressões e Significados DNIT	16
Tabela 2: Comparação entre microssimuladores de tráfego.....	20
Tabela 3: Dados de tráfego	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA.....	13
1.2. OBJETIVO GERAL.....	13
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO.....	15
2.1.1. Pesquisas de Tráfego	16
2.2. SIMULADORES DE TRÁFEGO	18
2.3. MODELO DE MICROSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	19
2.3.1. Modelo de carro seguidor (<i>Car-following</i>)	20
2.3.2. Modelo de aceitação de brecha (<i>Gap acceptance</i>)	22
2.3.3. Modelo de mudança de faixa (<i>Lane changing</i>)	23
2.4. VISSIM – VERKEHR IN STÄDTEN SIMULATION MODELL.....	24
2.4.1. Modelos comportamentais do VISSIM	24
2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS A SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	25
2.5.1. Teste de Normalidade Shapiro-Wilk	27
2.5.2. Teste de Normalidade T student	27
2.5.3. Teste Wilcoxon Pareado	29
3. METODOLOGIA	30
3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	31
3.3. CALIBRAÇÃO DA REDE.....	31
3.4. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	32
3.5. RESULTADOS E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS	32
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS	34
4.1. ÁREA DE ESTUDO	34
4.2. MODELAGEM E CALIBRAÇÃO DO CENÁRIO BASE	37
4.3. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS	40
4.4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS CENÁRIOS	46

4.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	47
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

À medida que as cidades crescem novos desafios de mobilidade são gerados criando gargalos nas principais zonas urbanas. Os grandes congestionamentos de tráfego já são uma realidade em muitas cidades brasileiras e são formados devido a extrapolação de capacidade das vias, que se tornam incapazes de comportar a quantidade de veículos (COELHO, 2009).

A definição teórica do congestionamento é desafiadora, dada a subjetividade envolvida. Embora a concentração de veículos em uma via, reduzindo a velocidade, seja comumente associada ao congestionamento, a percepção negativa surge quando o tempo de percurso é considerado "excessivo". No entanto, determinar um tempo "ideal" é subjetivo, variando entre os condutores e tornando difícil estabelecer uma base única para avaliar o tempo "perdido". Propostas de velocidade "ideal" muitas vezes são impraticáveis, especialmente aquelas baseadas em condições de "fluxo livre" ideais (VASCONCELLOS, 2014).

De acordo com Magagnin e da Silva (2008) as cidades brasileiras, incluindo as de médio porte, enfrentam desafios significativos devido à excessiva dependência de veículos individuais. As atuais políticas de crescimento urbano negligenciam o estímulo a meios de transporte mais sustentáveis, resultando em congestionamentos, aumento no consumo de energia no transporte e emissões de gases tóxicos. O uso indiscriminado de automóveis nas áreas urbanas compromete o fluxo de tráfego e traz impactos ambientais negativos.

Isso reforça que um dos principais motivos do elevado número de automóveis em circulação, está entrelaçado à quantidade exorbitante de usuários que possuem veículos individuais. Embora o transporte individual tenha vantagens como liberdade de horários, transporte porta a porta, flexibilidade de trajetos, pausas durante a viagem e maior conforto, os motivos que impulsionam essa escolha vão além desses fatores. Taffarel (2015) relata que possuir um carro particular também simboliza, na sociedade brasileira, um status e prestígio social.

Nesse contexto, Gunes *et al.* (2020) afirma que os problemas de mobilidade afetam negativamente o cotidiano humano e podem ser descritos como os mais difíceis de serem solucionados no campo da engenharia de transportes. Além de demandarem habilidade para conceber e implementar planos de transporte eficientes, que consigam mitigar tanto os engarrafamentos quanto as complexidades

relacionadas ao transporte, agravadas pelo contínuo processo de urbanização nas cidades.

1.1. JUSTIFICATIVA

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) o número de automóveis no país ultrapassa 60 milhões de veículos, o que equivale a aproximadamente 52% do total de todos os tipos de veículos existentes em solo brasileiro. Dos dados apresentados pelo IBGE (2022), cerca de 290 mil automóveis estão localizados na cidade de Joinville – SC, representando quase a metade da quantidade de habitantes.

A cidade de Joinville está localizada no norte de Santa Catarina - Brasil e segundo dados da prefeitura municipal (2022) possui cerca de 600 mil habitantes, ocupando o primeiro lugar no ranking de população do estado. Apresentando uma vasta extensão territorial e sendo uma cidade predominantemente industrial, seus principais pontos de origem e destino de deslocamentos estão dispersos ao longo do território, resultando frequentemente em viagens que exigem atravessar a cidade de norte a sul.

Este tempo de deslocamento casa – trabalho é crucial para a qualidade de vida e é influenciado diretamente por fatores como a distância percorrida, o meio de transporte escolhido e as condições de tráfego. Além disso, estabelece uma conexão importante com as habitações distintas e zonas com maiores oportunidades de empregos (PERO; STEFANELLI, 2015).

Nesse contexto, para atingir os objetivos do presente estudo fez-se necessário realizar a análise de fluidez de tráfego utilizando uma ferramenta de simulação em microescala com o software de microsimulação VISSIM, analisando as medidas de Fila Máxima, Fila Média e Atraso para então, buscar soluções que reduzam essas medidas.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo de microsimulação para análise de medidas de desempenho dos fluxos de tráfego na hora pico do período

matutino e vespertino, aplicando o modelo em um estudo de caso na cidade de Joinville – SC.

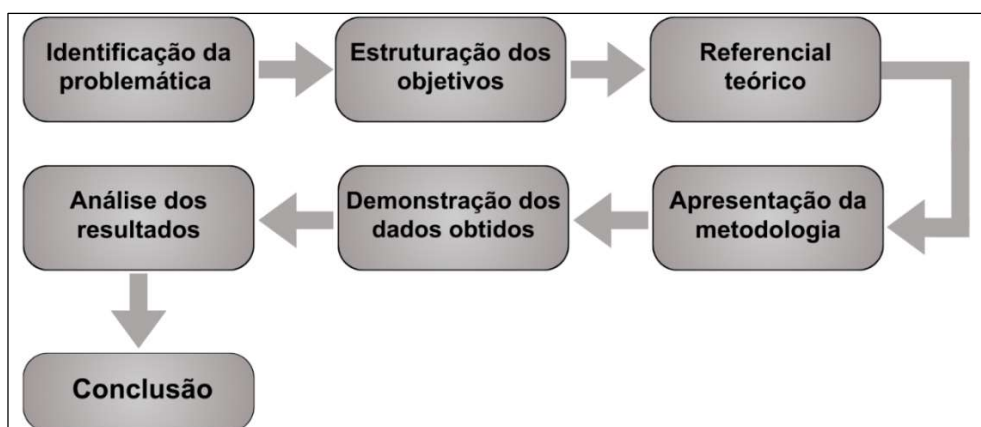
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais fluxos de tráfego na área de estudo;
- Simular o cenário base e realizar a calibração usando método FHP;
- Propor e simular cenários alternativos;
- Realizar um comparativo entre os cenários propostos e o atual;
- Definir quais as melhores medidas de desempenho para avaliar a fluidez;
- Aplicar métodos estatísticos para validar os resultados e diferenças observadas entre as simulações;

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, iniciando pela problemática bem como objetivos e justificativa da pesquisa. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica abordando os principais temas que dão embasamento ao estudo. O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada e as etapas para o desenvolvimento da pesquisa, de forma genérica. Já no quarto capítulo, detalha-se cada passo seguido e os dados utilizados. O quinto e último capítulo conclui a pesquisa, demonstrando as análises e resultados assim como sugestões para trabalhos futuros. A Figura 1 apresenta a estrutura do trabalho.

Figura 1: Estrutura do trabalho



Fonte: A autora (2024)

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar, de maneira detalhada, temas fundamentais na Engenharia de tráfego. Como as pesquisas de tráfego e os simuladores, com o intuito de fornecer uma melhor compreensão dos conceitos aplicados na construção deste trabalho. Para alcançar os objetivos propostos, é necessário compreender alguns processos envolvidos na sua elaboração, os quais serão descritos a seguir.

2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Descrita como uma parte da engenharia de transportes, a engenharia de tráfego é um campo especializado que possui estudos com foco no planejamento e operação das redes rodoviárias e urbanas, bem como, a interação entre os diferentes modais de transporte. (WOLSHON; PANDE, 2016).

Nesse contexto, quanto mais as cidades crescem, mais os estudos de tráfego tornam-se cruciais para promover uma gestão eficaz da mobilidade urbana, propor melhorias e controlar os grandes congestionamentos. De acordo com DNIT (2006), o tráfego de veículos possui três pilares principais que auxiliam a entender e avaliar como ele funciona, definidos como:

- Volume de tráfego: é o fluxo de veículos que trafegam em uma determinada via, ou seja, o número de veículos que atravessam a seção estudada em um determinado período, normalmente expresso em veículos por hora (vph) ou veículos por dia (vpd);
- Velocidade: é a velocidade média que os veículos trafegam na via, fator essencial para avaliar a fluidez da circulação dos veículos;
- Densidade: é o número de veículos por quilômetro em uma via. A densidade pode ser calculada dividindo o fluxo médio (número de veículos por hora) pela velocidade média da via (em km/h).

Ainda de acordo com o DNIT (2006), outras definições são relevantes para a compreensão do seguinte trabalho, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Expressões e Significados DNIT

Expressão	Significado
Capacidade	Quantidade de veículos que pode trafegar em uma pista durante um determinado período de tempo.
Headway	Tempo entre a passagem de dois veículos sucessivos por determinado ponto.
Tempo de viagem	Período de tempo onde o veículo trafega em determinado trecho da via.
Hora Pico	Período onde há o maior fluxo de tráfego.
Fator Hora Pico	Volume na hora pico do período de tempo considerado.

Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

Essas definições facilitam o entendimento de como se comporta a via analisada e sua capacidade, auxiliando na tomada de decisões. Vale destacar que o Fator Hora Pico (FHP) é essencial para compreender a intensidade e flutuação do fluxo de tráfego no período de maior demanda, e pode ser calculado da seguinte forma:

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4 * V_{15m\acute{a}x}} \quad (1)$$

Onde:

- ***V_{hp}***: Volume horário pico;
- ***V_{15m_áx}***: Volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora pico;

Além dos diversos conceitos e equações relacionadas aos estudos de tráfego, para uma representação acurada da área de estudo, também são realizadas as pesquisas de tráfego, onde dados do tráfego real são coletados. Estas formas de pesquisa serão abordadas no capítulo a seguir.

2.1.1. Pesquisas de Tráfego

Para iniciar as pesquisas de tráfego são conduzidos levantamentos de dados, que de acordo com o DNIT (2006) podem ser realizados por meio de entrevistas ou observação direta. No processo de entrevistas, é considerada a opinião dos usuários

por meio de questionamentos orais ou escritos, sendo as respostas categorizadas conforme padrões previamente estabelecidos.

Na observação direta, todos os fenômenos do tráfego visualizados são registrados por meio de uma contagem volumétrica. Dessa forma, a contagem volumétrica pode ser definida como a quantificação dos veículos que circulam na área, incluindo a direção e a composição do tráfego nos pontos selecionados para a pesquisa.

Tais informações servem como parâmetros para avaliar a causa de congestionamentos, acidentes, dimensionar a capacidade e pavimentação da via, entre outros aspectos. Ainda segundo DNIT (2006), as contagens volumétricas em áreas rurais possuem três tipos de classificação: Contagem global, contagem direcional e contagem classificatória.

Na contagem global é registrado o número total de veículos em um cruzamento da via, independentemente da direção. É usada para calcular volumes diários e identificar tendências. Já as contagens direcionais contabilizam os veículos de acordo com o sentido do fluxo e busca coletar dados para cálculos de capacidade e sinalizações viárias. As contagens classificatórias registram volumes de diferentes tipos ou categorias de veículos, aplicado ao dimensionamento de rodovias. Além dos diversos métodos de contagem, a abordagem empregada pode variar conforme o responsável pela pesquisa, podendo ser realizado de forma manual, por meio de registros escritos, ou com auxílio de dispositivos eletrônicos, como drones e câmeras.

Após a coleta de dados necessários para o estudo, a seleção da ferramenta a ser utilizada é crucial para alcançar os objetivos desejados. Nesse sentido, o desenvolvimento e aprimoramento das ferramentas de cálculo especializadas em pesquisas de tráfego são de extrema importância, especialmente no contexto da aplicação de modelos de simulação.

Os modelos de simulação viabilizam a realização de experimentos para compreender o comportamento de um sistema específico e possibilitam avaliar estratégias potenciais. Ao simular o funcionamento de uma rede, esses modelos permitem a análise das implicações resultantes de alterações ou variações, pois conseguem processar uma quantidade significativa de informações com uma demanda reduzida de recursos (VILARINHO, 2008). Desse modo, para atingir os objetivos propostos do presente trabalho, o uso da simulação de tráfego foi imprescindível. Suas qualidades e aplicações serão esclarecidas no capítulo a seguir.

2.2. SIMULADORES DE TRÁFEGO

A simulação de tráfego é uma técnica que permite estudar como sistemas funcionam, possibilitando simular diversos cenários virtuais que imitam a realidade. Isso permite testar várias situações alterando os parâmetros de tráfego e como afetam seu desempenho, facilitando a compreensão dos impactos antes de realizar as alterações no cenário real. (DEMARCHI, 2000).

Dessa forma, com o progresso contínuo da engenharia e pesquisas na área de tráfego e transportes, a simulação de tráfego emergiu como uma das metodologias mais empregadas na análise de fluxo veicular. Ultrapassando as fronteiras do meio acadêmico e ganhando aplicação crescente também no contexto profissional, de acordo com Barceló *et al.* (2001), atualmente é possível encontrar no mercado uma ampla gama de softwares de simulação que englobam as três formas de modelagem de tráfego: Microscópica, Mesoscópica e Macroscópica. Estas, ainda de acordo com o autor, possuem as seguintes características:

- Modelagem Macroscópica: Está diretamente relacionada as variáveis: Fluxo, Velocidade e Densidade. Pertence a uma abordagem de tráfego ininterrupto, presente em rodovias e autoestradas. Exemplo de simuladores: TRANSCAD, AIMSUN, METANET;
- Modelagem Mesoscópica: Representa a alternativa intermediária entre a Macroscópica e Microscópica, aplicada em tráfegos que possuem elementos discretos, mas não unitários. Possui nível médio de detalhamento. Exemplos de simuladores: TRANSCAD, AIMSUN, DYNAMIT, AVENUE;
- Modelagem Microscópica: Utiliza parâmetros individuais de cada veículo como o comportamento e resposta de cada condutor. Utiliza submodelos como *car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance* para estudar e representar tais comportamentos. Exemplos de simuladores: VISSIM, SUMO, AIMSUN, PARAMICS, DYNAMIT;

Vale ressaltar que a abordagem macroscópica modela os fluxos de tráfego comumente fundamentada na teoria do fluxo de tráfego contínuo, a qual visa descrever a evolução espaço-temporal das variáveis que caracterizam os fluxos macroscópicos: volume, velocidade e densidade. (BARCELÓ, 2010).

As abordagens mesoscópicas, de maneira geral, traduzem o fluxo de veículos como pelotões de tráfego. Barceló (2010) considera que essa modelagem busca simplificar a dinâmica para ser menos exigente em dados e mais eficiente computacionalmente do que os modelos microscópicos.

O presente trabalho será realizado no âmbito da microssimulação. Desta maneira, os conceitos relacionados às abordagens microscópicas serão apresentados de maneira mais aprofundada nas próximas seções.

2.3. MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

O modelo de microssimulação de tráfego analisa a operação com base nas características individuais dos veículos, detalhando as características das vias, interseções, travessias de pedestres e paradas de transporte público (ADEBISI, 2017).

Desse modo, por possibilitar essa análise mais detalhada e individual de cada veículo, a simulação microscópica possui excelente aplicação em cruzamentos urbanos, tendo em vista que possui capacidade de representar fielmente o comportamento de cada condutor. Este fator pode ser considerado indispensável em interseções, pela perspectiva da vida real onde a forma de direção de cada condutor, interpretada no sistema como nível de agressividade, aumenta os riscos de congestionamentos e sinistros.

Os dados resultantes após a simulação são detalhados e precisos quando calibrados corretamente, fazendo com que a simulação seja fiel a realidade e proporcionando estimativa de parâmetros altamente eficazes (ADEBISI, 2017). Noronha (2016) ressalta que, devido ao seu elevado grau de detalhamento, a modelagem microscópica requer um custo computacional considerável em relação às demais abordagens de modelagem, o que limita tanto o tamanho da rede quanto o número de simulações que podem ser executadas.

Convém salientar que a seleção do microssimulador utilizado na pesquisa varia de acordo com a familiaridade e preferência do pesquisador. Considerando a ampla gama de simuladores disponíveis no mercado, a Tabela 2 apresenta um comparativo entre alguns microssimuladores utilizados em aplicações de tráfego, na qual “sim” indica a posse do modelo, “não” refere-se à ausência dele e o símbolo “-“ que representa os simuladores para os quais a informação não foi obtida.

Tabela 2: Comparação entre microssimuladores de tráfego

	MODELOS COMPORTAMENTAIS			MODELO 4 ETAPAS				Uso do solo	Emissão de poluentes
	Car-following	Lane changing	Gap acceptance	Geração de viagens	Distribuição de Viagens	Escolha modal	Alocação de tráfego		
VISSIM	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
SUMO	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
AIMSUN	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim
DRACULA	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	-	Sim
PARAMICS	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	-	-
DYNAMIT	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	-	-

Fonte: A autora (2024)

Amplamente empregado no planejamento de transportes, o modelo de quatro etapas visa prever a quantidade de viagens que serão produzidas e/ou atraídas para as diferentes zonas de tráfego. As etapas iniciais são dedicadas à definição das origens e destinos das viagens, bem como volume de fluxo e o modo de transporte escolhido pelos usuários. Já a quarta etapa prioriza a seleção da rota, buscando equilibrar a rede de tráfego (LOPES, 2005). Entretanto, embora a combinação do modelo de quatro etapas com a simulação cause um impacto considerável, nem todos os simuladores utilizam essa abordagem.

Também é possível observar que a microssimulação de tráfego possui diversas características relacionadas ao comportamento dos motoristas, as quais podem ser incorporadas no modelo. Por diversos microssimuladores utilizarem os três principais submodelos de tráfego, isto é carro perseguidor (*car-following*), aceitação de brecha (*gap acceptance*) e mudança de faixa (*lane-changing*), o presente trabalho discute, de maneira mais aprofundada tais submodelos.

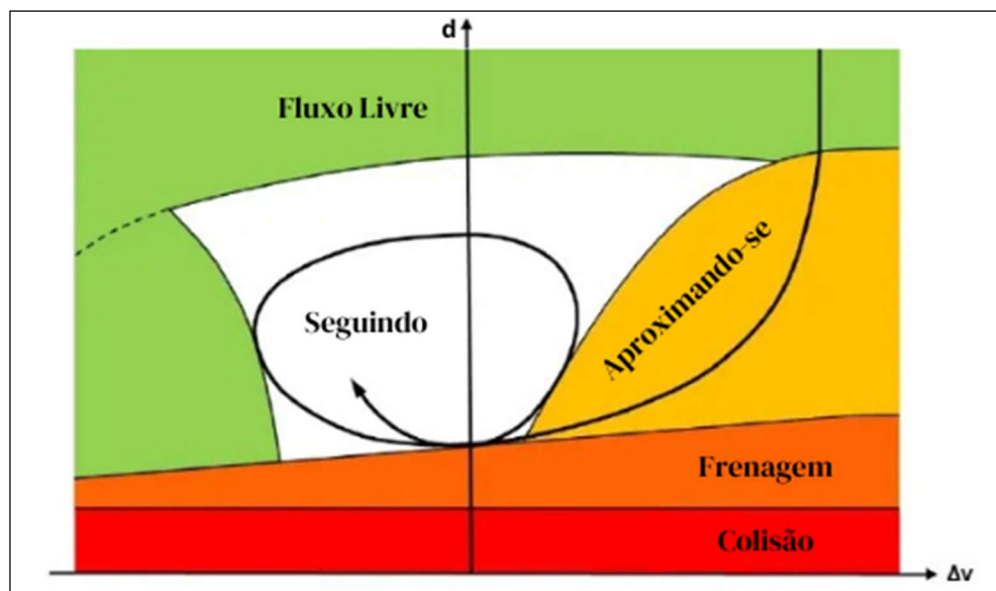
2.3.1. Modelo de carro seguidor (*Car-following*)

O modelo de carro seguidor (*car-following*) diz respeito a interação entre um par de veículos que trafegam na mesma via de modo consecutivo e podem ser classificados como líder e seguidor, sendo o veículo líder limitante da velocidade e movimentos do seguidor. Uma vez que se o seguidor trafegar em sua máxima velocidade, resultará em uma colisão (VILARINHO, 2008).

Nesse sentido, os parâmetros de aceleração e desaceleração são utilizados no modelo como forma de encontrar uma distância segura e uniforme entre os veículos líder e seguidor, utilizando a percepção de velocidade e espaçamento entre veículos da ótica dos condutores, em busca de evitar reações inesperadas (CHAVES,

2017). A Figura 2 busca ilustrar como funciona o processo oscilante do seguimento de veículo, de acordo com (Wiedemann, 1974; PTV, 2015).

Figura 2: Modelo Car-following de Wiedemann



Fonte: Adaptado de PTV (2015)

De acordo com a Figura 2 do modelo de Wiedemann 74, a zona de fluxo livre corresponde ao momento em que o veículo trafega sem a influência de outros veículos, tendo em vista que a via está desobstruída e o motorista pode manter a velocidade desejada. No estágio de aproximação, a presença de um veículo à frente leva o condutor do veículo seguidor a reduzir gradualmente a velocidade, buscando preservar uma distância segura. Na fase em que o veículo está seguindo o veículo líder, o motorista ajusta automaticamente a velocidade do veículo, mantendo uma velocidade similar à do veículo à frente. Quando ocorre uma situação de frenagem, isso indica que o fluxo entre os dois veículos entrou em estado de emergência, devido à proximidade excessiva. Nessa condição, o veículo seguidor reage com uma desaceleração brusca para evitar uma colisão iminente.

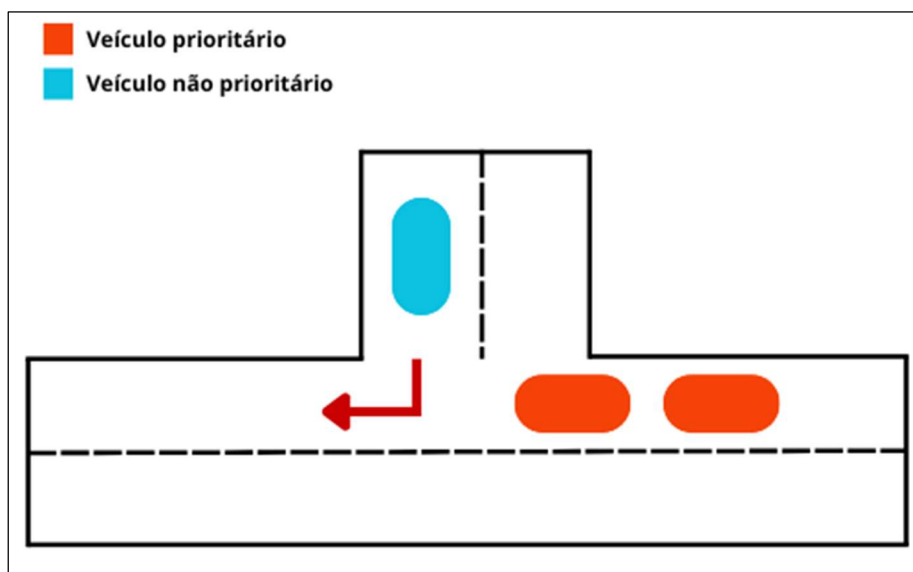
Em suma, ao se aproximar do veículo líder, o condutor possuirá reações conscientes e outros pontos de ação ocorrem de modo inconsciente. O ponto de ação consciente do condutor seguinte, depende de fatores como: a diferença de velocidade entre os veículos, a distância relativa, as características técnicas do veículo e o comportamento do condutor (BARCELÓ, 2010).

2.3.2. Modelo de aceitação de brecha (*Gap acceptance*)

O modelo de aceitação de brecha, conhecido também pelo termo em inglês *Gap acceptance* considera a “brecha” como o tempo disponível entre veículos que um condutor tem para entrar em uma corrente de tráfego. Normalmente utilizado para modelagem de comportamentos em situações como cruzamentos e rotatórias.

Sob a ótica de Chaves (2017), o modelo de *gap acceptance* modela o comportamento dos veículos ao se aproximar ou atravessar uma interseção onde a prioridade não deve ser cedida, conforme a Figura 3. Sendo assim, o modelo avalia se o veículo não prioritário da via possui ou não as condições necessárias para realizar a manobra e qual o tempo necessário para que o condutor atravesse a via em segurança.

Figura 3: Gap acceptance



Fonte: A autora (2024)

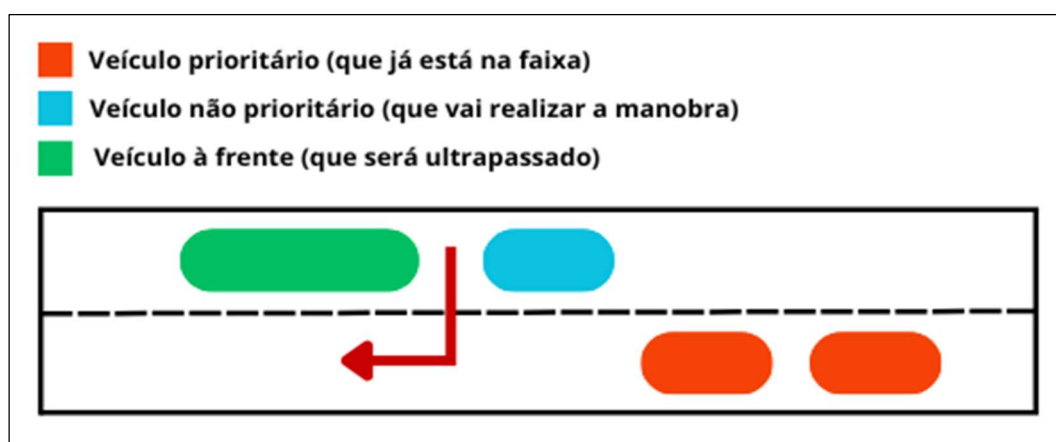
A modelagem de brechas é crucial para analisar o tráfego em interseções não semaforizadas, pois influencia na estimativa de desempenho e capacidade. Em tráfego leve a moderado, os *headways* seguem a distribuição de Poisson, com uma distribuição exponencial para intervalos entre veículos. Já em condições de fluxo livre, os *headways* são mais imprevisíveis, ficando mais constantes quando o tráfego se aproxima da capacidade máxima da via. Além disso, a presença de semáforos nas proximidades pode formar pelotões de veículos e afetar diretamente a aleatoriedade dos *headways*. (ARAÚJO, 2018).

2.3.3. Modelo de mudança de faixa (*Lane changing*)

O modelo de mudança de faixas ou *lane changing* na microsimulação, está associado ao comportamento relacionado a trocas de faixa em uma via. Essas mudanças de faixa são modeladas através de um processo de decisão hierárquico. Esse processo leva em conta que os condutores podem desejar mudar de faixa devido a obstáculos, necessidade de ajustar a rota ou para ultrapassar veículos lentos na faixa atual. Quando há essa motivação para realizar a mudança, o processo é modelado de forma semelhante aos algoritmos que determinam a aceitação de brechas no tráfego (CUNTO; LOUREIRO, 2011).

A Figura 4 representa de forma simples como o modelo funciona. Os veículos que já estão trafegando na faixa possuem a prioridade de passagem, já o veículo que deseja mudar de faixa para ultrapassar um veículo à frente, precisa aguardar uma brecha para realizar a manobra de forma segura.

Figura 4: Lane changing



Fonte: A autora (2024)

Verifica-se também a existência de um intervalo seguro entre os veículos na via de destino, dependente da velocidade praticada. A manobra é realizada durante um período finito, permitindo ao veículo ajustar sua velocidade para criar um intervalo mais seguro (CHAVES, 2017).

Uma importante ferramenta que incorpora esses três submodelos da microsimulação é o software VISSIM. Neste sentido, será descrito de forma detalhada na sequência.

2.4. VISSIM – VERKEHR IN STÄDTEN SIMULATION MODELL

Desenvolvido pela empresa alemã PTV Group, o VISSIM ocupa a liderança mundial em simulações de tráfego multimodal e seu uso está presente em diversas empresas de planejamento urbano e engenharia de tráfego (PTV GROUP, 2023).

O software é direcionado a investigação dos deslocamentos no âmbito do transporte, abrangendo tanto as modalidades privadas quanto públicas, com foco especial nos movimentos de pedestres. No âmbito da engenharia de tráfego e planejamento de transporte, os profissionais conseguem elaborar aplicações ao selecionar componentes pertinentes a partir de uma ampla diversidade de elementos. Intuitivo e com opções de personalização, permite simular de modo abrangente os fluxos de tráfego, disponibilizando características técnicas dos mais variados tipos de transporte motorizados e não motorizados (BARCELÓ, 2010).

O período e formato dos dados de saída gerados pelo software também podem possuir definições personalizadas pelo usuário e geram dados da rede como tempo de viagem, tempo de atraso e tamanho de filas. Esses dados podem ser de apenas uma interseção da simulação, uma rede inteira ou até mesmo de apenas um único veículo individual. (BARCELÓ, 2010).

Os autores Alkaissi (2022), Hafram (2023) e Eugenio (2023) utilizaram o VISSIM em diferentes aplicações, Alkaissi e Eugenio para modelar tráfego urbano e Hafram utilizou para modelar uma rodovia. Ao finalizar o estudo, ambos obtiveram resultados satisfatórios com o uso da ferramenta, demonstrando que o modelo calibrado é eficiente e adequado para auxiliar nas tomadas de decisões.

Em suma, as mencionadas características e bom desempenho em diversas aplicações, fundamentam a escolha pela simulação microscópica e aplicação do software VISSIM para a condução da pesquisa. Além dos modelos comportamentais incorporados na ferramenta.

2.4.1. Modelos comportamentais do VISSIM

Para o modelo *car-following*, estão disponíveis dois submodelos no VISSIM: Wiedemann 74 (aplicado para tráfego urbano) e Wiedemann 99 (aplicado para rodovias e vias rurais). O funcionamento desses modelos se dá por um veículo mais rápido (seguidor) que desacelera ao encontrar um veículo mais lento (líder) à frente.

O motorista que segue o veículo da frente ajusta sua velocidade de acordo com a velocidade do carro à frente, resultando em um ciclo de aceleração e desaceleração (BETHONICO, 2016).

O modelo de *Gap acceptance* pode ser aplicado empregando regras de prioridade ou realizando os conceitos de áreas de conflito. O software possibilita que o usuário estabeleça os movimentos a terem preferência de passagem, colocando faixas de retenção virtuais na via secundária e definindo uma brecha mínima para permitir a entrada na corrente de tráfego. (CUNTO; GRANGEIRO LOUREIRO, 2011).

Quanto ao *lane changing*, são considerados três aspectos fundamentais: primeiro, é verificado se o motorista deseja realizar a mudança, por exemplo, quando o veículo à frente na faixa atual está mais lento. Em seguida, são examinadas as condições da faixa de destino para garantir que ela ofereça melhores condições em comparação com a faixa atual. E por fim, é analisada a segurança da manobra de mudança de faixa. Se a análise desses três aspectos indica que a mudança traz benefícios ao motorista, a manobra é então efetuada. Vale ressaltar que todas essas considerações são de extrema importância para garantir que o condutor realize a manobra sem causar acidentes na via. (BARCELÓ, 2010).

Os modelos comportamentais descritos nesta seção visam representar o comportamento dos motoristas. No entanto, devido à complexidade do fator humano no tráfego, algumas características não podem ser descritas com total precisão. Assim, para avaliar a qualidade dos resultados de um cenário estudado, a simulação é realizada múltiplas vezes, a fim de obter um comportamento médio dos motoristas.

Apesar disso, é essencial ferramentas estatísticas para analisar o comportamento das simulações e comparar esses resultados com as propostas de melhoria para a área estudada. Com esse objetivo, a próxima seção aborda alguns testes estatísticos pertinentes para a análise dos resultados obtidos nas simulações.

2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS A SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

As análises estatísticas constituem ferramentas fundamentais para a coleta, análise e interpretação de dados, possibilitando a realização de modificações e identificação de padrões entre as variáveis. Entre essas técnicas estão a análise descritiva, as interferências estatísticas, a regressão, a correlação, a análise de variância e a modelagem estatística. Por meio dessas ferramentas, é viável sintetizar

as características dos dados, testar hipóteses e desenvolver modelos matemáticos que descrevem comportamentos específicos.

Na engenharia de tráfego, a aplicação de métodos estatísticos é essencial para a análise do fluxo de veículos, a modelagem de comportamentos, a avaliação da eficácia de sistemas de controle e o exame de padrões de acidentes. Esses métodos são indispensáveis para o planejamento de transportes, uma vez que permitem prever os impactos de modificações na infraestrutura e contribuem para a melhoria da eficiência dos sistemas de transportes.

Para melhor elucidar o conceito de distribuição de dados, é relevante destacar seu conceito e ocorrência. Conhecida também como distribuição de frequências, a distribuição de dados é definida por Field (2009) como uma representação gráfica que ilustra quantas vezes cada valor de um conjunto de dados ocorre. Normalmente é apresentada em forma de um histograma que, quando distribuído simetricamente em torno de um ponto central, é considerado como um histograma de distribuição normal.

No âmbito da estatística, a distribuição de frequências, a natureza dos dados e o tipo de amostras envolvidas são fatores cruciais para compreender o comportamento dos dados analisados. Além disso, a realização de testes estatísticos que descrevam esse comportamento é de suma importância. Seguindo o passo a passo de análise de distribuição, conhecimento de natureza e tipo de amostra, para aplicar um teste estatístico inicialmente é imprescindível determinar o tipo de dado em análise, distinguindo entre quantitativo e qualitativo. A análise de normalidade é relevante apenas para dados quantitativos, uma vez que não se aplica aos dados qualitativos. Em seguida, deve-se avaliar qual distribuição melhor caracteriza o conjunto de dados analisados. Por fim, é necessário considerar se as amostras são dependentes, ou seja, inter-relacionadas ou independentes.

No estudo em questão são explorados os testes estatísticos de Shapiro-Wilk para verificar se os dados em amostras pequenas seguem uma distribuição normal. O teste T-Student é usado para verificar se duas amostras que seguem uma distribuição normal, possuem estatisticamente a mesma média. E o teste de Wilcoxon para comparar medianas entre amostras quando a função de probabilidade não é conhecida, proporcionando uma análise não paramétrica.

2.5.1. Teste de Normalidade Shapiro-Wilk

Proposto em 1965 por Shapiro e Wilk, o teste de normalidade tem como finalidade avaliar se uma amostra de dados se aproxima ou não de uma distribuição normal. Para isso, o teste compara a amostra analisada com uma amostra normal e é originalmente restrito para grupos maiores que 50 amostras. (NIST, 2024). Para isso, é calculada uma estatística W , associada a um valor p . Se o valor p for inferior ao nível de significância (pré-estabelecido como 5%) conclui-se que a amostra apresenta um desvio significativo em relação à normalidade.

O teste é realizado através de um valor W , calculado como:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

- \bar{x} : é a média da amostra;
- $x_{(i)}$: é o i -ésimo menor valor da amostra;
- a_i : é um coeficiente que depende da distribuição normal padrão e é calculado com base em propriedades da distribuição;
- W : é a estatística calculada;
- n : é o número de elementos na amostra.

2.5.2. Teste de Normalidade T student

Aplicado desde 1908, o teste t student foi desenvolvido por William Sealy Gosset e é uma ferramenta estatística usada para comparar as médias de duas populações, verificando se são significativamente diferentes. Amplamente utilizado em cenários de comparação, o teste possui duas principais variações: teste t para dados pareados (dependentes) dados não pareados (independentes). No caso de dados pareados os valores estão relacionados, enquanto em dados não pareados as amostras podem possuir tamanhos diferentes e não há correspondência direta entre os dados. (NIST, 2024).

O primeiro passo para aplicar o teste t student é verificar quais serão as hipóteses. A hipótese nula (H_0) indica que não há diferença nas amostras, enquanto a hipótese alternativa (H_1) sugere que há uma diferença significativa entre elas. Após

estabelecer as hipóteses, deve-se identificar a natureza das amostras, verificando se são dependentes ou independentes, para seleccionar o cálculo do valor t o para o modelo.

A distribuição t student graficamente também segue um formato de sino e é relativamente parecida com a distribuição normal. Em seu cálculo, quando a amostra é independente são consideradas três variáveis: a média, o desvio padrão e o tamanho da amostra, conforme fórmula a seguir.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3)$$

- \bar{x}_1 : é a média da amostra;
- s : é o desvio-padrão da amostra;
- n : é o tamanho da amostra.

Já quando a amostra analisada é caracterizada como depende, aplica-se o seguinte cálculo:

$$t = \frac{\bar{D}}{\frac{s_D}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

- \bar{D} : é a média das diferenças entre os pares;
- s_D : é o desvio-padrão das diferenças entre as amostras.

Em seguida, após encontrar o valor t verifica-se o grau de liberdade para validar ou não as hipóteses definidas. O grau de liberdade pode ser calculado da seguinte forma:

$$gl = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (5)$$

- s : é o desvio-padrão;
- n : é o tamanho da amostra.

Por fim, analisa-se através da tabela de distribuição t se o valor crítico e o p-valor correspondem ao nível de significância $\alpha = 0.05$, conforme imagem 3. Se o valor t for maior que o valor crítico ou se p-valor for menor que α , rejeita-se a hipótese nula (H_0). Caso contrário, as médias são consideradas iguais.

2.5.3. Teste Wilcoxon Pareado

Para casos nos quais não é possível inferir o tipo de distribuição de probabilidade que os dados seguem, é possível verificar a semelhança estatística entre as médias utilizando o teste da soma de postos de Wilcoxon, ou teste de Mann-Whitney. De acordo com Devore (2014) considerando X_1, \dots, X_m e Y_1, \dots, Y_n como duas amostras aleatórias independentes com médias μ_1 e μ_2 , o teste consiste em combinar as amostras X e Y , organizando as observações em ordem crescente e atribuindo postos, com a menor observação recebendo posto 1 e a maior recebendo o posto $m + n$.

Nesse sentido, o teste se inicia com a combinação e organização das amostras. Após isso, são atribuídos postos para cada observação de forma sequencial, como: menor valor da amostra recebe posto 1, segundo menor valor da amostra recebe posto 2 e assim por diante. Por fim, é realizado o cálculo para encontrar a estatística W , conforme fórmula abaixo.

$$W = \sum_{i=1}^m R(X_i) \quad (6)$$

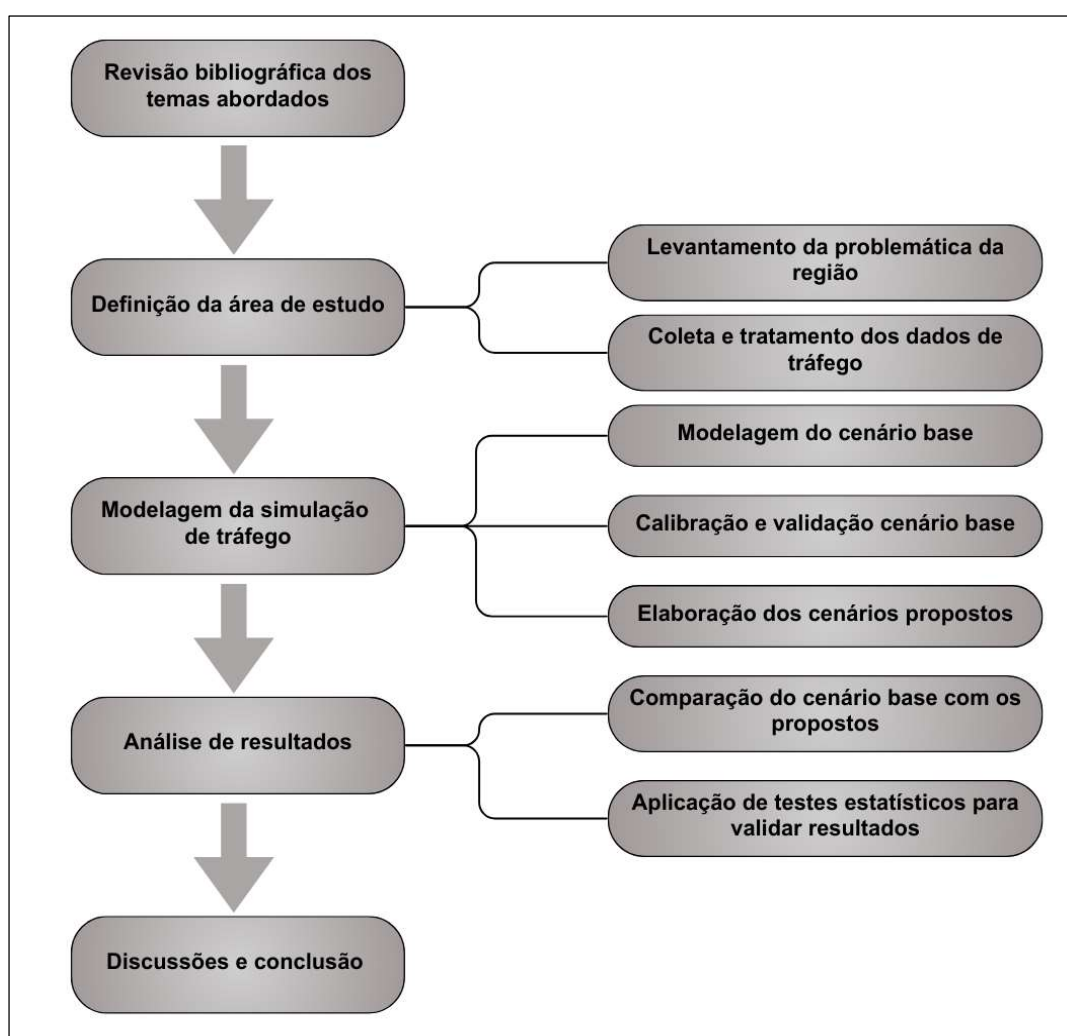
- $R(X_i)$ é o posto atribuído ao valor X_i na amostra combinada;
- m é o tamanho da amostra X .

De forma sucinta, o teste realiza a diferença de antes e depois da intervenção na amostra, atribuindo postos às observações e verificando se os resultados são consistentes com as hipóteses H_0 ou H_1 pré-estabelecidas de acordo com o problema.

3. METODOLOGIA

A metodologia para alcançar os objetivos deste trabalho foi, inicialmente, uma revisão bibliográfica sobre os estudos de Engenharia de tráfego e suas aplicações, bem como, uma pesquisa sobre medidas de desempenho e análises estatísticas utilizadas para validar os resultados. Na Figura 5 é apresentado o fluxograma das etapas da metodologia utilizada.

Figura 5: Etapas da metodologia do trabalho



Fonte: A autora (2024)

A pesquisa bibliográfica desempenha o papel de fundamentar os principais conceitos abordados na elaboração da pesquisa, utilizando como base estudos já realizados sobre as temáticas em questão.

3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo para o presente trabalho foi definida devido aos frequentes congestionamentos na região e à falta de soluções eficazes para esse problema. Além da área selecionada ser a principal saída de vários bairros da região, o volume do fluxo ser alto nos horários pico, as ocorrências de acidentes e o conhecimento da pesquisadora do local observado também foram relevantes para a escolha dos cruzamentos.

Na seleção de uma região para estudo, é fundamental que a obtenção de dados como tempos semafóricos, movimentos permitidos e proibidos, largura e quantidade de faixas, assim como volumes de tráfego devem ser de fácil acesso, pois sustentam a formulação das alternativas de soluções para o cruzamento. A etapa de levantamento de dados será mais bem definida na seção seguinte.

3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Conforme descrito acima, o levantamento de dados é crucial para alimentar a simulação e representar de modo aproximado a realidade da área do estudo. Dentre os dados relevantes para direcionar uma pesquisa de tráfego, estão o fluxo e velocidade do tráfego na região, largura e quantidade de faixas, tempos semafóricos e normas de circulação.

Alguns desses dados podem ser levantados de modo visual ou com auxílio de câmeras e drones, como por exemplo: a contagem de tráfego. Informações mais específicas como tempos e estágios semafóricos precisam ser disponibilizados pelos órgãos responsáveis pela via. Já informações de infraestrutura e circulação, de mais fácil obtenção, podem ser obtidas visualmente ou à distância através de mapas, quando os mesmos se encontram atualizados.

3.3. CALIBRAÇÃO DA REDE

Representar uma região através de modelagem implica em buscar reproduzir sua realidade da maneira mais fidedigna possível. Embora exista uma margem de erro, quanto mais próximo o cenário estiver da realidade, maior será a precisão dos resultados simulados. Os modelos de microssimulação de tráfego são compostos por

variados submodelos e cada um deles possuem múltiplos parâmetros com alta complexidade de dados. Por conta disso, muitos estudos de tráfego utilizam dados agregados como: tempo de viagem, fluxo, velocidade ou comprimento de fila, realizando a calibração do modelo para que os dados de saída sejam semelhantes aos dados observados (HOLLANDER E LIU, 2008).

Nesse contexto, a quantidade de parâmetros selecionados para análise impacta diretamente a solução. Isso ocorre porque, ao utilizar uma quantidade menor de parâmetros, uma análise mais detalhada em cima de cada um deles e suas respectivas variações pode ser realizada. Para calibrar o presente estudo foi aplicado o cálculo do Fator Hora Pico (FHP).

3.4. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Com o cenário atual calibrado, buscando melhorar a fluidez do cruzamento através de medidas de desempenho, foram elaborados três cenários alternativos para implementação, posteriormente usados a fim de comparação dos resultados de saída e desempenho na simulação. O primeiro cenário alternativo proposto consiste na proibição de conversões à esquerda no cruzamento da rua Copacabana com Anita Garibaldi, diminuindo a quantidade de estágios semaforicos do cruzamento de 3 estágios para 2 estágios somente.

Já o segundo cenário propõe-se a construção de uma ponte na rua Barbacena, interligando a via oeste com a leste, atualmente separadas por algumas árvores e um pequeno rio, para posteriormente implementar um binário entre a rua Barbacena e a rua Anita Garibaldi.

Para o terceiro cenário, propõe-se uma obra de maior dimensão, realizando a abertura de uma nova via no contorno ferroviário, iniciando-se na rua Ijuí até a rua Copacabana. Após a construção, sugere-se a alteração de sentidos das vias, retirando o semáforo do cruzamento e implementando um binário na nova via com a rua Anita Garibaldi.

3.5. RESULTADOS E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

Após a definição dos cenários propostos a partir do base, o seguinte passo foi efetuar uma análise comparativa entre os cenários propostos e cenário base,

confrontando parâmetros de desempenho oriundos da simulação de tráfego, como: fila média, fila máxima e atraso de veículos (delay).

Com esses dados, foi possível realizar uma nova validação através da aplicação de análises estatísticas como: Teste Shapiro-Wilk e T Student, em busca de analisar minuciosamente os resultados e as diferenças entre eles.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

O presente capítulo tem por objetivo explorar os dados descritos no capítulo 3, bem como apresentar os cenários simulados e seus respectivos resultados.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com dados do IBGE (2024), Joinville é a cidade mais populosa de Santa Catarina, superando Florianópolis, a capital do estado. Além de sua vasta extensão territorial, destaca-se por seu polo industrial concentrado principalmente na zona norte da cidade.

Esse fator resulta em um fluxo diário significativo de trabalhadores que atravessam a cidade diariamente, no trajeto entre suas residências e locais de trabalho. Isto se aplica também aos cruzamentos analisados, visto que a rua Anita Garibaldi é a principal saída de pelo menos 3 bairros da região: Morro do Meio, Nova Brasília e São Marcos, em direção ao centro e norte da cidade.

Conforme dados históricos do IBGE, o bairro Nova Brasília já apresentou ocupação no final da década de 1960. Os bairros Morro do Meio e São Marcos foram adensados por volta da década de 1990. Segundo o levantamento Cidade em dados (2024), a população do Morro do Meio em 2022 era de 11.659 habitantes, Nova Brasília contava com 15.203 habitantes e São Marcos possuía 3.144 habitantes. Assim, aproximadamente 30.006 moradores desses bairros são impactados pelo congestionamento da Rua Anita Garibaldi, principal via de acesso à região.

Informações coletadas pela Secretaria de Pesquisa e Planejamento Urbano – SEPUR, indicam que a Rua Anita Garibaldi ocupa o 10º lugar no ranking das ruas com maiores congestionamentos de Joinville. Em relação aos acidentes, a via está no 22º lugar, com cerca de 280 ocorrências registradas entre 2016 e 2023. Portanto, tornou-se imprescindível a realização deste estudo em busca de uma solução para essa via, que possui grande importância para a região.

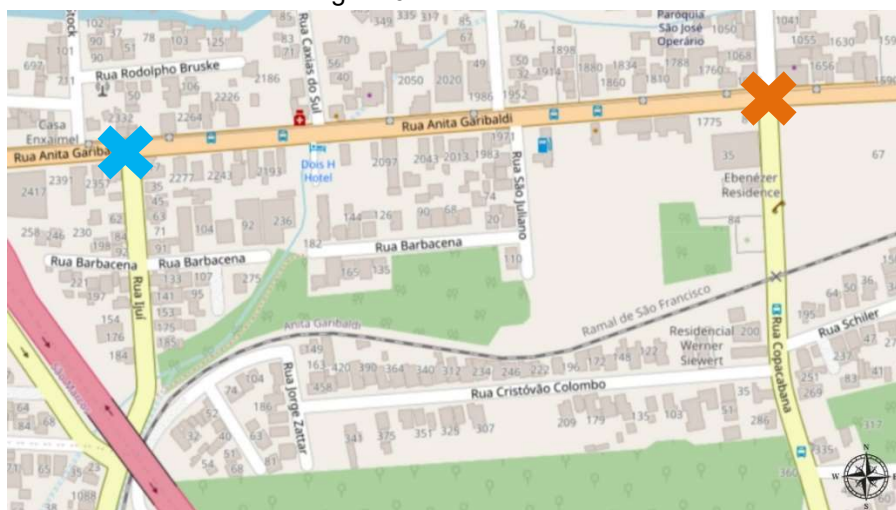
Dessa forma, para a pesquisa foi selecionado dois cruzamentos estratégicos da região o da rua Ijuí com a rua Anita Garibaldi e o cruzamento da rua Copacabana com a rua Anita Garibaldi. Esses pontos registram altos volumes de tráfego nos horários de pico matutino e vespertino, devido à sua função como principal via de acesso dos bairros vizinhos em direção ao centro e norte da cidade. Para uma análise

ampla da rede, também foram coletados dados do cruzamento da rua Independência com a rua Max Heiden.

Os dados de contagem volumétrica das interseções analisadas foram disponibilizados pela Secretaria de Pesquisa e Planejamento Urbano (SEPUR) da cidade e os dados semafóricos disponibilizados pelo Departamento de Trânsito de Joinville – DETRANS.

Na Figura 6 apresenta-se a região através do mapa, onde na cor azul claro é representado o cruzamento 1 da Rua Anita Garibaldi com a rua Ijuí e na cor laranja o cruzamento 2 da rua Anita Garibaldi com a rua Copacabana.

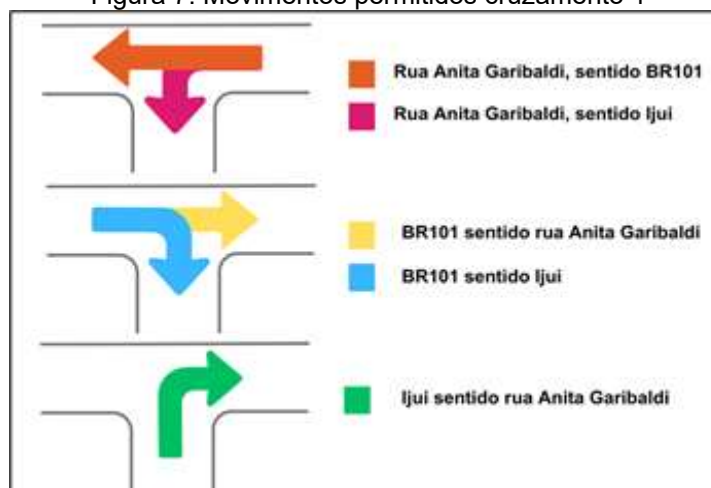
Figura 6: Área de Estudo



Fonte: Adaptado de OpenStreetMap (2024)

Na Figura 7, apresenta-se os movimentos permitidos no cruzamento da rua Anita Garibaldi com a rua Ijuí.

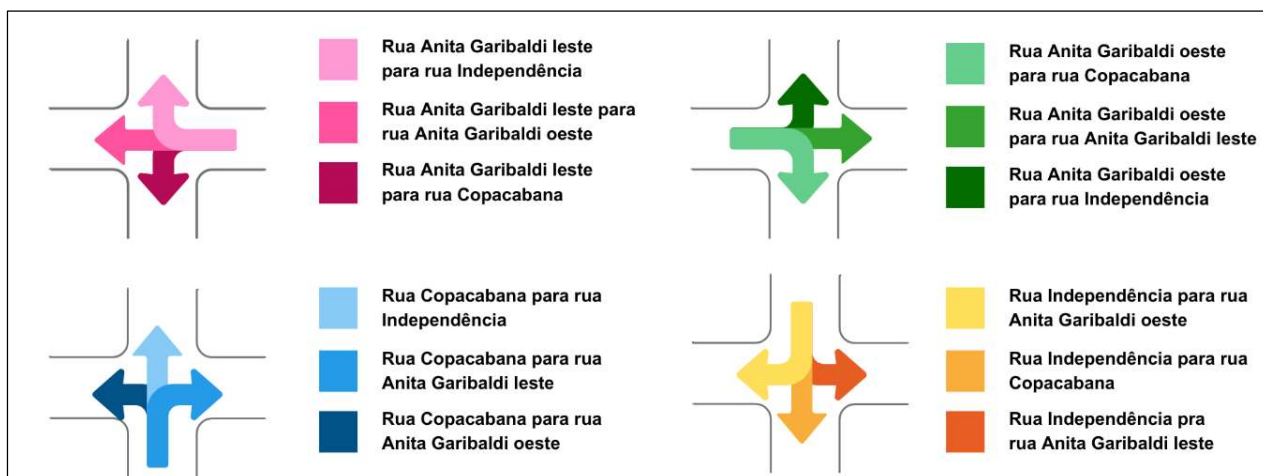
Figura 7: Movimentos permitidos cruzamento 1



Fonte: A autora (2024)

Já a Figura 8 apresenta os movimentos permitidos no segundo cruzamento, o cruzamento entre a rua Anita Garibaldi, a rua Copacabana e a rua Independência.

Figura 8: Movimentos permitidos cruzamento 2



Fonte: A autora (2024)

A Figura 9 mostra o volume total de tráfego de acordo com o sentido e horário dos cruzamentos em estudo.

Figura 9: Volume Total de tráfego: cenário base

VOLUME TOTAL DE TRÁFEGO			
Trecho	Sentido	Manhã	Tarde
Trecho Copacabana	Copacabana ↗ Anita Centro	183	120
	Copacabana ↕ Independência	728	562
	Copacabana ↖ Anita Bairro	379	285
	Independência ↘ Anita Bairro	79	94
	Independência ↙ Copacabana	297	609
	Independência ↵ Anita Centro	19	57
	Anita Bairro ↔ Anita Centro	716	1116
	Anita Bairro → Anita Centro	738	958
	Anita Bairro ↘ Copacabana	70	268
	Anita Bairro → Independência	52	107
	Anita Centro ↖ Independência	18	13
	Anita Centro ↙ Copacabana	65	143
Trecho Ijuí	Ijuí ↗ Anita Centro	1888	1974
	BR101 → Anita Centro	283	462
	BR101 ↘ Ijuí	155	317
	BR101 ↔ Anita Centro	1713	1068
	Ijuí ↙ Anita Centro	525	1275

Fonte: A autora (2024)

De acordo com a Figura 9, na hora pico das 07:00 às 08:00, horário principal dos deslocamentos destinados à trabalho, ocorre o maior fluxo de veículos no cruzamento da rua Ijuí, gerando congestionamentos. Ademais, com o rápido desenvolvimento dos bairros na região, as saídas do bairro sentido centro começam

a ser insuficientes para atender a demanda, exigindo atenção e soluções viárias em busca de melhor fluidez e diminuição de atrasos.

4.2. MODELAGEM E CALIBRAÇÃO DO CENÁRIO BASE

A modelagem iniciou na escolha do software de simulação VISSIM devido à sua incorporação dos modelos comportamentais, e prosseguiu com a elaboração do cenário base, adicionando no VISSIM dados reais do cenário como: largura e número de faixas, sinalizações e assim por diante. Para em seguida, ser inserido na rede os dados do fluxo de tráfego e dados semaforicos.

Quanto a aquisição dos dados de tráfego, Tabela 3, foram coletados os dados através da contagem de tráfego por meio de vídeos das câmeras de segurança da cidade, disponibilizadas pela Secretaria de Pesquisa e Planejamento urbano – SEPUR e pelo Estudo de Impacto de Vizinhança – EIV de 2023, selecionando o dia de semana de quarta-feira para análise, nas datas descritas conforme tabela a seguir.

Tabela 3: Dados de tráfego

CRUZAMENTO	SENTIDO	MODO DE CONTAGEM	DATA
Cruzamento rua Ijuí com rua Anita Garibaldi	Todos os sentidos permitidos.	Contagem através das câmeras de segurança da cidade.	25 de setembro de 2024
Cruzamento rua Anita Garibaldi com rua Copacabana.	Todos os sentidos permitidos.	Contagem pronta realizada pelo EIV de 2023.	6 de dezembro de 2023
Cruzamento rua Max Heiden com rua Independência.	Todos os sentidos permitidos.	Contagem através das câmeras de segurança da cidade.	25 de setembro de 2024

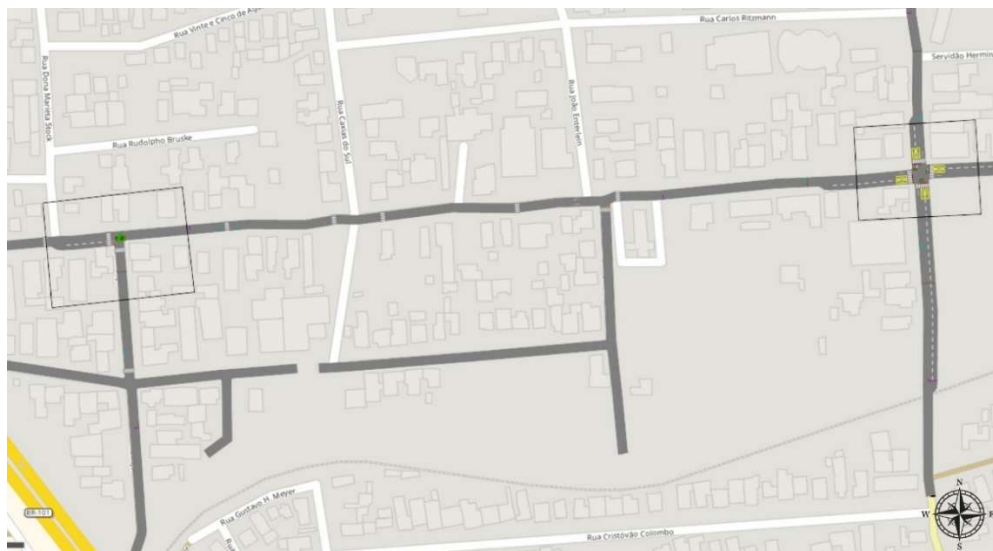
Fonte: A autora (2024)

A contagem foi volumétrica e classificatória, separando as classes de veículos como: veículos leves, veículos pesados, motos e ônibus. Quanto ao tempo de contagem foi selecionado o período de duas horas nos horários pico da manhã das 7h às 9h e da tarde entre 17h e 19h.

Embora o cruzamento 1 da rua Anita Garibaldi com a rua Ijuí e o cruzamento 2 da rua Anita Garibaldi com a rua Copacabana e rua Independência sejam o foco do estudo, o cruzamento da rua Max Heiden com a rua Independência também foi relevante para a modelagem, tendo em vista que o tráfego da região impacta

diretamente no cruzamento 2. Desse modo, optou-se pela extensão da rede, conforme Figura 10.

Figura 10: Codificação da rede no VISSIM: Cenário Base



Fonte: A autora (2024)

Por conta da componente aleatória presente em vários simuladores de tráfego, optou-se por realizar 10 rodadas para cada cenário considerado no presente trabalho. Cada rodada foi executada em uma semente aleatória, desta maneira, avaliando-se um comportamento médio para cenário. Para avaliar o desempenho das alternativas propostas, foram escolhidas as medidas de desempenho de Fila Média, Fila Máxima Média e Atraso dos veículos.

A Fila Média representa a média, em metros, das filas formadas em todas as vias do cruzamento. A Fila Média Máxima consiste na média das maiores filas formadas no cruzamento. Já o Atraso dos Veículos representa a diferença entre o tempo que um veículo leva para realizar um trajeto dentro do cruzamento, com o melhor tempo possível para realizá-lo, ou seja, o tempo adicional que um veículo levou para concluir sua rota. Assim, após as 10 rodadas para o cenário base, foram obtidos os resultados, apresentados na Figura 11.

Desse modo, pode-se analisar que o cenário atual demonstra uma média alta de congestionamentos, principalmente no cruzamento da rua Copacabana.



Embora o cruzamento da rua Copacabana apresente maiores filas, tanto na hora pico da manhã quanto na hora pico da tarde, o comportamento das medidas de Fila Média, Fila Máxima Média e Atraso são similares. Entretanto, o cruzamento da

Ijuí apresenta diferenças significativas nas medidas, entre os turnos analisados, de aproximadamente 30 metros de fila e 50 segundos de atraso no horário pico vespertino.

Figura 11: Resultados simulação: Cenário base

Cenário base - Trecho Copacabana				Cenário base - Trecho Ijuí			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	248,33	507,68	77,93	1	72,70	305,87	94,68
2	243,01	506,77	72,03	2	69,95	305,67	92,23
3	246,21	508,05	83,37	3	82,89	281,21	111,58
4	264,14	507,70	100,80	4	87,23	306,93	112,93
5	244,74	506,46	77,33	5	70,92	306,26	95,03
6	246,57	506,10	79,71	6	75,59	307,20	99,50
7	241,29	507,30	74,42	7	70,63	305,25	91,39
8	242,48	507,33	73,71	8	76,17	307,17	102,86
9	246,37	507,32	74,55	9	70,55	306,93	94,35
10	249,08	506,63	73,45	10	89,62	305,85	120,44
MÉDIA	247,22	507,13	78,73	MÉDIA	76,63	303,83	101,50

Cenário base - Trecho Copacabana				Cenário base - Trecho Ijuí			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	267,33	507,47	79,50	1	109,24	315,67	145,50
2	258,76	506,08	78,02	2	108,57	315,22	152,88
3	250,13	507,13	81,88	3	106,82	314,91	158,94
4	251,55	505,85	78,98	4	110,04	315,88	146,69
5	259,21	506,37	78,06	5	108,71	315,80	144,02
6	254,24	507,98	78,87	6	107,49	314,96	150,96
7	265,69	507,72	76,99	7	108,59	315,22	138,70
8	261,31	507,09	81,67	8	109,96	316,18	158,23
9	263,20	508,01	76,81	9	107,68	316,19	149,34
10	261,33	506,08	81,33	10	108,29	314,87	169,19
MÉDIA	259,28	506,98	79,21	MÉDIA	108,54	315,49	151,45

 Hora pico manhã - 7h às 9h	 Hora pico tarde- 17h às 19h
--	---

Fonte: A autora (2024)

Isso se dá devido ao pico da manhã possuir maior tráfego no sentido bairro para o centro e norte da cidade, enquanto no pico da tarde o comportamento se altera, possuindo tráfego em ambos os sentidos, o que causa lentidão no cruzamento.

Além disso, para realizar a calibração do cenário base foi aplicado o cálculo do Fator Hora Pico (FHP), analisando os dados coletados do cenário real com os dados aplicados pelo VISSIM.

Em razão da contagem de tráfego ter sido realizada analisando o período de duas horas em cada hora pico, matutino e vespertino, separada em intervalos de 15 min, foi possível perceber diferentes comportamentos no fluxo de veículo. Isto porque, alguns intervalos em minutos possuem maior volume do que outros, embora ocorram na mesma faixa hora. Diante disso, foi realizado o cálculo do fator hora pico (FHP)

com os dados coletados na contagem, a fim de encontrar o intervalo de maior volume de fluxo, conforme a Figura 12.

Figura 12: Resultados FHP: Contagem

Hora pico	Trecho	VHP TOTAL	V15máx	Intervalo 15máx	FHP
07:00 - 08:00	Ijuí	2558	667	07:15 - 07:30	0,96
08:00 - 09:00		2006	558	08:00 - 08:15	0,90
17:00 - 18:00		2748	843	17:30-17:45	0,81
18:00 - 19:00		2348	653	18:00 - 18:15	0,90
07:00 - 08:00	Copacabana	1675	452	07:30 - 07:45	0,93
08:00 - 09:00		1669	445	08:15 - 08:30	0,94
17:00 - 18:00		2155	588	17:30 - 17:45	0,92
18:00 - 19:00		2177	568	18:00 - 18:15	0,96

Fonte: A autora (2024)

Esse fator demonstra um desafio do software utilizado, por não ser possível realizar a inclusão de veículos separados por intervalos por minutos, apenas como veículos por hora. Isto diminui o nível de representação da rede, tendo em vista que a quantidade de veículos coletada por hora será distribuída, não apresentando de forma realista o intervalo de maior congestão, conforme Figura 13.

Figura 13: Resultados FHP: VISSIM

Hora pico	Trecho	VHP TOTAL	V15máx	Intervalo 15máx	FHP
07:00 - 08:00	Ijuí	868,6	246	07:00 - 07:15	0,88
08:00 - 09:00		847,7	214,2	08:30 - 08:45	0,99
17:00 - 18:00		873,7	258,4	17:00 - 17:15	0,84
18:00 - 19:00		773,9	202,1	18:15 - 18:30	0,96
07:00 - 08:00	Copacabana	2171,8	573,2	07:00 - 07:15	0,95
08:00 - 09:00		2094,2	533,4	08:30 - 08:45	0,98
17:00 - 18:00		2237,6	565,2	17:30 - 17:45	0,99
18:00 - 19:00		2159,5	566,9	18:00 - 18:15	0,95

Fonte: A autora (2024)

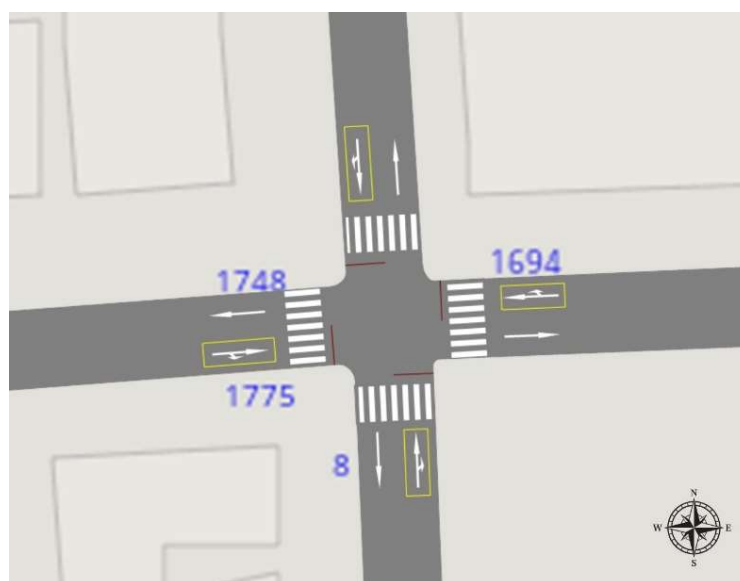
4.3. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Os cenários propostos consistem em alternativas que podem auxiliar na redução dos congestionamentos da via. A proposta inicial sugerida foi a retirada de

conversões à esquerda no cruzamento da rua Copacabana, Anita Garibaldi e Independência, mantendo somente os sentidos seguir em frente e conversão à direita, conforme Figura 14.

Embora o primeiro cenário alternativo reduza um estágio de semáforo, sua problemática se encontra nos motoristas que desejam realizar a conversão à esquerda e com sua proibição, terão de encontrar rotas alternativas, aumentando a viagem e tempo de trajeto desses condutores.

Figura 14: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 1



Fonte: A autora (2024)

Por exemplo, veículos que desejam da Anita Garibaldi Oeste, subir para a rua Independência, terão de passar reto no cruzamento e entrar na rua Max Heiden para então, acessar a via Independência (seta em azul). Condutores que desejam ir da rua Copacabana em direção ao bairro Nova Brasília, terão de seguir reto no cruzamento e utilizar a próxima esquerda para efetuar sua rota (seta em vermelho), e assim por diante, como demonstra a Figura 15.

Após realizar as 10 rodadas da simulação, foi possível obter os seguintes resultados dos parâmetros analisados, descritos na Figura 16. Embora tenha reduzido os valores dos parâmetros de desempenho, a melhoria ainda é pequena com a aplicação desta proposta.

Figura 15: Problemática cenário alternativo 1



Fonte: A autora (2024)

Figura 16: Resultados simulação: Cenário alternativo 1

Cenário1 - Trecho Copacabana (Conversões)				Cenário 1 - Trecho Ijuí (Conversões)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	176,98	504,39	47,06	1	108,52	305,71	36,76
2	181,99	504,54	47,86	2	104,08	305,85	33,80
3	174,93	505,86	46,14	3	105,38	279,48	33,43
4	178,90	506,35	47,23	4	108,75	304,47	36,78
5	175,44	504,66	47,62	5	106,40	306,64	37,40
6	180,11	505,53	47,62	6	109,12	304,58	38,44
7	174,76	506,34	46,16	7	108,36	304,93	37,76
8	179,41	504,44	47,69	8	110,75	306,24	36,01
9	177,58	506,89	47,96	9	110,83	307,21	35,39
10	180,49	506,22	47,85	10	105,90	291,74	35,97
MÉDIA	178,06	505,52	47,32	MÉDIA	107,81	301,69	36,17

Cenário1 - Trecho Copacabana (Conversões)				Cenário 1 - Trecho Ijuí (Conversões)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	259,34	505,96	54,39	1	91,90	313,84	31,58
2	260,12	505,86	53,96	2	106,63	312,89	30,63
3	262,43	505,20	53,86	3	109,42	315,21	31,77
4	258,62	504,95	53,14	4	109,20	313,81	31,19
5	260,46	504,28	53,94	5	111,31	313,79	32,76
6	255,14	505,14	54,00	6	111,04	313,57	33,14
7	253,36	504,09	53,85	7	112,88	313,51	32,24
8	262,39	504,92	53,71	8	112,08	314,54	34,69
9	260,03	504,66	54,11	9	110,50	315,07	33,17
10	253,45	504,20	52,90	10	109,40	314,10	31,96
MÉDIA	258,53	504,93	53,79	MÉDIA	108,44	314,03	32,31

■ Hora pico manhã - 7h às 9h
 ■ Hora pico tarde- 17h às 19h

Fonte: A autora (2024)

No cenário alternativo 1, o cruzamento da Ijuí melhorou no turno vespertino em 9%. Já a Copacabana possuiu uma melhora de 28% no turno matutino e 2% no turno vespertino em relação ao cenário base.

Já o segundo cenário alternativo, Figura 17, visa a implementação de um binário, unificando os sentidos das vias, transformando o tráfego de duplo sentido para

sentido único da rua Anita Garibaldi para o bairro Nova Brasília e da rua Barbacena para o Bairro Anita Garibaldi.

Para a implementação prática do cenário 2, é necessário a retirada de algumas árvores localizadas na rua Barbacena, circuladas em amarelo na Figura 18 construindo uma ponte em seu lugar para conectar a via oeste com a leste.

Figura 17: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 2



Fonte: A autora (2024)

Figura 18: Rua Barbacena cenário base



Fonte: Adaptado do google maps (2024)

Após rodar a simulação com a implementação deste cenário, Figura 19, os congestionamentos no cruzamento da rua Ijuí foram quase nulos devido à mudança de sentido da via, tornando-se apenas via de acesso ao bairro.

Desse modo, pode-se perceber que o segundo cenário simulado apresenta melhorias significativas, principalmente para o cruzamento da rua Ijuí, onde reduziu-se em 99% as medidas de Fila Média, Fila Máxima Média e Atraso. Já para o cruzamento da Copacabana, reduziu-se em 52% no turno matutino e 33% no turno vespertino.

Figura 19: Resultados simulação: Cenário alternativo 2

Cenário 2 - Trecho Copacabana (Binário barbacena)				Cenário 2 - Trecho Ijuí (Binário barbacena)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	119,05	450,51	45,53	1	0,63	44,53	4,87
2	124,16	449,25	49,99	2	0,50	34,66	4,70
3	116,55	450,10	50,09	3	0,72	37,93	5,65
4	120,91	450,96	50,22	4	0,49	30,86	5,19
5	112,95	449,23	46,94	5	1,43	51,40	6,13
6	117,76	442,77	49,04	6	1,26	47,15	6,31
7	114,08	443,45	45,05	7	0,79	42,92	5,47
8	120,62	449,35	47,97	8	1,03	49,14	5,40
9	122,70	449,77	51,02	9	0,52	29,72	5,26
10	122,41	449,89	47,97	10	0,79	29,04	5,35
MÉDIA	119,12	448,53	48,38	MÉDIA	0,82	39,74	5,43

Cenário 2 - Trecho Copacabana (Binário barbacena)				Cenário 2 - Trecho Ijuí (Binário barbacena)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	174,57	500,10	75,39	1	0,11	15,78	2,46
2	178,69	498,89	77,50	2	0,24	11,15	2,80
3	162,83	506,38	76,84	3	0,16	12,94	2,66
4	161,8	506,36	73,22	4	0,37	25,46	2,79
5	165,28	500,10	75,22	5	0,18	17,76	2,73
6	166,36	505,41	75,93	6	0,19	12,23	3,05
7	176,68	506,26	70,38	7	0,18	17,03	2,64
8	178,88	506,68	75,83	8	0,29	27,46	2,45
9	183,19	506,98	73,76	9	0,14	20,00	3,06
10	189,77	491,86	78,39	10	0,18	17,50	2,89
MÉDIA	173,81	502,90	75,25	MÉDIA	0,20	17,73	2,75

■ Hora pico manhã - 7h às 9h	■ Hora pico tarde- 17h às 19h
--	--

Fonte: A autora (2024)

O terceiro cenário simulado, após a execução das dez rodadas com a implementação do cenário alternativo 3, obteve-se os seguintes resultados apresentados na Figura 20. Embora tenha reduzido alguns pontos de congestionamento para o cruzamento Copacabana, a alteração apresentou melhora no fluxo de tráfego, porém os dados não se aproximam do nulo. Tendo em vista que a via já possui um grande volume de tráfego, com implementação de um binário na nova via com saída para a rua Copacabana, seu volume de fluxo será ainda maior.

Sendo assim, para esta melhoria, requer uma obra de maior complexidade, que consiste na abertura de uma nova via no contorno ferroviário, partindo da rua Ijuí até a rua Copacabana. Após a conclusão da obra, é realizada a alteração nos sentidos das vias, criando um binário entre a nova via e a rua Anita Garibaldi. A implementação deste binário tira a necessidade do semáforo no cruzamento, podendo ser substituído apenas por sinalizações viárias através de placas e pinturas asfálticas, substituição que auxilia na redução de filas, porém pode impactar no tráfego ao redor, tendo em vista que terá realocação de tráfego.

Figura 20: Codificação da rede no VISSIM: Cenário alternativo 3



Fonte: A autora (2024)

Após executar as dez rodadas com a implementação do cenário alternativo 3, obteve-se os seguintes resultados, apresentados na Figura 21. Embora tenha reduzido alguns pontos de congestionamento, para o cruzamento Copacabana a alteração apresentou melhora no fluxo de tráfego, porém os dados não se aproximam do nulo. Tendo em vista que a via já possui um grande volume de tráfego, com implementação de um binário na nova via com saída para a rua Copacabana, seu volume de fluxo será ainda maior.

Já para o cruzamento da rua Ijuí, as medidas analisadas reduziram em 98% com a implementação do cenário, tendo em vista a mudança do sentido da via como no segundo cenário alternativo. Para o cruzamento da Copacabana, a mudança reduziu as medidas de Fila Média, Fila Máxima Média e Atraso em 28% no pico da manhã e 31% no pico da tarde.

Figura 21: Resultados simulação: Cenário alternativo 3

Cenário 3 - Trecho Copacabana (Binário nova via)				Cenário 3 - Trecho Ijuí (Binário nova via)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	154,88	506,09	30,01	1	0,00	0,00	0,22
2	149,58	506,23	28,34	2	0,00	0,00	0,20
3	416,95	506,33	29,24	3	0,00	0,00	0,22
4	148,06	505,41	27,03	4	0,00	0,00	0,24
5	150,00	506,05	30,86	5	0,00	0,00	0,21
6	154,28	506,05	32,71	6	0,00	0,00	0,20
7	151,57	504,72	32,09	7	0,00	0,00	0,31
8	150,87	506,58	29,37	8	0,00	0,00	0,18
9	151,84	506,72	31,57	9	0,00	0,00	0,25
10	152,15	506,42	34,53	10	0,00	0,00	0,22
MÉDIA	178,02	506,06	30,58	MÉDIA	0,00	0,00	0,23

Cenário 3 - Trecho Copacabana (Binário nova via)				Cenário 3 - Trecho Ijuí (Binário nova via)			
Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso	Rodada	Fila Média	Fila Máxima Média	Atraso
1	176,78	507,09	20,67	1	0,14	10,49	2,15
2	177,20	504,60	19,95	2	0,52	32,98	3,06
3	177,03	505,68	20,63	3	0,97	58,20	3,29
4	179,25	506,65	21,82	4	0,72	42,16	2,94
5	179,33	506,43	20,69	5	2,90	126,38	3,69
6	177,11	504,59	22,72	6	2,51	78,20	3,50
7	176,97	506,03	23,27	7	1,44	32,40	2,88
8	185,14	507,02	22,90	8	0,53	37,23	2,85
9	177,95	506,04	21,91	9	1,41	70,85	3,39
10	179,83	506,77	22,68	10	0,66	42,02	3,01
MÉDIA	177,95	506,09	21,72	MÉDIA	1,18	53,09	3,08

■ Hora pico manhã - 7h às 9h
 ■ Hora pico tarde- 17h às 19h

Fonte: A autora (2024)

4.4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS CENÁRIOS

Após finalizar as dez rodadas da simulação com dez sementes aleatórias de cada cenário proposto, incluindo o cenário base, foram obtidos os resultados dos parâmetros de desempenho avaliados, conforme a Figura 22.

Figura 22: Resultados simulação: todos os cenários

Hora pico manhã - 7h às 9h - trecho Ijuí				Hora pico tarde - 17h às 19h - trecho Ijuí			
Cenários	Fila média	Fila Máxima média	Atraso	Cenários	Fila média	Fila Máxima média	Atraso
Cenário Base	76,63	303,83	101,50	Cenário Base	108,54	315,49	151,45
Cenário alternativo 1	107,81	301,69	36,17	Cenário alternativo 1	108,44	314,03	32,31
Cenário alternativo 2	0,82	39,74	5,43	Cenário alternativo 2	0,20	17,73	2,75
Cenário alternativo 3	0,00	0,00	0,23	Cenário alternativo 3	1,18	53,09	3,08

Hora pico manhã - 7h às 9h - trecho Copacabana				Hora pico tarde - 17h às 19h - trecho Copacabana			
Cenários	Fila média	Fila Máxima média	Atraso	Cenários	Fila média	Fila Máxima média	Atraso
Cenário Base	247,22	507,13	78,73	Cenário Base	259,28	506,98	79,21
Cenário alternativo 1	178,06	505,52	47,32	Cenário alternativo 1	258,53	504,93	53,79
Cenário alternativo 2	119,12	448,53	48,38	Cenário alternativo 2	173,81	502,90	75,25
Cenário alternativo 3	178,02	506,06	30,58	Cenário alternativo 3	177,95	506,09	21,72

■ Hora pico manhã - 7h às 9h
 ■ Hora pico tarde- 17h às 19h

Fonte: A autora (2024)

Os valores apresentados na Figura 22 correspondem à média das dez rodadas da simulação. É possível observar que o cenário base no cruzamento Ijuí possui um congestionamento considerável em ambos os horários pico, porém o cruzamento mais crítico do estudo é da rua Copacabana, com uma média de fila expressiva de 253,25 metros.

Quanto a performance dos cenários, para o cruzamento da rua Ijuí na hora pico da manhã o cenário que obteve melhor resultado foi o cenário alternativo 3, reduzindo em 76,63 metros a Fila Média, enquanto o cenário alternativo 2 resultou na redução de 75,81 metros. Já para o pico da tarde, o cenário alternativo 2 foi o de melhor desempenho, reduzindo a Fila Média em 108,34 metros. Para o cruzamento da rua Copacabana, tanto no turno matutino quanto vespertino, o cenário que mais se destacou foi o cenário alternativo 2, reduzindo em 128,10 metros de Fila Média no turno matutino e 85,47 metros no turno vespertino.

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Buscando uma análise minuciosa dos resultados da simulação, foi realizado uma análise estatística utilizando testes de normalidade de dados. A primeira etapa realizada foi a verificação do comportamento dos dados e como estavam distribuídos.

Para realizar essa análise foi aplicado o teste estatístico de Shapiro Wilk nos dados de cada cenário da simulação, conforme a Figura 23.

Ao comparar os cenários entre si, foi preciso verificar se ambos possuíam distribuição normal. Para as duplas comparativas de cenários que possuíam distribuição normal foi aplicado o teste T de Student, a fim de comparar a semelhança entre elas.

Para casos em que um cenário se comportava com distribuição normal e outro com distribuição não normal, ou casos em que a dupla comparativa de cenários não se comportou como distribuição normal foi aplicado o teste de Wilcoxon para análise de semelhanças. Das duplas comparativas foi possível identificar semelhanças entre alguns cenários, descritas na Figura 24.

Figura 23: Aplicação Teste Shapiro Wilk

Hora pico manhã - Teste Shapiro Wilk									
Trecho Ijuí		p-valor			Trecho Copacabana		p-valor		
Cenário	Fila Média	Fila MédiaMax	Atraso Médio	Cenário	Fila Média	Fila MédiaMax	Atraso Médio		
Cenário base	0,0375	0	0,0986	Cenário base	0,0027	0,7446	0,0016		
Distribuição	Não normal	Não normal	Normal	Distribuição	Não normal	Normal	Não normal		
Cenário 1	0,4923	0,0001	0,5973	Cenário 1	0,5360	0,1266	0,0616		
Distribuição	Normal	Não normal	Normal	Distribuição	Normal	Normal	Normal		
Cenário 2	0,1411	0,3243	0,6976	Cenário 2	0,6939	0	0,4339		
Distribuição	Normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Não normal	Normal		
Cenário 3	0,4634	0,0541	0,6940	Cenário 3	0,1024	0,3869	0,1114		
Distribuição	Normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Normal	Normal		

Hora pico tarde - Teste Shapiro Wilk									
Trecho Ijuí		p-valor			Trecho Copacabana		p-valor		
Cenário	Fila Média	Fila MédiaMax	Atraso Médio	Cenário	Fila Média	Fila MédiaMax	Atraso Médio		
Cenário base	0,8008	0,1798	0,8229	Cenário base	0,6607	0,2152	0,2763		
Distribuição	Normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Normal	Normal		
Cenário 1	0,0001	0,4996	0,7546	Cenário 1	0,1214	0,4665	0,1538		
Distribuição	Não normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Normal	Normal		
Cenário 2	0,1452	0,3622	0,5926	Cenário 2	0,5054	0,0115	0,6441		
Distribuição	Normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Não normal	Normal		
Cenário 3	0,4634	0,0541	0,6940	Cenário 3	0,1024	0,3869	0,1114		
Distribuição	Normal	Normal	Normal	Distribuição	Normal	Normal	Normal		

Fonte: A autora (2024)

Figura 24: Semelhanças estatísticas dos dados

Cenários	Parâmetro	Trecho	Hora pico	Teste aplicado	Resultado
Cenário 1 x Cenário 2	Atraso total	Copacabana	Matutino	T-Student	Semelhantes entre si
Cenário 1 x Cenário base	Fila Média	Copacabana	Vespertino	T-Student	Semelhantes entre si
Cenário 1 X Cenário base	Fila Média Máx	Ijuí	Matutino	Wilcoxon	Semelhantes entre si
Cenário 1 X Cenário base	Fila Média	Ijuí	Vespertino	Wilcoxon	Semelhantes entre si

Fonte: A autora (2024)

Quanto ao restante dos dados analisados, não se obteve semelhanças estatísticas com a aplicação dos testes. Sendo assim, as diferenças estatísticas entre os cenários indicam que, realmente eles diferem entre si, o que faz com que deva ser analisado qual benefício é mais importante para a implementação. Tendo em vista que, o cenário alternativo 2 apresentou a menor fila média máxima em relação ao cenário 3 no cruzamento da rua Ijuí, no período da tarde. Já para a o cruzamento da Copacabana na hora pico da tarde, o cenário 3 apresenta um menor atraso total.

Nesse contexto, como estatisticamente os resultados se mostram diferentes, vale decidir qual medida analisada possui um maior peso para a escolha de um dos cenários propostos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme as cidades se expandem, uma gestão eficaz e bom planejamento do tráfego urbano se torna cada vez mais essencial para uma mobilidade funcional. Nesse contexto, utilizar das ferramentas de tráfego disponíveis como os modelos de microsimulação, viabiliza as análises e estudos de alterações viárias. Porém vale ressaltar a importância da obtenção de dados como fluxo, tempos e estágios semaforicos entre outros parâmetros da via analisada. Para além disso, a calibração da rede, que é imprescindível para uma representação fidedigna do cenário estudado.

No presente estudo, os resultados obtidos com a modelagem microscópica do software VISSIM atingiram os objetivos. A análise de ambos os períodos de hora pico auxilia na compreensão do cenário em estudo, tendo em vista que é perceptível a mudança no comportamento dos fluxos e o período de maior congestionamento na área de estudo se dá na hora pico tarde, entre às 17:00 e 19:00 horas.

Referente aos cenários alternativos, vale ressaltar que a realocação de tráfego da região não foi considerada devido ao tamanho de rede estudada. Quanto aos resultados, o cenário 1 apresentou pequenas reduções tendo em vista que sua proposta era apenas da retirada de conversões à esquerda no cruzamento da Copacabana. O cenário 2 desempenhou melhor, apresentando redução de até 100 metros na Fila Média, o que resulta em uma melhor fluidez de tráfego nos cruzamentos. Referente ao cenário 3, na rua Ijuí seu impacto foi positivo, resultando as medidas de Fila bem como, reduzindo os atrasos. No cruzamento da Copacabana, a implementação também se mostrou eficaz, reduzindo as medidas em até 80 metros de Fila Média.

Nesse contexto, os resultados dos cenários propostos em busca da minimização dos congestionamentos apresentados no cenário atual, foram satisfatórios, reduzindo em cerca de 70 metros as filas no cruzamento da Ijuí no período matutino e cerca de 108 metros no período vespertino. Já no cruzamento da rua Copacabana, as reduções foram de 80 à 100 metros de Fila Média. Em relação aos atrasos, todos os cenários alternativos propostos reduziram. Desse modo, para os dados obtidos e a região analisada o segundo cenário alternativo foi a proposta de melhor desempenho geral na simulação.

Entretanto, vale uma análise das questões ambientais e de custos em relação à retirada da árvore na rua Barbacena, implementando uma ponte, assim como, nos

custos de planejar e pavimentar uma nova via no contorno ferroviário. Além disso, vale ressaltar a limitação do estudo microscópico de não demonstrar a realocação de tráfego, pois é importante também analisar o impacto no entorno como um todo, tendo em vista que pode melhorar em um ponto e ocasionar congestionamentos em outros cruzamentos do bairro.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros as seguintes abordagens, complementando o presente trabalho:

- A análise de emissão de poluentes do cruzamento atual e dos cenários propostos;
- Realizar o estudo aplicando a modelagem macroscópica, para estudar os impactos e a realocação de tráfego;
- Avaliar o impacto do cenário alternativo 3 com aplicação de semáforos;
- O estudo dos custos de implementação da ponte e da nova via do contorno ferroviário, realizando uma comparação entre ambas;
- Ampliar a rede codificada, incluindo o sistema ferroviário da rua Copacabana, que também pode influenciar no tráfego da região;
- O estudo ambiental para verificar como pode ser realizada a retirada das árvores da rua Barbacena.

REFERÊNCIAS

ADEBISI, AA **Uma revisão da diferença entre modelos de tráfego macroscópicos, microscópicos e mesoscópicos**. Florida A&M Univ., Tallahassee, FL, EUA, Tech. Rep , 2017.

ALKAISSI, Zainab Ahmed. Simulação de tráfego de interseção de fluxo contínuo com conversão à esquerda deslocada: um estudo de caso. **Journal of Engineering and Applied Science** , v. 69, n. 1, p. 39, 2022.

ARAÚJO, Alessandro Macêdo de. **Estimação da brecha crítica em interseções não semaforizadas utilizando simulação microscópica de tráfego**. 2018.

BARCELÓ, Jaume. **Fundamentals of traffic simulation**. Barcelona: Springer, 2010.

CHAVES, C. F. **Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de micro simulação de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação). Instituto Politécnico de Viseu. Portugal. 2017.

COELHO, Eduardo Cezar. **Avaliação dos níveis de congestionamento em vias arteriais com a utilização da micro-simulação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) - Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CUNTO, F. J. C.; GRANGEIRO LOUREIRO, C. F. **O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária**. TRANSPORTES, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 5–11, 2011. DOI: 10.14295/transportes. v19i3.527. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/527>. Acesso em: 23 nov. 2023.

DEMARCHI, S. H. **Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla**. Tese (Doutorado) — Programa de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de S. Carlos, USP, 2000.

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: 10 out. 2023.

DEVORE, Jay L.; CORDEIRO, Marcos Tadeu Andrade. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. Cengage Learning Edições Ltda., 2014.

EUGENIO, Andrea Christine B. et al. Avaliação de simulação de tráfego do intercâmbio proposto Commonwealth Avenue-East Avenue usando PTV VISSIM. Em: **2023 IEEE 15th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)** . IEEE, 2023. p. 1-6.

FIELD, A. N. D. Y. SPSS. **Discovering statistics using SPSS**. 2nd ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2009.

GUNES, Fatih; BAYRAKLI, Selim; ZAIM, Abdul Halim. Flow characteristics of traffic flow at signalized intersections and performance comparison using queueing theory. In: **2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)**. IEEE, 2020. p. 1-9.

HAFRAM, St Maryam. Calibração e validação de modelos microscópicos de simulação de tráfego VISSIM para planejamento aprimorado de capacidade de rodovias. **International Journal of Engineering** , v. 36, n. 8, p. 1509-1519, 2023.

HOLLANDER, Yaron; LIU, Ronghui. **Os princípios de calibração de modelos de microsimulação de tráfego**. Transporte , v. 35, p. 347-362, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. Pesquisa. Brasil. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/0>>. Acesso em: 12 out. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. Santa Catarina. Joinville. Panorama. Brasil. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>>. Acesso em: 27 de set. 2024.

LOPES, S. B. **Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte**. Dissertação — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

MAGAGNIN, Renata Cardoso; DA SILVA, Antônio Nélon Rodrigues. **A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana**. Transportes, v. 16, n. 1, 2008.

NORONHA, Henrique Dela Bruna et al. **Estudo comparativo de dois microssimuladores de tráfego-Aimsun e VISSIM**. 2016.

PAN, Fuquan et al. **Análise do impacto do monitoramento de violações de trânsito nas velocidades de veículos em estradas principais urbanas: tomando a China como exemplo**. Journal of advanced transportation , v. 2020, n. 1, p. 6304651, 2020.

PERO, Valéria; STEFANELLI, Victor. **A questão da mobilidade urbana nas metrópoles brasileiras**. Revista de economia contemporânea, v. 19, p. 366-402, 2015.

Prefeitura Municipal de Joinville. **Censo 2022 aponta que Joinville tem 616.323 moradores**. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/noticias/censo-2022-aponta-que-joinville-tem-616-323-moradores/#:~:text=Censo%202022%20aponta%20que%20Joinville%20tem%20616.323%20moradores%20%2D%20Prefeitura%20de%20Joinville>>. Acesso em: 10 out. 2023.

PTV Group. **PTV VISSIM**. Disponível em: <<https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-VISSIM>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PTV AG. (2015). VISSIM 8 Manual. Karlsruhe

SHESKIN, David J. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. Chapman and hall/CRC, 2003.

VASCONCELLOS, E. A. **Congestionamento no trânsito e financiamento da mobilidade – avaliação dos estudos no Brasil e das perspectivas metodológicas**, Revista dos Transportes Públicos, ANTP, v. 1, n.1, p. 08-28 jan-abril/ 2014.

VILARINHO, Cristina Alexandra Teixeira et al. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas**. 2008.

WOLSHON, Brian; PANDE, Anurag. **Traffic engineering handbook**. John Wiley & Sons, 2016.