

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

BRUNA MACHADO CORDEIRO

ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO EM ÁREA URBANA DA CIDADE  
DE CRICIÚMA USANDO SIMULAÇÃO

Joinville

2021

BRUNA MACHADO CORDEIRO

ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO EM ÁREA URBANA DA CIDADE  
DE CRICIÚMA USANDO SIMULAÇÃO

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

Orientadora: Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Joinville

2021

BRUNA MACHADO CORDEIRO

ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO EM ÁREA URBANA DA CIDADE  
DE CRICIÚMA USANDO SIMULAÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 20 de setembro de 2021.

**Banca Examinadora:**

---

Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes  
Orientadora

---

Dr. Helry Luvillany Fontenele Dias  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Engenheira Civil Caroline Paim Zanette  
Diretoria de Trânsito e Transportes de Criciúma

Dedico este trabalho aos meus avós, em especial,  
Fermino e Lealdina Machado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela perseverança para chegar até aqui, além de todas as pessoas que ele colocou no meu caminho nessa jornada.

Um agradecimento especial para minha família, que sempre me incentivou e apoiou em todos os momentos difíceis e desafiadores, vocês foram meu grande incentivo para ter força e coragem em cada desafio, aos meus pais, Irene e Ademir, meus irmãos, Karine e Lucas, meus avós Lealdina, Fermino, Izarina e João, vocês foram minha base, meu muito obrigada de coração.

Ao meu namorado Beto, agradeço por estar comigo nos momentos que mais precisei, por todo carinho, respeito e amor que cultivamos, obrigada por dividir sonhos e conquistas comigo.

Para as amigas que a Universidade me presenteou, meus sinceros agradecimentos por todo suporte, em especial, a Thálita, Loany, Yumi, Cibele, Larissa, Isadora e Vitória, vocês se tornaram minha família em Joinville e sempre estiveram comigo em momentos bons e ruins, vocês foram essenciais, sou muito grata pela amizade que cultivamos, obrigada por tanto!

Para todas minhas amigas de longa data, agradeço por estarem sempre presentes e compartilhar comigo tantos momentos especiais! Especialmente, a Kaori, Gabe, Rafaela, Gabrito, Bie, Paulinha, Camilla, Kalindi, Mirla e Thaísa, que nossa amizade continue sendo longa e duradoura.

A todos os colegas Engenheiros e à UFSC Joinville, tenho muito a agradecer pela diversidade de experiências vividas que me transformaram em uma pessoa melhor, sem dúvidas.

Muito obrigada a todos os Professores da UFSC Joinville, por todo conhecimento adquirido, sem vocês nada disso seria possível! Em especial, à minha orientadora, a Professora Dra. Christiane Wenck Fernandes pela paciência e suporte durante a realização deste trabalho.

Para todos os colegas e amigos que fiz durante o tempo de estágio na Diretoria de Trânsito e Transportes, deixo meu agradecimento, principalmente, à Engenheira Caroline Paim Zanette e ao Arquiteto Rodrigo Milanez Goularte, pela contribuição técnica e ensinamentos para realização deste trabalho.

## RESUMO

O modo como o uso do solo modifica e cria novas demandas relacionadas ao transporte, cria nas cidades uma necessidade constante de planejamento e otimização dos sistemas regidos pela mesma. Hoje, o uso de ferramentas de inovação, capazes de solucionar eventuais problemas da rede viária permite, principalmente, utilizar da melhor forma os recursos já disponíveis. A proposta apresentada neste trabalho, busca identificar uma área de gargalo do sistema de tráfego na região central do município de Criciúma e realizar estudos para sua melhor utilização, aplicando conhecimentos da engenharia de tráfego e de uma ferramenta de simulação. Realiza-se a comparação entre o cenário base e algumas propostas a serem avaliadas. Para a análise e simulação, foi utilizado o software de código aberto Simulation of Urban Mobility (SUMO), que permite a modelagem microscópica do sistema de tráfego proposto e avaliação dos resultados. Os resultados mostram que alterações de infraestrutura apresentam maiores reduções de filas e de atrasos, tornando estas as melhores alternativas de intervenções, apesar do alto custo de implantação e maior impacto aos usuários da rede.

**Palavras-chave:** Engenharia de tráfego. Sistema de tráfego. Simulação. SUMO.

## ABSTRACT

The way the soil is used modifies and creates new demands related to transportation, it creates in cities a constant need for planning and optimization of the systems governed by itself. Today, the use of innovative tools, capable of solving eventual problems of the road network, allows, mainly, to make the best use of the resources already available. The proposal presented in this work seeks to identify a bottleneck area of the traffic system in the central region of the city of Criciúma and to conduct studies for a better use, applying knowledges of traffic engineering and a simulation tool. A comparison is made between the base scenario and some proposals to be evaluated. The open source software Simulation of Urban Mobility (SUMO) was used for the analysis and simulation, which allows microscopic modeling of the proposed traffic system and evaluation of the results. The results found out that infrastructure changes have greater reductions in queues and delays, making these the best alternative interventions, despite the high cost of implementation and bigger impact on network users.

**Keywords:** Traffic engineering. Traffic system. Simulation. SUMO.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo dos Transportes.....	17
Figura 2 – Conflitos de uma interseção com prioridade e com uso da rotatória .....	23
Figura 3 – Movimentos em uma interseção com vias de mão única.....	24
Figura 4 – Consequências da implantação da sinalização semafórica .....	27
Figura 5 – Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica.....	28
Figura 6 – Registro de veículos do município de Criciúma .....	42
Figura 7 – Localização das interseções analisadas.....	43
Figura 8 – Vista da interseção 1 na perspectiva da aproximação B1 .....	43
Figura 9 – Distância aproximada entre as interseções estudadas .....	44
Figura 10 – Vista da interseção 2 na perspectiva da aproximação D2 .....	44
Figura 11 – Entrada dos veículos em fila de maneira inadequada .....	45
Figura 12 – Diagrama de movimentos interseção 1 .....	46
Figura 13 – Perfil horário dos movimentos veiculares da interseção 1 .....	47
Figura 14 – Diagrama de movimentos da interseção 2 .....	49
Figura 15 – Perfil horário dos movimentos veiculares da interseção 2.....	49
Figura 16 – Contagem veicular classificatória a cada do movimento 1 na interseção 1.....	51
Figura 17 – Volume horário de veículos na interseção 1 em unidade de carro de passeio .....	52
Figura 18 – Volume horário de veículos na interseção 2 em unidade de carro de passeio .....	52
Figura 19 – Diagrama de fases no ano de 2019 até atualmente da interseção 1 .....	55
Figura 20 – Diagrama de fases no ano de 2019 até atualmente da interseção 2 .....	55
Figura 21 – Área utilizada na simulação .....	59
Figura 22 – Captura de imagem da simulação do cenário real pela manhã .....	60
Figura 23 – Diagrama de tempos do plano P2 .....	61
Figura 24 – Diagrama de tempos do plano P3 .....	61
Figura 25 – Diagrama de tempos para o plano P2 do cenário 1 .....	62
Figura 26 – Diagrama de tempos para o plano P3 no cenário 1 .....	62
Figura 27 – Análise do fluxo em unidade de carro de passeio na interseção 1 .....	63
Figura 28 – Redirecionamento de fluxo para alteração da rede no cenário 2 .....	64
Figura 29 – Diagrama de estágios para duas fases do cenário 2 .....	65
Figura 30 – Diagrama de tempos para o plano P2 do cenário 2.....	65
Figura 31 – Diagrama de tempos para o plano P3 do cenário 2.....	65



Figura 32 – Vista de frente da aproximação C1 na interseção 1 .....	66
Figura 33 – Configuração da rede no cenário 3.....	66
Figura 34 – Mapa de informações para as análises .....	67
Figura 35 – Tempo médio de fila durante a hora pico da manhã .....	68
Figura 36 – Tempo máximo em fila durante a hora pico da manhã.....	69
Figura 37 – Manobras de mudanças de faixa no cenário 3 .....	70
Figura 38 – Comprimento médio de fila durante a hora pico da manhã .....	70
Figura 39 – Comprimento máximo de fila durante a hora pico da manhã .....	71
Figura 40 – Tempos de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela manhã .....	72
Figura 41 – Comprimento de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela manhã .....	72
Figura 42 – Tempo médio de fila durante a hora pico da tarde.....	73
Figura 43 – Tempo máximo de fila durante a hora pico da tarde.....	74
Figura 44 – Comprimento médio de fila durante a hora pico da tarde.....	75
Figura 45 – Comprimento máximo de fila durante a hora pico da tarde.....	76
Figura 46 – Tempos de fila em aproximações adicionais no cenário 2 a tarde.....	76
Figura 47 – Comprimento de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela tarde.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de equivalência para unidade de carro de passeio .....	19
Tabela 2 – Comparação entre diferentes softwares de simulação .....	35
Tabela 3 – Movimentos considerados na contagem da interseção 1 .....	46
Tabela 4 – Composição veicular das aproximações da interseção 1 .....	47
Tabela 5 – Movimentos considerados na contagem da interseção 2 .....	48
Tabela 6 – Composição veicular das aproximações da interseção 2 .....	50
Tabela 7 – Matriz origem-destino da interseção 1 .....	53
Tabela 8 – Matriz origem-destino da interseção 2 .....	53
Tabela 9 – Valores das variáveis de fluxo da interseção 1 .....	53
Tabela 10 – Movimentos conflitantes da interseção 1 .....	54
Tabela 11 – Movimentos conflitantes da interseção 2 .....	54
Tabela 12 – Ajustes das classes de veículos da simulação .....	56
Tabela 13 – Intervalos dos fluxos utilizados na simulação .....	57
Tabela 14 – Dados da análise dos cenários propostos .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DETRAN - Departamento Estadual de Trânsito do Estado de Santa Catarina

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DTT – Diretoria de Trânsito e Transportes

FHP – Fator Horário de Pico

h - Hora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

m – Metros

MV – Movimentos Veiculares

OSM – Open Street Map

PCU – Passenger car unit

s – Segundos

SUMO - Simulation of Urban Mobility

Ucp – Unidade de carro de passeio

VF– Velocidade de fluxo livre

VH – Volume horário

Vhp – Volume hora pico

Vpd – Veículos por dia

Vph – Veículos por hora

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
<b>1.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
<b>2.1. PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 ENGENHARIA DE TRÁFEGO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 Definições e Características do Tráfego .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 PANORAMA DOS CONGESTIONAMENTOS.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 PROJETO DE INTERSEÇÕES .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1 Estudo dos Movimentos em Interseções .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2 Sinalização Semafórica .....</b>	<b>25</b>
<i>2.4.2.1 Programação de semáforos.....</i>	<i>28</i>
<b>2.5 SIMULADORES DE TRÁFEGO .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1 Simulation of Urban Mobility - SUMO .....</b>	<b>36</b>
<i>2.5.1.1 Características e definições.....</i>	<i>37</i>
<i>2.5.1.2 Criando uma rede de tráfego .....</i>	<i>38</i>
<i>2.5.1.3 Dados de saída .....</i>	<i>39</i>
3. METODOLOGIA.....	40
4. ESTUDO DE CASO .....	42
<b>4.1 CONTAGEM VEICULAR CLASSIFICADA.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 MOVIMENTOS CONFLITANTES .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 DIAGRAMA DE ESTÁGIOS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
5. CENÁRIOS SIMULADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	59
<b>5.1 CENÁRIO BASE.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2 CENÁRIO 1 .....</b>	<b>61</b>
<b>5.3 CENÁRIO 2 .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4 CENÁRIO 3 .....</b>	<b>65</b>
<b>5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	78

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
APÊNDICE A – PLANOS SEMAFÓRICOS DO CENÁRIO BASE .....	82
APÊNDICE B – CONFIGURAÇÃO DOS VEÍCULOS E FLUXOS .....	84
APÊNDICE C – CONVERSÕES UTILIZANDO REROUTER .....	88
APÊNDICE D – CONFIGURAÇÃO DE REDE .....	92
APÊNDICE E – ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA DO CENÁRIO 1 ..	95
APÊNDICE F – ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA DO CENÁRIO 2 ..	96
ANEXO A – FLUXO DE SATURAÇÃO .....	97
ANEXO B – ARQUIVO TYPEMAP PARA CONVERSÃO DE REDE .....	99
ANEXO C – GERENCIAMENTO DE CONFLITOS .....	101
ANEXO D – CONTAGEM VOLUMÉTRICA DA INTERSEÇÃO 1 .....	102
ANEXO E – CONTAGEM VOLUMÉTRICA DA INTERSEÇÃO 2 .....	105

## 1. INTRODUÇÃO

O planejamento urbano tem sido uma pauta cada vez mais comum, à medida que as cidades crescem. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), em 1960 o país registrava uma população aproximada de 70 milhões de habitantes, alcançando quase 191 milhões em 2010, ou seja, cresceu aproximadamente 63% no intervalo de 50 anos. Em 2021, estima-se que a população brasileira esteja em 213,3 milhões de habitantes (BRASIL, 2021a). Acompanhada do crescimento exponencial da população, a migração para as cidades aconteceu de maneira análoga, mostrando que a atual população urbanizada representa cerca de 84,36% da população do país, quando em 1960 apenas 45% fazia parte dessa parcela (IBGE, 2010).

Esse evento de migração foi impulsionado por uma série de fatores, tendo as cidades produzido grande variedade de empregos, e o avanço tecnológico e novas tecnologias na produção agrícola, diminuindo a demanda pela mão de obra no campo (GARCIA, 2018). Por sua vez, esse rápido crescimento dos centros urbanos encadeou uma série de problemas, relacionados, principalmente, ao planejamento urbano das cidades e às políticas de uso e ocupação do solo, que precisaram evoluir para acompanhar essa demanda.

As elevadas taxas de motorização das cidades contemporâneas, contribui fortemente para agravar os congestionamentos. Juntamente com o crescimento da frota, que causam sérios problemas de congestionamentos, as cidades perdem a qualidade de vida urbana, piora nas medidas de desempenho do tráfego, maior poluição sonora e do ar, vias mais inseguras, maiores prejuízos aos usuários do transporte público com o decréscimo do nível de serviço desse e outros modais, além de outros problemas relacionados. A ausência de planejamento urbano, principalmente, o de transportes urbanos e a falta de uma política de investimentos em pesquisas e projetos, contribuem para agravar este problema (COELHO, 2009).

Nesse contexto, as cidades seguiram a tendência de melhoria contínua de sua infraestrutura e serviços, com a intenção de contornar os problemas de mobilidade ocasionados pelo crescimento de pessoas e veículos em circulação no meio urbano. Conforme Gorgulho e Tredinnick (2020), a velocidade média dos veículos nas cidades diminui a cada ano em função dos enormes congestionamentos, provocando uma série de impactos negativos como: defasagem em atendimentos de emergências, prejuízos à economia, com maiores custos e menor produtividade, reduzindo a qualidade de vida urbana, já que as pessoas tem

menos tempo para lazer e família, resultando em estresse e doenças relacionadas, e ainda, uma crescente degradação ambiental.

Visando a dinâmica da mobilidade urbana de maneira adequada, um elemento de descontinuidade que precisa ser cuidadosamente estudado são as interseções. Segundo o Manual de Projetos de Interseções (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, 2005), são elementos que devem assegurar a circulação ordenada dos veículos, mantendo o nível de serviço da via e garantindo a segurança nas áreas em que as correntes de tráfego sofrem por intervenção de correntes conflitantes, de maneira interna ou externa. Baseando-se nas necessidades locais, assim como, na disponibilidade de recursos, criam-se os objetivos de projeto nas interseções, os quais estão comumente relacionados à segurança, capacidade e custos.

Galindo e Lima Neto (2019) mostram que apesar do transporte público ser o mais utilizado para deslocamento no Brasil, utilizado por cerca de 65,9% da população, na região Sul, com menor número das regiões brasileiras, registrou 3,62 habitantes/carro registrado na frota de dezembro de 2011, ou seja, região com maior número de automóveis individuais em circulação por habitante. Este número, reflete em inúmeros problemas de trânsito no dia a dia das cidades.

Para o bom funcionamento das áreas urbanas, regiões com maior atração e produção de viagens diárias, precisam de constantes análises no seu planejamento de mobilidade e infraestrutura, promovendo maior ordem e adaptação do espaço urbano. Para isso, a Engenharia de Tráfego, é a área de estudo que caminha no sentido de melhorar a segurança das vias e das operações da rede viária, tornando-as mais seguras e eficientes aos usuários (Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN, 2016). Dessa forma, este trabalho propõe a análise de tráfego de uma interseção em área urbana da região urbana central da cidade de Criciúma, município de Santa Catarina na região sul do Brasil, visando a melhoria do tráfego, usando uma ferramenta de simulação de tráfego.

## 1.1. OBJETIVOS

Para analisar possíveis alternativas aos problemas de tráfego de uma interseção em área urbana da cidade de Criciúma, busca-se neste trabalho atender alguns objetivos.

### 1.1.1. Objetivo Geral

Propor cenários para melhoria das condições de tráfego em uma interseção na área urbana central na cidade de Criciúma utilizando simulação.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Identificar junto a Diretoria de Trânsito e Transportes (DTT) de Criciúma uma área crítica viável para a aplicação do estudo de tráfego;
- Selecionar os principais indicadores de desempenho e dados necessários para modelagem da rede e dos fluxos;
- Implementar o cenário real e outros três cenários propostos no software de simulação;
- Propor alterações e analisar impactos de novos cenários;
- Analisar os indicadores de desempenho do tráfego entre os cenários simulados.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos sobre o planejamento dos transportes, engenharia de tráfego, projetos de interseções e simuladores de tráfego, que se fazem necessários para o entendimento do trabalho desenvolvido.

### 2.1. PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES

O planejamento dos transportes de uma região busca, principalmente, melhorar o deslocamento de pessoas e cargas a fim de promover melhorias alternativas no sistema e na malha viária em questão. Esse processo deve levar em consideração tanto as limitações como a demanda do sistema, que está atrelado a um conjunto de particularidades da região. No contexto urbano, para a execução dos planos de transportes urbanos, Campos (2013) menciona que devem ser observadas as principais atividades desenvolvidas na região e se conhecer, acima de tudo, os principais eixos de deslocamentos diários dos indivíduos, sobretudo no que se refere aos deslocamentos pendulares.

Para ter conhecimento daquilo que deve ser implantado ou melhorado dentro do horizonte de um projeto, faz-se necessário dimensionar a demanda por transporte e saber como se divide dentro da área de estudo que, por sua vez, está fortemente relacionada com as atividades praticadas na área em questão (CAMPOS, 2013). A Figura 1 apresenta a iteração do transporte com as características socioeconômicas de uma região, ou seja, a dinâmica das relações entre o transporte e uso do solo.

Figura 1 – Ciclo dos Transportes



Fonte: adaptado de Campos (2013, p. 15).

De modo geral, o ciclo dos transportes é influenciado diretamente pelo uso e ocupação do solo e os aspectos socioeconômicos locais, que por sua vez, tem efeito direto sobre a movimentação de pessoas em uma região. As variações do uso do solo tendem a ocasionar diferentes demandas por deslocamentos, e posteriormente, a demanda por transporte que será solucionada com a oferta de transporte. Essa oferta, consequentemente, dá maior acessibilidade aos transportes da região, que modifica o valor da terra e faz com que o ciclo se reinicie repetidamente. Criando com isso, a necessidade de um planejamento das áreas urbanas de maneira dinâmica e eficiente.

## 2.2 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2016):

A Engenharia de Tráfego, fase da engenharia de transporte, é o conjunto de atividades relacionado com o estudo, a definição e o planejamento do desenho geométrico, da segurança e das operações de trânsito nas vias e rodovias, suas redes, e terrenos adjacentes, inclusive a integração de todos os modos e tipos de transportes, voltado a ampliar as condições de fluidez e de segurança no trânsito, visando a movimentação segura, eficiente e conveniente de pessoas e mercadorias (BRASIL, 2016, p. 76).

Os estudos de tráfego servem como instrumento que permite à Engenharia de Tráfego atender suas intenções, que podem ser definidas como sendo o planejamento das vias e do tráfego que circulam por ela, assim como, no seu emprego para o transporte de pessoas e mercadorias de maneira efetiva, econômica e segura. Por meio desses estudos, é possível identificar o inter-relacionamento dos principais elementos constituintes do tráfego: motoristas, pedestres, veículos, vias e o meio ambiente (DNIT, 2006). Essa etapa permite determinar uma série de variáveis quantitativas sobre a capacidade das vias, e assim, pode-se conhecer e identificar comportamentos, permitindo a condução do projeto de engenharia de tráfego de maneira acurada e eficiente.

### 2.2.1 Definições e Características do Tráfego

Algumas definições e características são fundamentais para estudos de Engenharia de Tráfego, para isso, faz-se necessária uma conceituação uniforme. Nesta seção serão discutidos, brevemente, termos utilizados pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006)

que segue a padronização dos valores e critérios estabelecidos em publicações nacionais e estrangeiras, além, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (BRASIL, 2014).

- a) **Composição do tráfego:** uma corrente de tráfego é composta por diferentes veículos que se caracterizam de acordo com suas dimensões, pesos e velocidades;
- b) **Unidade de carro de passeio ou passenger car unit (ucp/pcu):** número de automóveis de passageiros equivalente para um único veículo de determinado tipo, em condições específicas de circulação rodoviária, tráfego e controle. Transformando um volume de veículos de tráfego misto em uma unidade padrão, denominada ucp ou pcu, obtendo um fluxo homogêneo equivalente. Para as condições da rede analisada, utilizou-se a relação de equivalência da Tabela 1.

Tabela 1 - Fator de equivalência para unidade de carro de passeio

Tipo de veículo	Automóvel	Ônibus	Moto	Caminhão
Fator de Equivalência	1,00	2,00	0,5	2,5

Fonte: adaptado de Tranzum (2019a).

- c) **Volume de Tráfego:** número de veículos que passam por uma seção de uma via ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo. É expresso normalmente em veículos por dia (vpd) ou veículos por hora (vph);
- d) **Variação dos Volumes de Tráfego:** um fluxo de tráfego contabiliza diferentes volumes de veículos, que variam dentro da hora, dia, semana, mês ou do ano, além de, em um mesmo local, variar de acordo com a faixa de tráfego específica;
- e) **Volume Horário (VH):** número total de veículos trafegando em uma determinada hora;
- f) **Hora de pico:** faixa horária de maior volume de veículos;
- g) **Volume da hora de pico (Vhp):** média horária do fluxo de veículos que passam em determinado local durante um horário de pico específico;
- h) **Fator Horário de Pico (FHP):** fator de ajuste relativo à flutuação de veículos medido no volume de hora pico, mostrando o grau de uniformidade do fluxo.

$$FHP = \frac{Vhp}{4 * V_{15máx}} \quad (1)$$

Tal que,  $V_{15máx}$  é o volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico. O FHP varia entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme);

- i) **Contagens Volumétricas:** contagem classificatória e direcional de um fluxo de veículos que passam por um ou diversos pontos selecionados de uma via, em um período de tempo;
- j) **Velocidade Média de Viagem:** velocidade em um trecho da via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo tempos que, eventualmente, os veículos estejam parados;
- k) **Velocidade de Fluxo Livre (Vf):** velocidade média dos veículos de uma determinada via quando apresenta volumes baixos de tráfego, sem imposição de restrições quanto às suas velocidades, seja por interação veicular ou por regulamentação do trânsito. Designando a tendência de o motorista dirigir na velocidade que desejar;
- l) **Densidade:** é o número de veículos por unidade de comprimento da via;
- m) **Headway:** o tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto na corrente de tráfego;
- n) **Fluxo:** número de veículos que passam por uma seção de uma via durante uma unidade de tempo.

Dadas as definições para entendimento do tema, pode-se apresentar o panorama dos congestionamentos e as abordagens para tratamento do problema.

### 2.3 PANORAMA DOS CONGESTIONAMENTOS

O congestionamento em vias urbanas se tornou, cada vez mais, a realidade das principais cidades brasileiras. Ele “se forma pela incapacidade de absorção do crescente volume de veículos por parte do sistema viário atual e suas características” (COELHO, 2009, p.30). Tornando a circulação viária de centros urbanos das cidades, cada vez mais dependentes de operações que tornem o sistema de transporte eficiente e otimizado, sobretudo, em suas interseções. Sendo este, um importante pilar de sustentabilidade das cidades contemporâneas.

Existem na literatura diversas definições para os congestionamentos, que fazem referência a fatores qualitativos e quantitativos, o que prevalece, é o baixo nível de serviço das operações no ponto de vista dos usuários, excesso de veículos, acidentes, pane em veículos, sinalizações ineficientes, operações de trânsito, obras na via, entre outros fatores, sendo estes, causadores de aumento dos atrasos e tempos de viagens, aumentando a emissões de poluentes, poluição sonora e a diminuição da qualidade de vida nas cidades (COELHO, 2019).

Coelho (2009) constatou que o tema considera três regimes de comportamento do tráfego: regime de não saturação, regime de saturação e regime de supersaturação. A caracterização desses três regimes é dada pela taxa de saturação do tráfego. Quando a relação entre volume/capacidade, for mais próxima de zero o regime não se encontra saturado, quanto mais próxima de 1 de regime saturado, e se essa relação for maior que 1, o regime é de supersaturação.

De acordo com o Federal Highway Administration (2017), alguns dos fatores que influenciam o fluxo de saturação, e consequentemente a capacidade, são as:

- **Características operacionais:** número de faixas por pista de rolamento, largura da faixa, giros à esquerda, giros à direita, veículos pesados no tráfego;
- **Características topográficas:** greide do pavimento;
- **Características de políticas públicas de transportes:** estacionamento, paradas de ônibus;
- **Características de uso do solo:** tipo de área, utilização das faixas de rolamento, movimento de pedestres e ciclistas.

Para a manutenção da qualidade de vida nas cidades é fundamental o controle do tráfego urbano através de dispositivos como a sinalização de trânsito, sendo ela, vertical, horizontal ou semafórica, e seus projetos de instalação a fim de regulamentar, advertir e orientar o tráfego (BRASIL, 2014). Instrumentos básicos e essenciais, atualmente, para aumentar as condições de fluidez do sistema, visto que, assim como o fluxo, os congestionamentos também tem o comportamento variável ao longo do dia, semana, mês ou ano, e em função da demanda, podendo exibir padrões de comportamento principalmente nas viagens à trabalho. Além disso, eles podem ainda variar em função da coordenação semafórica, do tráfego de pessoas, eficiência de fiscalizações, entre outras.

## 2.4 PROJETO DE INTERSEÇÕES

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) reconhece diferentes tipos de interseções, que podem ser classificadas de acordo com uma gama de critérios que as definem. Muitos são os fatores que influenciam no tipo e dimensão de uma interseção, caracterizando um problema complexo que envolve: volumes de tráfego, velocidades, diferentes tipos de veículos, aspectos topográficos, orçamentos e, principalmente, o grau de aleatoriedade com que o tráfego se distribui.

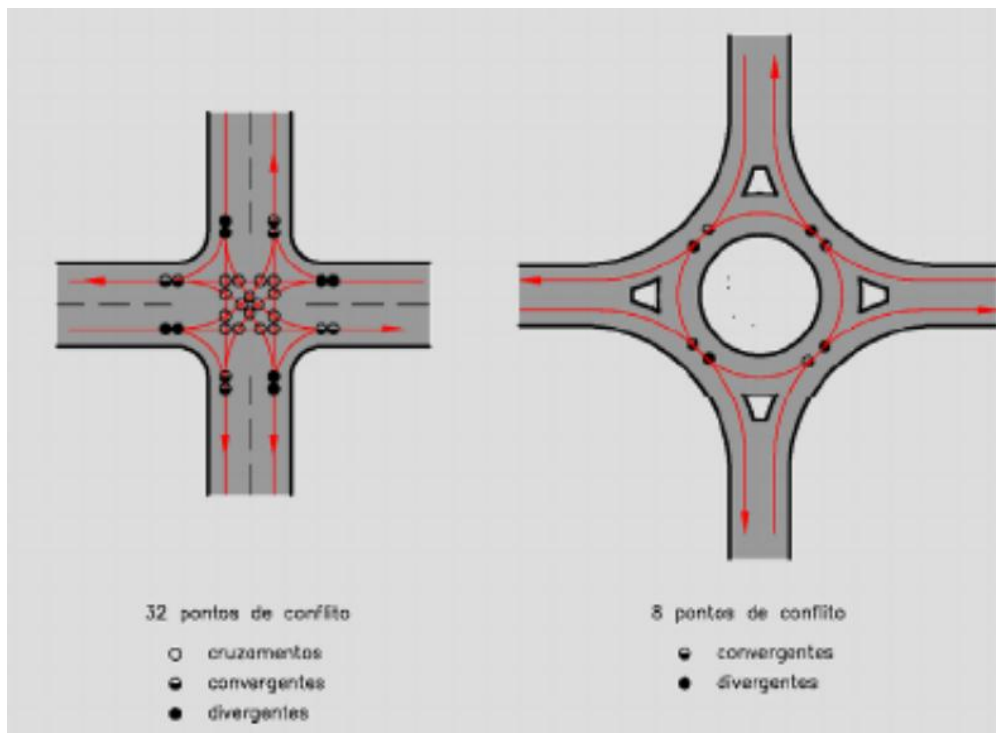
Para benefício do tráfego de veículos em uma via, o número de interseções deve ser reduzido ao máximo, o que gera maior conforto para os motoristas e fluidez à corrente de tráfego. Em interseções com maior proximidade, quando se tem dois sentidos de tráfego, raramente se consegue coordenar os movimentos do tráfego com implantação semafórica, se mostrando necessária a análise do tráfego do conjunto das vias que são afetadas com essa solução, não apenas de uma via vista como principal (DNIT, 2005).

A classificação funcional da rodovia, o volume e composição do tráfego em cada ramo da interseção, inclusive pedestres, durante um ou mais períodos de pico do dia, indicarão o tipo de controle de tráfego necessário, as larguras de pistas, faixas auxiliares, e grau de canalização a empregar (DNIT, 2005, p. 161).

O distanciamento entre as interseções, cria a necessidade de uma série de restrições para adaptação do espaço viário. Em interseções onde as travessias são bem espaçadas, pode-se realizar maior número de permissões de movimentos nos cruzamentos, além de travessias de pedestres de maneira segura e adequada, que conseqüentemente terão seus efeitos na corrente de tráfego. Para casos mais restritos, medidas devem ser tomadas como forma de intervir no elevado número de conflitos em um curto espaço viário.

O uso de rotatórias pode reduzir o número e gravidade dos acidentes nas interseções em que são aplicadas, além de limitar as velocidades e ordenar os fluxos, melhorando a fluidez do tráfego, podendo-se atribuir ao fato das interseções com prioridade possuírem um número mais elevado de pontos de conflito, quando comparadas (DNIT, 2005). Como pode ser observado na Figura 2, uma interseção de 4 ramos oferece cerca de 32 pontos de conflito, em comparação a uma rotatória que apresenta apenas 8 pontos conflitantes, análise feita para vias com uma única faixa de tráfego. Mesmo identificado a necessidade da sinalização semafórica em uma interseção, se faz necessário a continuidade de fluidez e avaliação de maneira criteriosa de sua real necessidade e programação.

Figura 2 – Conflitos de uma interseção com prioridade e com uso da rotatória



Fonte: DNIT (2005, p. 179).

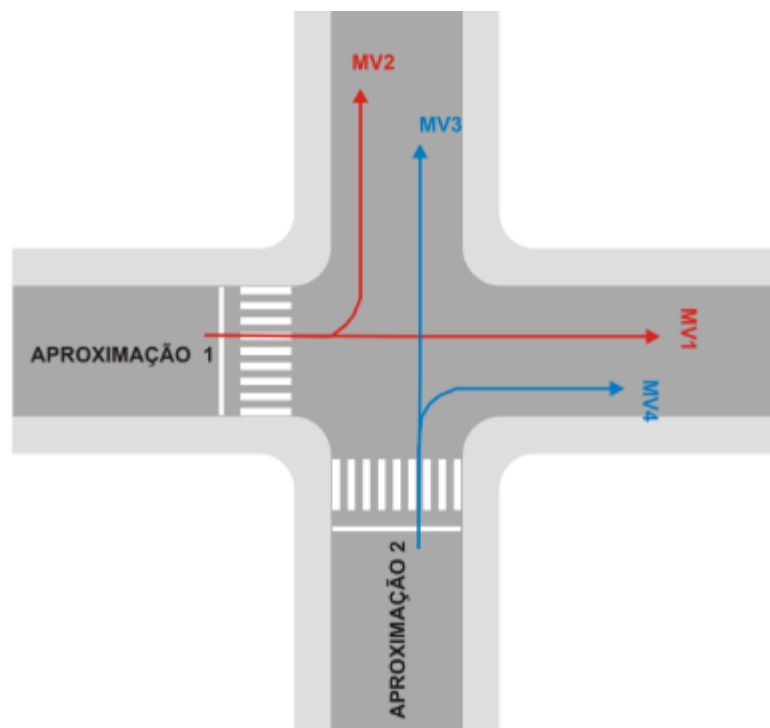
Para ambos os casos, se faz necessária a sinalização viária de maneira padronizada e adequada, que devem estar em conformidade com o Manual Brasileiro de Sinalização de Tráfego (BRASIL, 2014), que abrange todas as sinalizações, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica e sinalização de obras determinadas por Resolução do CONTRAN.

#### 2.4.1 Estudo dos Movimentos em Interseções

Em uma interseção, os movimentos são usados para distinguir as origens e destinos dos fluxos de veículos. Graficamente, o movimento é representado por um segmento de linha e uma seta, onde o traço mostra a direção e a seta indica o sentido que está sendo representado. É natural que se diferencie por cores cada conjunto de movimentos que partem de uma mesma origem, como o exemplo mostrado na Figura 3.

Os movimentos veiculares (MV), como MV1 E MV2 possuem a mesma origem e destinos distintos, assim como, MV3 e MV4, representados na Figura 3.

Figura 3 – Movimentos em uma interseção com vias de mão única



Fonte: Brasil (2014, p. 42).

Mantendo a Figura 3 como exemplo, apresenta-se outras definições estabelecidas pelo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, para sinalização semafórica (BRASIL, 2014):

- a) **Aproximações:** trechos de via por onde os veículos chegam à interseção são denominadas aproximações da interseção. No caso de uma interseção de duas vias de mão única, tem-se duas aproximações;
- b) **Área de conflito:** a área da interseção onde os movimentos veiculares provenientes de diferentes aproximações, podem ocasionar conflitos entre si;
- c) **Movimentos convergentes:** são movimentos que têm origem em diferentes aproximações e possuem mesmo destino, como MV1 e MV4 ou MV2 e MV3;
- d) **Movimentos divergentes:** são movimentos que têm origem na mesma aproximação e possuem destinos diferentes, como MV1 e MV2 ou MV3 e MV4;
- e) **Movimentos interceptantes:** são movimentos que têm origem em aproximações diferentes e que se cruzam em algum ponto da área de conflito, como MV1 e MV3;
- f) **Movimentos não-interceptantes:** são aqueles cujas trajetórias não se encontram em nenhum ponto da área de conflito, como MV2 e MV4;



- g) **Movimentos não-conflitantes:** para efeito do controle semafórico, são movimentos cujas trajetórias não se interceptam nem convergem em nenhum ponto da área de conflito;
- h) **Movimentos conflitantes:** para efeito do controle semafórico, são movimentos com origens diferentes cujas trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito;
- i) **Diagrama de conflitos:** diagrama usado para a análise de conflitos, que consiste na representação esquemática da geometria da interseção, com a indicação de suas aproximações, sobre a qual são registrados todos os MV que ocorrem na área da interseção.

Por fim, podemos ainda classificar as vias que se interceptam numa interseção em principais e secundárias. A via principal é aquela que se sobressai em relação ao volume de tráfego, em referência às demais que a interceptam e que são nomeadas de vias secundárias (BRASIL, 2014).

#### 2.4.2 Sinalização Semafórica

Os Manuais Brasileiros de Sinalização de Trânsito foram elaborados em conformidade com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e com as diretrizes da Política Nacional de Trânsito (BRASIL, 2014). O Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN, é o órgão responsável por organizar, elaborar, complementar e alterar os manuais e normas de projetos de implementação da sinalização, destinado aos dispositivos e equipamentos de trânsito.

Em um projeto e implantação da sinalização de trânsito, deve-se seguir rigorosamente alguns princípios básicos para condições de percepção dos usuários da via, garantindo a eficácia da sinalização implantada. Para isso, o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume V (BRASIL, 2014) estabelece princípios que devem ser assegurados:

- a) **Legalidade:** estar alinhada com o CTB e legislação complementar;
- b) **Suficiência:** permitir fácil percepção do que é importante de fato, fazendo apenas a sinalização necessária prevista;
- c) **Padronização:** seguir um padrão legalmente estabelecido e atender à regra de que em situações iguais a sinalização se faz de acordo com os mesmos critérios;

- d) **Clareza:** transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão, evitando informação conflitante no direito de passagem;
- e) **Precisão e confiabilidade:** ser precisa e confiável, em concordância com a situação existente, ter credibilidade e atender aos requisitos técnicos mínimos de segurança e fluidez da via, revezando o direito de passagem de movimentos conflitantes;
- f) **Visibilidade e legibilidade:** ser visível à distância necessária e em tempo hábil para a tomada de decisão do usuário;
- g) **Manutenção e conservação:** estar sempre limpa, conservada e visível; passar por adequações necessárias, tais como reprogramação, atualização e remoção, de acordo com as necessidades do trânsito.

A sinalização semafórica tem o intuito de transmitir aos usuários informações sobre o direito de passagem nas interseções, essencialmente em seções de via onde o espaço viário é comprometido por movimentos conflitantes, e ainda, advertir o usuário de situações que possam comprometer sua segurança (BRASIL, 2014). Podem ser classificadas segundo sua função, conforme estabelecido no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (BRASIL, 2014):

- a) **Sinalização semafórica de regulamentação:** têm a função de efetuar o controle do trânsito em uma interseção ou seção de via, por meio de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos fluxos de veículos e/ou pedestres;
- b) **Sinalização semafórica de advertência:** tem a função de advertir sobre a existência de obstáculo ou situação de risco, induzindo o condutor a reduzir a velocidade e seguir medidas de precaução compatíveis para a segurança.

Quando a proposta da sinalização é gerenciar conflitos em interseções, deve-se avaliar a sua real necessidade antes da implantação acontecer de fato. Para isso, devem ser consideradas medidas alternativas, como: estabelecer preferência de passagem, remoção de interferências que prejudiquem a visibilidade, redução da velocidade, adequação da sinalização horizontal e vertical, entre outras. Permitindo assim, produzir impactos positivos sobre o controle do trânsito, pois se usada de maneira inadequada, contradizendo os Princípios da Sinalização de Trânsito, pode ocasionar consequências que causam prejuízos ao desempenho e a segurança do trânsito (BRASIL, 2014). A Figura 4 apresenta as principais

consequências da implantação da sinalização semafórica, quando justificada ou não, de acordo com critérios técnicos.

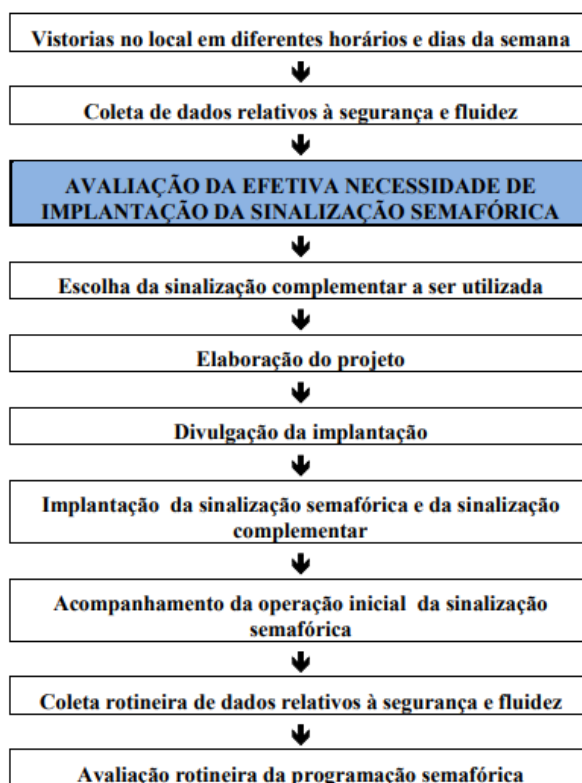
Figura 4 – Consequências da implantação da sinalização semafórica

<b>IMPLANTAÇÃO JUSTIFICADA</b>	<b>IMPLANTAÇÃO NÃO JUSTIFICADA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aumento da segurança viária</li> <li>✓ Melhoria da fluidez do trânsito, na medida em que promove distribuição adequada dos tempos destinados a cada movimento</li> <li>✓ Controle do direito de passagem dos movimentos de veículos e pedestres com a consequente redução de conflitos</li> <li>✓ Redução de atrasos</li> <li>✓ Credibilidade por parte dos usuários em relação à sinalização</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aumento de ocorrência de acidentes de trânsito</li> <li>✓ Imposição de atrasos excessivos</li> <li>✓ Indução ao desrespeito à sinalização devido à ociosidade na operação</li> <li>✓ Descrédito em relação à sinalização</li> <li>✓ Gastos desnecessários de recursos públicos</li> </ul>

Fonte: Brasil (2014, p. 48).

Quando considerado um projeto de implantação semafórica, para garantir sua contribuição e eficácia, os procedimentos devem seguir as etapas apresentadas na Figura 5, assegurando a tomada de decisão mais adequada para avanço das etapas seguintes. Nos estudos que precedem a implantação semafórica, em casos que mostram situações complexas, deve-se levar em conta a avaliação de um especialista em trânsito. Tal que, para esses casos, existem técnicas mais elaboradas que podem ser empregadas, como a simulação de tráfego, abordada detalhadamente na seção 2.5.

Figura 5 – Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica



Fonte: Brasil (2014, p. 49).

Para situações onde a implantação semafórica torna-se necessária, deve ser realizada seguindo as etapas apresentadas na sequência.

#### 2.4.2.1 Programação de semáforos

De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (BRASIL, 2014), a programação da sinalização semafórica deve ser elaborada nas seguintes etapas:

- I. Definição das condições em que a programação irá operar. No caso de reprogramação de sinalização semafórica existente, muitas vezes essa etapa não é realizada, pois são adotadas as condições pré-existentes. Neste caso, essas informações devem ser coletadas em campo;
- II. Determinação das características operacionais do tráfego;
- III. Cálculo da programação semafórica;
- IV. Implementação da programação e avaliação dos resultados.

Dentre os métodos conhecidos para dimensionamento de tempos de ciclo em um semáforo, estão o Método de Webster e o Método do grau de saturação máximo. O método de

Webster “pressupõe chegadas aleatórias dos veículos nas aproximações, portanto, sua utilização não é recomendada quando essa condição não se verifica, [...] no caso de interseções com alto grau de saturação, a utilização desse método não é recomendável” (BRASIL, 2014, p. 95). O Método do grau de saturação máximo é baseado no grau de saturação máximo definido pelo projetista para cada grupo de movimentos no período dos 15 minutos de volume máximo (BRASIL, 2014).

Com eles é possível calcular o tempo de ciclo ótimo empregado em um semáforo, que por sua vez, varia a depender de cada caso, de modo que o tempo de espera no sistema seja mínimo. Um ciclo é estabelecido pela sequência completa das indicações de uma sinalização semaforica (BRASIL, 2014). A determinação do tempo de ciclo para o Método de Webster, é feita pela Equação (2).

$$t_{co} = \frac{1,5 * T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (2)$$

Em que,

$t_{co}$  = 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;

$n$  = número de estágios no ciclo.

O fluxo de saturação de um grupo de movimentos corresponde ao número máximo de veículos capaz de passar em uma aproximação controlada por sinalização semaforica, no caso desta aproximação receber indicação verde durante uma hora inteira. O fluxo de saturação é afetado pelas condições da via (sendo os mais importantes, a topografia, geometria, a quantidade e largura das faixas e o estado do pavimento), do tráfego (influenciado pela composição veicular, volume de pedestres e eventuais interferências) e condições ambientais. Em função dessas condições, seu valor em geral varia entre 1600 e 2000 unidades de carro de passeio por hora por faixa (BRASIL, 2014). Esse dado, no entanto, deve ser coletado em campo seguindo os critérios técnicos adequados para garantir maior precisão, mas pode ainda ser estimado quando a primeira opção se tornar inviável. O fluxo de saturação para ciclos saturados, pode ser calculado de acordo com o método apresentado no Anexo A.

A taxa de fluxo de um movimento corresponde ao número de veículos projetado para o período de uma hora a partir dos volumes medidos em uma dada seção de via, em intervalos de tempo inferiores a uma hora, usualmente, intervalos de 15 minutos. Para a programação de semáforos em tempo fixo, a taxa de fluxo é projetada, usualmente, com base no volume máximo observado nos intervalos de 15 minutos ao longo do período estabelecido para a duração do plano. Considera-se o intervalo de 15min em que a soma dos movimentos em todas as aproximações da interseção é máxima (BRASIL, 2014).

A taxa de ocupação  $y$  de um grupo de movimentos, descreve a relação entre a taxa de fluxo e o respectivo fluxo de saturação (Equação 3). Nessa relação, quanto mais  $y$  se aproxima de zero, maior a ociosidade, e quanto mais próximo de 1, mais próximo do fluxo de saturação.

$$y = \frac{F}{FS} \quad (3)$$

Onde,

$y$  = taxa de ocupação;

$F$  = taxa de fluxo do grupo de movimentos, em vph ou ucp por hora;

$FS$  = fluxo de saturação do grupo de movimentos, em vph ou ucp por hora.

O tempo perdido, no entanto, é a parte do ciclo que não é efetivamente utilizada pelos veículos, e pode ser calculada conforme a Equação 4. Para o fluxo de saturação, a coleta de  $t_{pin}$  e  $t_{pfn}$  deve ser feita diretamente no local. Para casos onde o fluxo no tempo de estágio não está saturado, o tempo perdido no início do estágio pode ser medido, mas não é possível medir o tempo perdido no final, devido a existência de um tempo ocioso no tempo de verde praticado (BRASIL, 2014).

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

Onde,

$T_p$  = tempo perdido total, em segundos;

$t_{ep}$  = tempo de estágio exclusivo para pedestres, caso existente, em segundos;

$n$  = número de estágios no ciclo;

$t_{pin\ i}$  = tempo perdido no início do estágio  $i$ , em segundos;

$t_{pfn\ i}$  = tempo perdido no final do estágio  $i$ , em segundos.

É denominado de “tempo de verde real de um estágio a duração do período em que o respectivo grupo focal permanece em verde, durante um ciclo” (BRASIL, 2014, p. 95). O chamado tempo de verde efetivo, é o tempo de verde necessário para escoar o fluxo de veículos de um grupo de movimentos crítico de um estágio, durante o ciclo. Considera-se que o fluxo trafegando na via é igual ao fluxo de saturação. Os cálculos desses tempos são calculados pelas respectivas Equações (5) e (6).

$$t_{v,ef,i} = (t_c - t_p) * \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (5)$$

Sendo estes,

$t_{v,ef,i}$  = 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;

$n$  = número de estágios no ciclo.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} + t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad (6)$$

Em que,

$t_{v,real}$  = tempo de verde real, em segundos;

$t_{v,efet}$  = tempo de verde efetivo, em segundos

$t_{ent}$  = tempo de entreverdes, em segundos;

$t_{pin}$  = tempo perdido no início, em segundos;

$t_{pfn}$  = tempo perdido no final, em segundos.

O entreverdes é a parte do estágio programada após o fim do intervalo de verde, com o propósito de evitar acidentes entre os usuários que param e que iniciam suas passagens na interseção. A obtenção desse dado requer cuidado, principalmente, no critério de

arredondamento, dado o fato dos tempos semafóricos serem dados em segundos. Tal cuidado é importante porque entreverdes excessivos podem ser um fator de risco de acidentes, visto que os com os condutores vêm a utilizar esse tempo como tempo de verde (BRASIL, 2014). Para essa definição, é utilizada a Equação 7 com suas respectivas considerações.

$$T_{ent} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} + \frac{d_2 + c}{v} \quad (7)$$

Onde,

$T_{ent}$  = tempo de entreverdes para o grupo focal de veículos; em segundos;

$t_{pr}$  = tempo de percepção e reação do condutor, em segundos;

$v$  = velocidade do veículo, em m/s;

$a_{ad}$  = máxima taxa de frenagem admissível em via plana, em m/s<sup>2</sup>;

$i$  = inclinação da via na aproximação, sendo positiva em rampas ascendentes e negativa em rampas descendentes (m/m);

$g$  = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$d_2$  = extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros;

$c$  = comprimento do veículo, em metros;

A composição do tempo de entreverdes, é dada pelo tempo de amarelo (Equação 8) correspondente à soma das duas parcelas iniciais da Equação 7, e o tempo de vermelho geral (Equação 9) respectivo à última parcela. Por razões de segurança, em vias com velocidade máxima regulamentada igual ou inferior a 40 km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 3s, independentemente do valor do vermelho geral. Em vias com velocidade máxima regulamentada igual a 50 ou 60 km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 4s. Para vias com velocidade regulamentada igual a 70 km/h, o tempo mínimo de amarelo deve ser igual a 5s. Para todas as demais velocidades máximas regulamentadas, o tempo de amarelo não deve ser superior a 5s, ou seja, se  $T_{am}$  calculado exceder esse número, deve-se adotar valor igual a 5s (BRASIL, 2014).

$$T_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} \quad (8)$$



$$T_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad (9)$$

Usualmente, adota-se,

$$t_{pr} = 1,0 \text{ s};$$

$v$  = velocidade regulamentada da via, expressa em m/s;

$$a_{ad} = 3,0 \text{ m/s}^2;$$

$i$  = inclinação da via na aproximação, sendo positiva em rampas ascendentes e negativa em rampas descendentes (m/m);

$g$  = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$d_2$  = extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros;

$c$  = 5 m (onde o fluxo é predominantemente constituído por automóveis).

Conhecidos os cálculos de programação semaforica, pode-se apresentar as particularidades da ferramenta de simulação de tráfego utilizada no presente estudo.

## 2.5 SIMULADORES DE TRÁFEGO

A facilidade de acesso à compra de veículos individuais, associadas a uma errônea postura cultural da sociedade sobre o uso de automóveis, trouxe para as cidades sérios problemas de congestionamento das vias de tráfego. Dadas as restrições pré-existentes do sistema viário, os quais não acompanham o crescimento acelerado da demanda, adaptações e intervenções tornam-se necessárias para garantir seu melhor funcionamento. As modelagens computacionais em conjunto com um bom planejamento dos transportes, podem ser usadas como ferramenta para estabelecer novas estratégias, políticas de gerência e controle de tráfego, buscando maior eficiência do sistema de transportes (BOGO; GRAMANI; KAVISKI, 2015).

Visto o avanço da tecnologia, e com ela, os softwares de engenharia e os sistemas inteligentes de transportes, a simulação de tráfego tornou-se uma abordagem eficiente para auxiliar no processo de tomada de decisão de gestores, durante projetos ou avaliações do sistema de tráfego, permitindo identificar os impactos gerados por mudanças no sistema, através de cenários previamente simulados. Barceló (2010, p.7), afirma que “a capacidade da

simulação de tráfego para emular a variabilidade no tempo dos fenômenos de tráfego, torna-o uma ferramenta única para capturar a complexidade dos sistemas de tráfego”. O que contribuiu para a ferramenta migrar do mundo acadêmico para o profissional.

Existem atualmente, diversos softwares com essa funcionalidade disponíveis no mercado, oferecendo diferentes maneiras para analisar e simular uma rede de tráfego. Para construção de um modelo de sistema a ser simulado, diferentes abordagens podem ser utilizadas, fornecendo uma representação formal e abstraída da realidade, utilizada para fornecer análises de um sistema de tráfego real. Os fluxos de tráfego podem ser modelados de três maneiras distintas, modelagem macroscópica, microscópica ou mesoscópica (BARCELÓ, 2010), sendo elas:

- a) **Modelagem macroscópica:** geralmente é baseada na teoria do fluxo de tráfego contínuo, ou seja, um ponto de vista agregado das variáveis que caracterizam os fluxos macroscópicos, volume, velocidade e densidade. Buscando descrever a evolução no espaço-tempo dessas variáveis;
- b) **Modelagem microscópica:** é baseada na descrição do movimento individual de cada veículo que compõe o fluxo de tráfego, isto é, do ponto de vista desagregado, onde o objetivo é descrever o comportamento da corrente de tráfego a partir da dinâmica de cada partícula individual, ou seja, de cada veículo que compõe o sistema;
- c) **Modelagem mesoscópica:** geralmente consiste em uma simplificação que, ainda assim, capture o essencial da dinâmica do fluxo, combinando aspectos macroscópicos e microscópicos. Duas principais abordagens podem ser utilizadas para simulação de tráfego mesoscópico, aqueles em que os veículos individuais são desconsiderados e organizados em pelotões e aqueles em que a dinâmica do fluxo é determinada pela dinâmica simplificada dos veículos individuais.

Todas as escalas descritas apresentam vantagens e desvantagens de uso. A modelagem microscópica permite maior precisão do estado físico do sistema, no entanto, exigindo maior esforço computacional, contrariamente a modelagem macroscópica, oferecendo maiores vantagens computacionais e de tempo de processamento (COELHO, 2009).

Segundo Saliby (1989 apud COELHO, 2009), as simulações também podem se apresentar de forma determinísticas ou estocástica, estática ou dinâmica, discreta ou contínua:

- a) **Determinística:** quando a simulação possui todas as variáveis determinísticas;

- b) **Estocástica**: quando a simulação apresenta uma representação mais complexa e próxima da realidade por considerarem o caráter aleatório de uma ou mais variáveis a partir de amostras;
- c) **Estática**: quando o fator tempo não interfere na realização da simulação;
- d) **Dinâmica**: quando o tempo é fator preponderante para a realização da simulação;
- e) **Discreta**: quando a simulação é feita em intervalos de tempo e supõe que as variáveis envolvidas não se alteram dentro deste intervalo;
- f) **Contínua**: quando a passagem do tempo é admitida contínua, embora ela seja feita em pequenos intervalos por imposição dos métodos de cálculo e computacionais.

Com o avanço dos recursos computacionais, os simuladores de tráfego estão em melhoria contínua, tornando-se cada vez mais sofisticados e oferecendo maiores facilidades de manuseio e operação dos softwares (COELHO, 2009). Na Tabela 2 a seguir, são apresentados diferentes softwares de simulação e suas particularidades.

Tabela 2 – Comparação entre diferentes softwares de simulação

	<b>AIMSUN</b>	<b>VISSIM</b>	<b>SUMO</b>
	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks	PTV Vissim	Simulation of Urban Mobility
<b>Desenvolvimento</b>	University of Catalonia, Espanha.	Karlsruhe University of Technology (KIT), Alemanha.	Center for Applied Informatics Cologne (ZAIK) e o Institute of Transportation Systems (ITS), Centro Aeroespacial Alemão, Alemanha.
<b>Característica</b>	Implementando a gestão de transporte em tempo real; Integração; Modularidade; Extensibilidade; Desempenho.	Multimodal; Aplicações urbanas e interurbanas; Integra transporte público e privado; Desenvolvido na linguagem computacional C++.	Pequeno consumo de memória; Velocidade de execução; Portabilidade e extensibilidade.
<b>Abordagem de simulação</b>	Macroscópica, mesoscópica e microscópica	Microscópica	Microscópica.
<b>Características do movimento</b>	Segue o princípio car-following para movimentos longitudinais, o qual possui	Utiliza o princípio car-following para orientar seus veículos.	É utilizado uma versão modificada de tempo discreto e espaço contínuo do modelo car-following.

características de aceleração e desaceleração.	É possível modelar a movimentação de pedestres, recurso não presente nos demais simuladores apresentados.	Movimento longitudinal se dá separadamente do movimento lateral.
Os veículos são tratados individualmente com seus atributos característicos.		Assume que o motorista não é perfeito em realizar a velocidade desejada.

Fonte: adaptado de Witte (2015, p. 28).

Existem ainda, uma gama de softwares utilizados em pesquisas e estudos no mundo, que trabalham com diferentes níveis de detalhamento dos parâmetros da simulação. No tópico a seguir, são apresentadas as principais especificidades do software SUMO, auxiliando a compreensão de sua utilização para este estudo.

### 2.5.1 Simulation of Urban Mobility - SUMO

O SUMO, é uma ferramenta de simulação de tráfego rodoviário, que foi inicialmente desenvolvido pelo Centro de Informática Aplicada de Colônia (ZAIK) e o Instituto de Sistemas de Transporte (ITS), no Centro Aeroespacial Alemão (DLR) continuado pelo DLR, também conta com e conta com a contribuição de organizações ou indivíduos externos (BARCELÓ, 2010).

Disponível como código aberto, de acordo com Braceló (2010), foi criado na concepção de desenvolver uma simulação de tráfego extensível e gratuita, para que fosse utilizado de forma livre, como base de outras aplicações, avaliando modelos e algoritmos relacionados ao tráfego e ao gerenciamento deste.

Foi desenvolvido para simulação de redes de tráfego com abordagem microscópica, multimodal, de espaço contínuo e tempo discreto (FLORIANI, 2017). Para a implementação de soluções de gerenciamento de tráfego, se faz necessário o conhecimento preciso das condições e da dinâmica do tráfego da região de estudo, por isso, as ferramentas de simulação de tráfego são de grande utilidade para responder questões mais complexas, para avaliar ou testar estratégias de gerenciamento de tráfego e os possíveis impactos (WIESSNER et al., 2018).

Dois principais critérios, com a ideia e o contexto acadêmico, alguns principais critérios de concepção, são citados por Barceló (2010), como sendo:

- Portabilidade: fazendo com que a simulação seja executada em qualquer ambiente comum;
- Extensibilidade: a simulação deve ser aberta e de fácil entendimento, para que os usuários possam adaptá-lo às suas próprias necessidades.

Existem diversas ferramentas de simulação microscópicas disponíveis para tal análise, entretanto, para esse estudo se mostrou interessante para atender a proposta elaborada, visto ser uma ferramenta de fácil utilização e com poucas restrições para utilização, além de exigir menor espaço de memória também pode ser simulada de forma rápida, com bons outputs.

#### 2.5.1.1 Características e definições

Os elementos básicos mais importantes para tal modelagem são: dados da rede, por exemplo, estradas e trilhas, a infraestrutura de tráfego adicional, por exemplo, semáforos, e por fim, a demanda de tráfego. Juntos, estes elementos nos permitem criar os cenários de simulação.

Modelos de simulação de tráfego são normalmente usados para comportamento estocástico, dando sentido a simulação de cenários para tirar conclusões estatísticas (WIESSNER et al., 2018). Podendo incorporar ainda, comportamentos espontâneos quando conhecido o potencial completo da ferramenta. Para melhor compreensão, algumas das características do SUMO definidas por Floriani (2017) e Barceló (2010), são:

- a) **Simulação microscópica:** torna o modelo mais preciso, especialmente quando rotas individuais forem simuladas, podendo incorporar o comportamento dos motoristas e interações. Com o SUMO, parâmetros comportamentais, da rede e dos fluxos podem ser incorporados, podendo beneficiar o modelo com outputs mais acurados;
- b) **Car-following:** o modelo original formulado por Kraub incorpora apenas decisões táticas do motorista, principalmente formulando o comportamento do motorista, pressupondo que este quer dirigir em alta velocidade. Na estratégia da escolha de uma faixa, a necessidade de mudar de faixa para que seja possível continuar a rota, não é considerada. O modelo se comporta bem tanto para cenários rodoviários quanto urbanos, garantindo ao veículo eles estão escolhendo

suas pistas cedo o suficiente e também garantindo que todas as pistas disponíveis são usadas;

- c) **Tempo discreto:** Muitas das situações da rede de tráfego em determinado instante dependem das condições de simulação previamente calculadas. Uma característica presente no SUMO é o warm-up, que pode ser definido como o período de tempo entre o início da simulação e o início efetivo da coleta de dados para cálculo das medidas de desempenho da simulação.

### 2.5.1.2 Criando uma rede de tráfego

Existem diferentes maneiras de se criar uma rede de tráfego para ser utilizada no software. A primeira, é utilizando a ferramenta auxiliar denominada NetEdit, permitindo que uma rede seja desenhada do zero, de maneira manual, criando e configurando todos os elementos desejados para a rede, como, vias, semáforos, infraestrutura adicional, assim como, os parâmetros destes elementos, como, direções, velocidades, tempos semafóricos, faixas exclusivas, entre outros.

É possível também, exportar uma rede utilizando o Open Street Map (OSM). O OSM trata de um projeto colaborativo para criar um mapa editável gratuito do mundo. Com ele, é possível exportar um arquivo do tipo OSM, que nada mais é, que um arquivo de mapa contendo um conjunto de dados referentes à rede. Os dados do OSM podem conter, a rede rodoviária, e uma ampla gama de polígonos adicionais, como edifícios, rios, semáforos, entre outros. Estes polígonos podem ser importados usando o polyconvert, e em seguida, adicionados a uma configuração sumo-gui (SUMO, 2021). Para isso, é necessário fazer a conversão de dados:

- I. Para interpretação dos dados OSM é necessário um arquivo adicional typemap (Anexo B), que deve ser salvo na pasta do projeto, como typemap.xml, junto ao arquivo map.osm exportado do OSM;
- II. Usando o prompt de comando, a conversão deve ser realizada na pasta do projeto com os comandos:
  - `netconvert --osm-files map.osm -o map.net.xml --no-turnarounds`
  - `polyconvert --net-file map.net.xml --osm-files map.osm --type-file typemap.xml -o map.poly.xml`

Assim a rede já pode ser aberta para trabalho no NetEdit, onde pode ser tratada e alterada para criação de novos cenários.

### 2.5.1.3 Dados de saída

Com o intuito de avaliar quantitativamente um cenário de simulação, o relatório de saída do software pode fornecer uma série de arquivos que podem ser ativados isoladamente. Conforme Wiessner et al. (2018), dentre eles estão:

- a) Trajetórias de veículos, assim como, posições e velocidades;
- b) Dados de tráfego coletados de detectores modelados;
- c) Dados de tráfego agregados ao longo de toda a viagem de um veículo;
- d) Dados de tráfego agregados para toda a simulação.

Estão disponíveis uma extensa lista de comandos que podem ser utilizados para avaliação das medidas de desempenho da simulação no SUMO. Todos eles, descrevem os valores que coletam em arquivos, seguindo as regras comuns para escrever arquivos. A utilizada no presente trabalho, e outras adicionais, são apresentadas a seguir (SUMO, 2021):

- **Queue-output:** o cálculo é baseado a partir de um ponto definido pelo analisa, como, uma faixa (edge) ou borda (junction) específico de escolha do analista;
- **Edgelane noise:** emissão de ruído veicular com base em uma borda ou faixa;
- **Edgelane traffic:** medidas de desempenho de rede baseadas em uma borda ou faixa;
- **Traffic light states:** informações sobre o estado (luzes) de um semáforo.

Outros diversos parâmetros podem ser extraídos, de acordo com a documentação original do software (SUMO, 2021). Neste trabalho, as principais de medidas de desempenho foram extraídas com o “queue-output”, sendo estes, os tempos médios e máximos de fila e os comprimentos médios e máximos de fila.

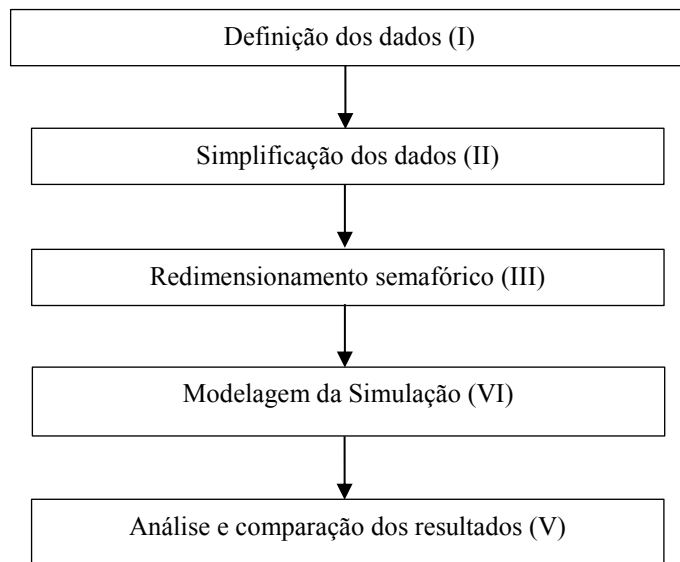
A análise das filas pode ser realizada para cada faixa de rodagem de uma via, o que possibilita a análise mais precisa para cada faixa de tráfego.

Os arquivos de saída podem também ser importados para outras ferramentas de análise, como por exemplo, o Excel, mas podem também ser visualizadas no próprio SUMO.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta três diferentes cenários de análises, além, do cenário real ou cenário base, com alternativas e intervenções para melhoria do tráfego de uma interseção localizada na área urbana central de Criciúma, compreendendo a Rua Coronel Marcos Rovaris, Rua Itajaí e a Rua Vidal Ramos. A interseção ainda sofre grande influência de uma via alimentadora, denominada Rua Felipe Schmidt, a qual também será analisada nos estudos. Foram definidas as seguintes etapas para elaboração da pesquisa:

Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Autora (2021).

Para o detalhamento da metodologia, foram descritos nos tópicos a seguir as atividades realizadas em cada uma das etapas:

- I. **Definição dos dados:** a etapa inicial consistiu em definir os dados necessários, passo essencial antes de iniciar estudos de tráfego. Sendo eles:
  - Contagem veicular classificada;
  - Veículos equivalentes;
  - Hora de pico;
  - Tempos e planos semafóricos;
  - Movimentos veiculares permitidos;
  - $V_{15max}$ ;

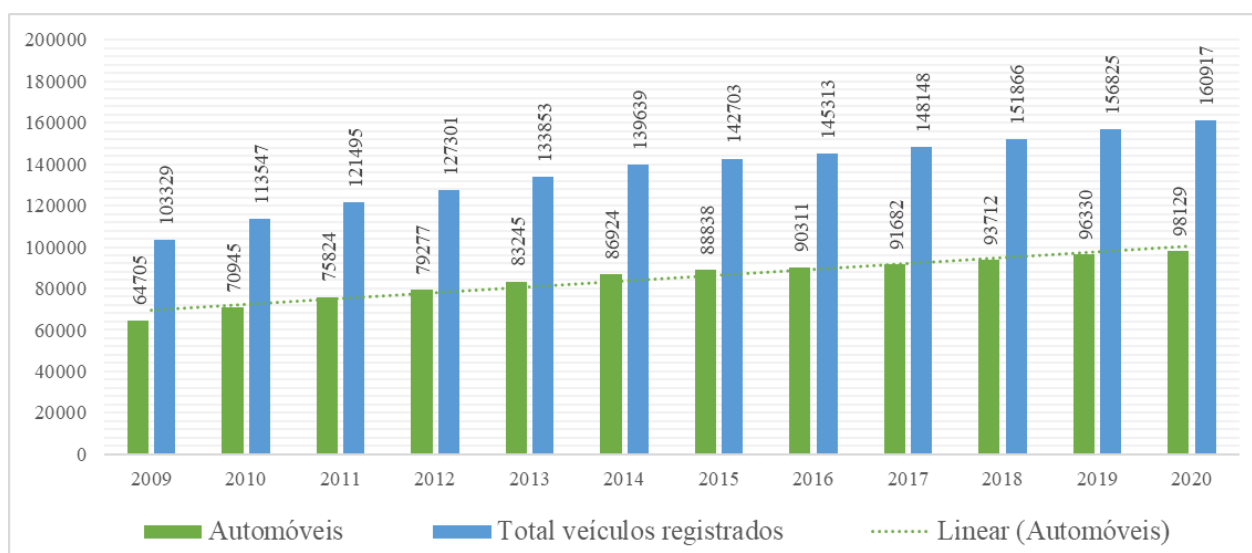


- VHP;
  - Fluxo de saturação por aproximação para cada plano semafórico;
  - Tempo médio em fila;
  - Tempo máximo em fila;
  - Comprimento médio de fila;
  - Comprimento máximo de fila;
- II. **Simplificação dos dados:** nesta etapa, o objetivo foi filtrar dentre os dados que se teve acesso, aqueles que seriam utilizados pela Autora nas análises.
- III. **Redimensionamento semafórico:** para as alterações propostas nos cenários, foram realizados os cálculos para redistribuição dos tempos semafóricos, de acordo com as características impostas na interseção.
- IV. **Modelagem da simulação:** para a modelagem dos cenários simulados, foram realizadas coleta de dados empíricos, além de, características das vias e dos usuários. O conhecimento prévio da região foi essencial para definir vias de redirecionamento dos fluxos nos cenários propostos, para isso, foram realizadas observações in loco.
- V. **Análise e comparação dos resultados:** para avaliar o impacto das alterações propostas, a configuração real foi utilizada como cenário base.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Com aproximadamente 215 mil habitantes, Criciúma é o maior município do sul catarinense, classificado como uma das melhores cidades brasileiras para se fazer negócios, concentrando ao longo de sua história mais de 3 mil unidades comerciais em seu território (BRASIL, 2021b). Em função dessa realidade, é visível o aumento acelerado da frota de veículos, em sua grande maioria, automóveis individuais, conforme dados do Departamento Estadual de Trânsito do Estado de Santa Catarina (DETRAN, 2021) na Figura 7.

Figura 7 – Registro de veículos do município de Criciúma

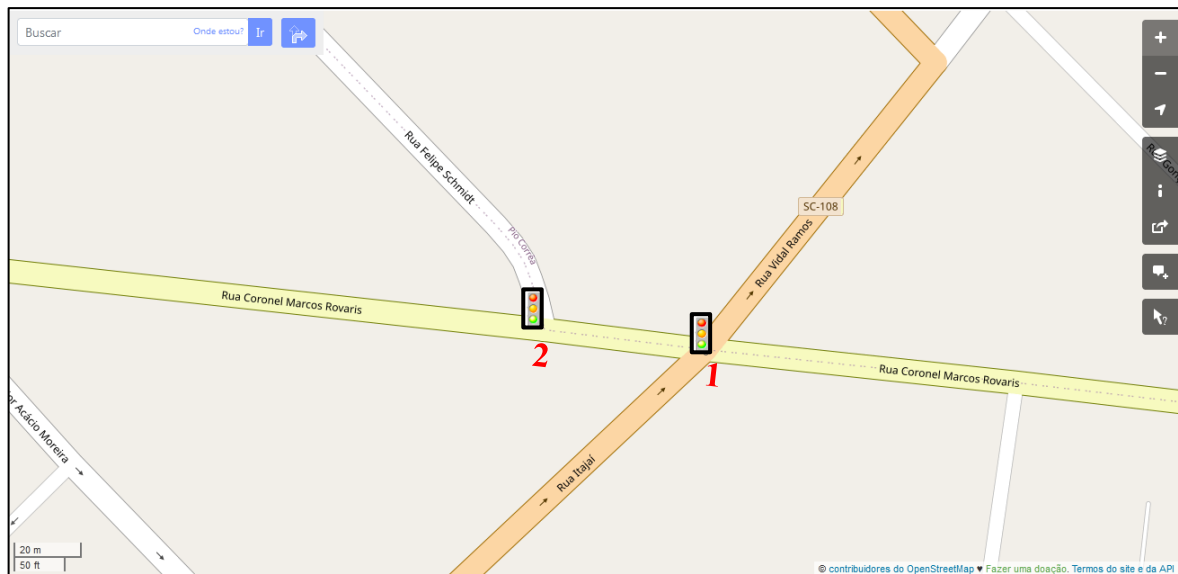


Fonte: adaptado de DETRAN (2021).

Devido a frota crescente, o uso de transporte individual se tornou fonte de problemas relacionado ao fluxo de veículos no município. O presente trabalho, busca apresentar soluções alternativas para o tráfego, resultante do crescente volume de automóveis em uma interseção na área urbana central de Criciúma, localizada entre o Centro e o Bairro Pio Corrêa (Figura 8), onde:

- Interseção 1: cruzamento das Ruas Vidal Ramos e Coronel Marcos Rovaris;
- Interseção 2: cruzamento das Ruas Felipe Schmidt e Coronel Marcos Rovaris.

Figura 8 – Localização das interseções analisadas



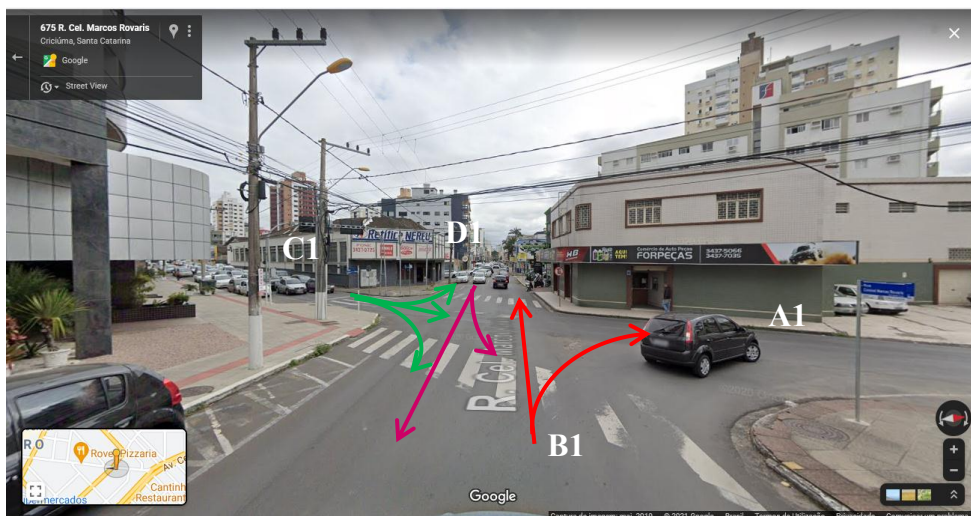
Fonte: adaptada de Open Street Map (2021).

Neste trabalho foi estabelecido que a interseção das Ruas Itajaí e Rua Vidal Ramos com a Rua Coronel Marcos Rovaris é denominada interseção 1, e a Rua Coronel Marcos Rovaris com a Rua Felipe Schmidt, interseção 2.

A região foi escolhida em função de três principais problemáticas:

- I. Devido às permissões de movimentos hoje estabelecidas nas vias, a interseção 1 é dimensionada para um ciclo de quatro estágios, um deles, contendo um delay na interseção 2, agravando o tempo de permanência dos veículos em fila para uso do sistema. Os movimentos acontecem em 4 direções: A1, B1, C1 e D1 (Figura 9).

Figura 9 – Vista da interseção 1 na perspectiva da aproximação B1



Fonte: Google (2019).

- II. Com a distância entre as interseções de, aproximadamente, 41,64 m (Figura 10), se fez necessário o controle do fluxo na interseção 2 através de um semáforo, sinalizado na Figura 11, atuando com uma defasagem em relação ao semáforo da interseção 1. O que resulta no aumento do tempo em fila para os usuários na aproximação D2. Na interseção 2, os movimentos são permitidos em 3 direções: A2, B2 e D2 (Figura 11).

Figura 10 – Distância aproximada entre as interseções estudadas



Fonte: adaptado de Google (2019).

Figura 11 – Vista da interseção 2 na perspectiva da aproximação D2



Fonte: adaptado de Google (2019).

- III. Dada a proximidade entre as duas interseções, outra problemática associada a interseção 2, surge da dificuldade dos veículos que saem da aproximação A2,

entrarem em pelotão para uso do sistema semafórico, fazendo com que os motoristas realizem movimentos equivocados (Figura 12);

Figura 12 – Entrada dos veículos em fila de maneira inadequada



Fonte: adaptado de Google (2019).

Na sequência, descreve-se como foram realizadas as contagens veiculares utilizadas nas análises e simulação dos cenários.

#### 4.1 CONTAGEM VEICULAR CLASSIFICADA

A base de dados das contagens foi disponibilizada pela Diretoria de Trânsito e Transporte da Prefeitura Municipal de Criciúma, com colaboração técnica da empresa Tranzum, executora das contagens veiculares utilizadas. As contagens para as duas interseções, foram realizadas através das câmeras de monitoramento da via, entre o dia 20 às 11h até o dia 21 às 11h de maio de 2019, e projetada para um dia típico, sendo este, das 00h do dia 20 às 00h do dia 21. Destaca-se que os dados que a autora teve acesso correspondem a uma segunda-feira. Nas contagens, os veículos foram classificados em automóveis (car), motos (moto), ônibus (bus) e caminhões (truck).

Os movimentos da interseção 1, permitem visualizar as aproximações de origem dos movimentos e direções permitidas, totalizando 7 movimentos veiculares possíveis. As direções e sentidos para cada movimento veicular são apresentadas na Tabela 3.

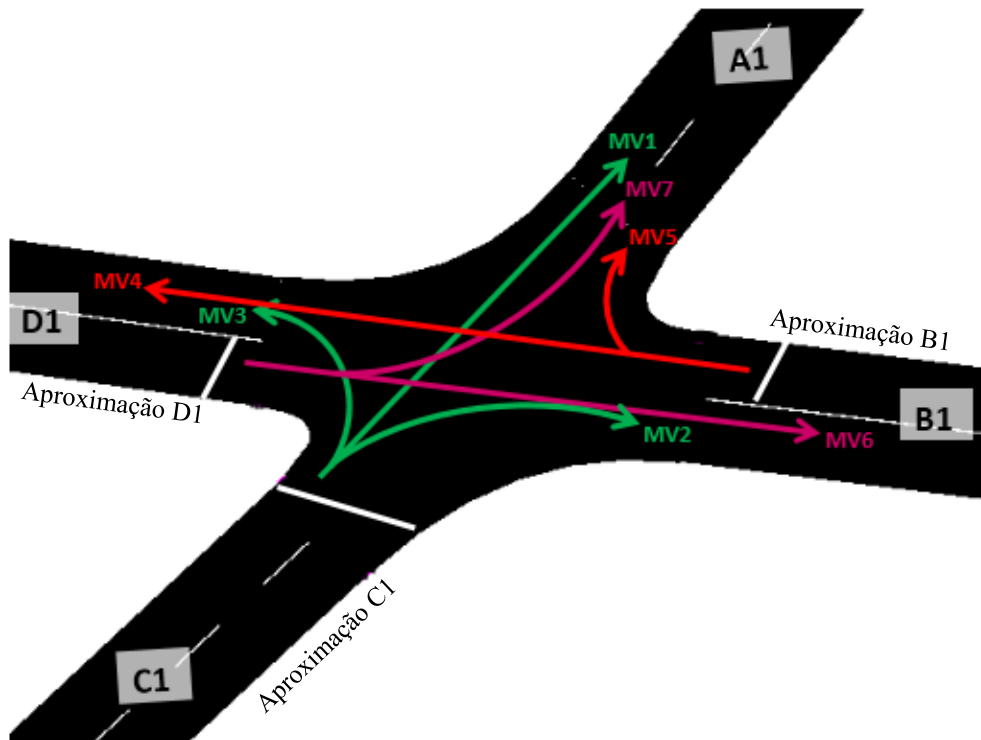
Tabela 3 – Movimentos considerados na contagem da interseção 1

Movimento nº	Direção	Sentido
MV1	C1 -> A1	Rua Itajaí em frente para a Rua Vidal Ramos
MV2	C1 -> B1	Rua Itajaí conversão à direita Rua Coronel Marcos Rovaris
MV3	C1 -> D1	Rua Itajaí conversão à esquerda para Rua Coronel Marcos Rovaris
MV4	B1 -> D1	Rua Coronel Marcos Rovaris em frente
MV5	B1 -> A1	Rua Coronel Marcos Rovaris conversão à direita Rua Vidal Ramos
MV6	D1 -> B1	Rua Coronel Marcos Rovaris em frente
MV7	D1 -> A1	Rua Coronel Marcos Rovaris conversão à esquerda para Rua Vidal Ramos

Fonte: adaptado de Tranzum (2019a, p.2).

O diagrama de movimentos da interseção 1, apresentado na Figura 13, indica as 3 aproximações da interseção com seus respectivos grupos de movimentos. Um conjunto de movimentos veiculares de uma aproximação, recebe simultaneamente o direito de passagem, representados na mesma cor na figura. As aproximações B1 e D1, representadas nas cores vermelha e rosa, respectivamente, são compostas por dois movimentos. Já o grupo de movimentos da aproximação C1, na cor verde, é composto por três movimentos possíveis.

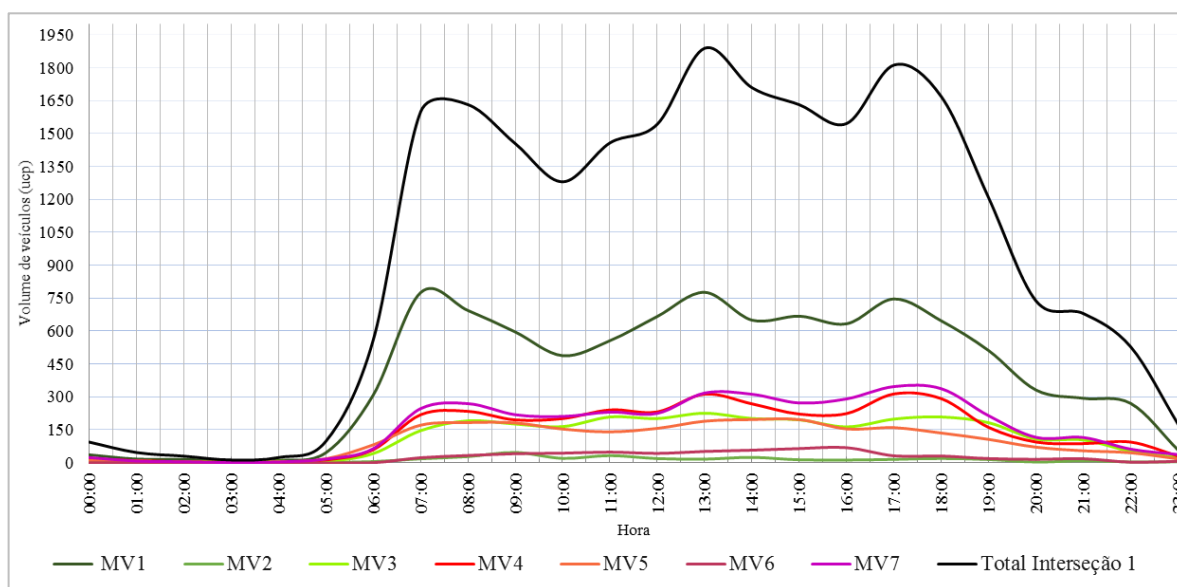
Figura 13 – Diagrama de movimentos interseção 1



Fonte: Autora (2021).

Para visualização dos volumes de veículos para cada movimento veicular, foi traçado o perfil horário destes, ao longo do dia de análise (Figura 14).

Figura 14 – Perfil horário dos movimentos veiculares da interseção 1



Fonte: Autora (2021).

Dos movimentos apresentados, MV1 é aquele que apresenta o maior volume de veículos, e ainda, a aproximação C1 aquela que se sobressai para toda composição veicular da interseção, que por sua vez, é justificada pela maior capacidade da via. Os demais fluxos se distribuem da seguinte forma durante um dia:

Tabela 4 – Composição veicular das aproximações da interseção 1

Origem	Sentido do movimento	CAR	MOTO	TRUCK	BUS
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>5552</b>	<b>436</b>	<b>83</b>	<b>6</b>
Rua Coronel Marcos Rovaris (B1)	Em frente (MV4)	58,6%	67,0%	56,6%	66,7%
	Conversão à direita (MV5)	41,4%	33,0%	43,4%	33,3%
Origem		CAR	MOTO	TRUCK	BUS
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>11912</b>	<b>717</b>	<b>144</b>	<b>115</b>
R. Itajaí (C1)	Em frente (MV1)	75,8%	75,6%	74,3%	98,3%
	Conversão à direita (MV2)	2,2%	1,3%	3,5%	0,9%
	Conversão à esquerda (MV3)	22,0%	23,2%	22,2%	0,9%
Origem		CAR	MOTO	TRUCK	BUS
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>4204</b>	<b>482</b>	<b>49</b>	<b>3</b>
Rua Coronel Marcos Rovaris (D1)	Em frente (MV6)	13,3%	15,1%	22,4%	66,7%
	Conversão à esquerda (MV7)	86,7%	84,9%	77,6%	33,3%

Fonte: Autora (2021).

Apesar do volume de ônibus ser menor, quando comparado aos carros, o elevado número desses veículos na interseção dificulta o uso de rotatória na interseção.

Cerca de 23.703 veículos fazem uso do sistema semafórico da interseção 1 para deslocamento por dia. Destes, 91,4% são automóveis, 6,9% motos, 1,2% caminhões e 0,5% ônibus.

Para a interseção 2, o diagrama de movimentos representado na Figura 15, indica as 3 aproximações da interseção e seus respectivos grupos de movimentos, totalizando 6 movimentos veiculares possíveis, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Movimentos considerados na contagem da interseção 2

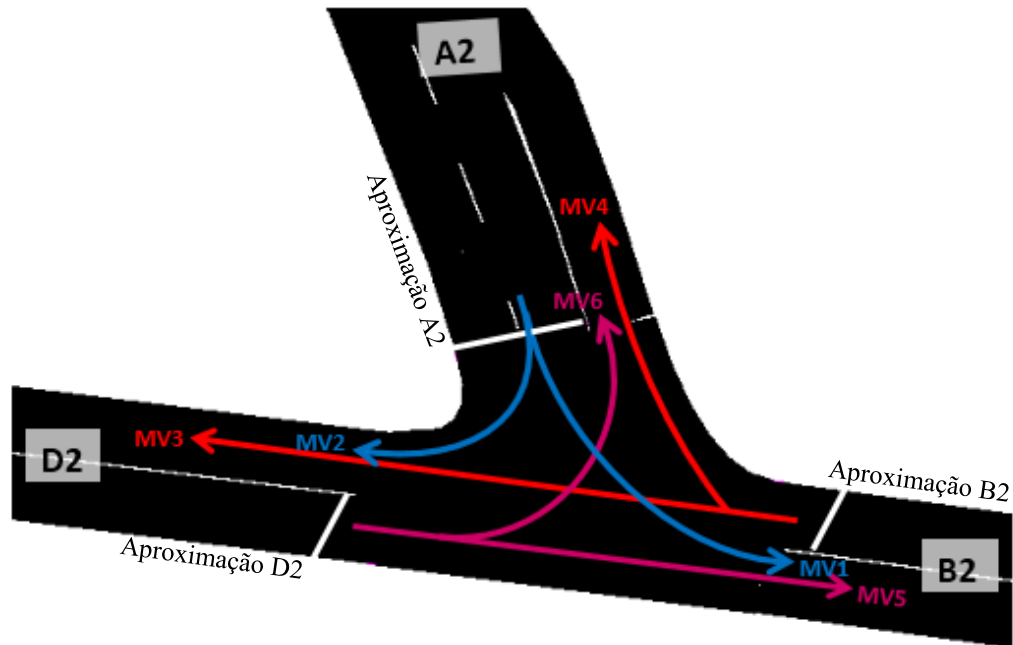
<b>Movimento nº</b>	<b>Direção</b>	<b>Sentido</b>
MV1	A2 -> B2	Rua Felipe Schmidt conversão à esquerda na Rua Coronel Marcos Rovaris
MV2	A2 -> D2	Rua Felipe Schmidt conversão à direita na Rua Coronel Marcos Rovaris
MV3	B2 -> D2	Rua Coronel Marcos Rovaris em frente
MV4	B2 -> A2	Rua Coronel Marcos Rovaris com conversão à direita na Rua Felipe Schmidt
MV5	D2 -> B2	Rua Coronel Marcos Rovaris em frente
MV6	D2 -> A2	Rua Coronel Marcos Rovaris conversão à esquerda na Rua Felipe Schmidt

Fonte: adaptado de Tranzum (2019b, p.2).

Dos movimentos permitidos na interseção 2, somente aqueles que têm origem em D2 são controlados por semáforo, programado com um delay em relação a aproximação D1. Em A2, o conjunto de movimentos devem aguardar pelo direito de passagem, visto que a preferência é dos movimentos das demais aproximações. Cada grupo de movimentos da interseção 2 é composto por 2 movimentos permitidos, apresentados na Figura 15.



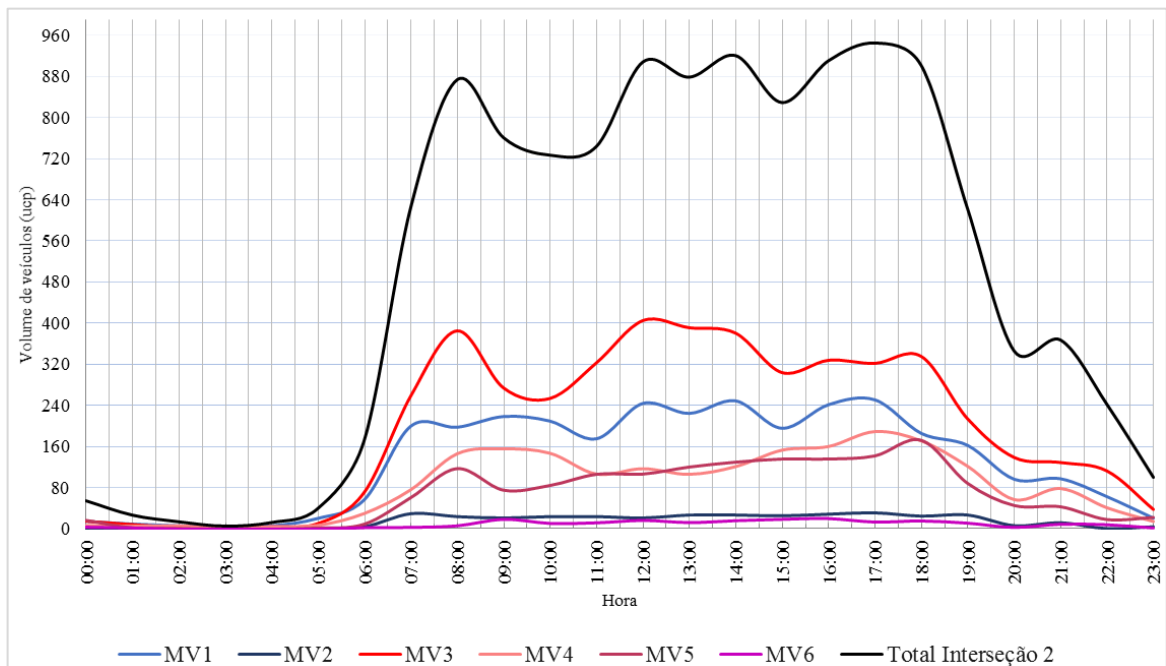
Figura 15 – Diagrama de movimentos da interseção 2



Fonte: Autora (2021).

Na interseção 2, o perfil horário dos movimentos de tráfego é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Perfil horário dos movimentos veiculares da interseção 2



Fonte: Autora (2021).

Os dois movimentos com maiores volumes são MV3 e MV1, os quais se interceptam, logo, são movimentos conflitantes.

A composição veicular por movimento se dá da seguinte maneira:

Tabela 6 – Composição veicular das aproximações da interseção 2

Origem	Movimento	CAR	MOTO	TRUCK	BUS
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>3228</b>	<b>338</b>	<b>37</b>	<b>5</b>
Rua Felipe Schmidt (A2)	À esquerda (MV1)	89,7%	90,5%	86,5%	100,0%
	Conversão à direita (MV2)	10,3%	9,5%	13,5%	0,0%
<b>Origem</b>	<b>Movimento</b>	<b>CAR</b>	<b>MOTO</b>	<b>TRUCK</b>	<b>BUS</b>
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>6215</b>	<b>571</b>	<b>71</b>	<b>15</b>
Rua Coronel Marcos Rovaris (B2)	Em frente (MV3)	69,8%	67,8%	78,9%	80,0%
	Conversão à direita (MV4)	30,2%	32,2%	21,1%	20,0%
<b>Origem</b>	<b>Movimento</b>	<b>CAR</b>	<b>MOTO</b>	<b>TRUCK</b>	<b>BUS</b>
<b>Fluxo (vpd)</b>		<b>1665</b>	<b>184</b>	<b>27</b>	<b>1</b>
Rua Coronel Marcos Rovaris (D2)	Em frente (MV5)	89,1%	94,0%	81,5%	100,0%
	Conversão à esquerda (MV6)	10,9%	6,0%	18,5%	0,0%

Fonte: Autora (2021).

A menor presença de ônibus na interseção se dá pelo fato dessa via não ser contemplada pelas linhas de transporte público, ficando evidente a maior presença dos demais veículos na interseção, a este.

A interseção 2 é utilizada por cerca de 12.357 veículos por dia, sendo 89,9% automóveis, 8,8% motos, 1,1% caminhões e 0,2% ônibus.

Nos dados brutos da contagem volumétrica, os registros foram feitos a cada 15 minutos, e posteriormente, agregadas por intervalos de horas. Os veículos equivalentes são descritos na coluna PCU (unidade de carro de passeio) e o somatório total dos veículos contados no intervalo, na coluna VEC (Figura 17).

As contagens foram realizadas para cada um dos movimentos apresentados nos diagramas de conflitos das Figuras 13 e 15. Para o intervalo de 24h foram contabilizados os volumes de veículos, de acordo com a composição de tráfego das vias, registrando-os em intervalos de 15 em 15 minutos. Para exemplificar como foram agrupados esses dados, é apresentado na Figura 17, informações referentes ao movimento veicular 1 da aproximação C1. Os dados das aproximações que a Autora teve acesso, são apresentados nos Anexos D e E.

Figura 17 – Contagem veicular classificatória a cada do movimento 1 na interseção 1

Período Manhã									Período Tarde								
Período de	até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de	até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
0:00	0:15	11	3	0	0	0	13	14	12:00	12:15	172	12	5	4	0	194	191
0:15	0:30	6	1	0	0	0	7	7	12:15	12:30	137	11	2	3	0	154	153
0:30	0:45	11	4	0	0	0	13	15	12:30	12:45	127	6	1	4	0	141	138
0:45	1:00	3	0	0	0	0	3	3	12:45	13:00	171	9	0	2	0	180	182
1:00	1:15	3	0	0	0	0	3	3	13:00	13:15	177	5	0	3	0	186	185
1:15	1:30	3	0	0	0	0	3	3	13:15	13:30	208	7	1	0	0	214	216
1:30	1:45	5	0	0	0	0	5	5	13:30	13:45	181	9	2	1	0	193	193
1:45	2:00	4	1	0	0	0	5	5	13:45	14:00	172	7	5	1	0	185	183
2:00	2:15	2	0	0	0	0	2	2	14:00	14:15	161	12	3	2	0	179	178
2:15	2:30	5	0	0	0	0	5	5	14:15	14:30	141	9	3	0	0	153	153
2:30	2:45	3	0	0	0	0	3	3	14:30	14:45	139	8	2	3	0	154	152
2:45	3:00	4	0	0	0	0	4	4	14:45	15:00	150	9	5	0	0	165	163
3:00	3:15	1	0	0	0	0	1	1	15:00	15:15	172	9	0	1	0	179	182
3:15	3:30	1	0	0	0	0	1	1	15:15	15:30	155	19	3	2	0	176	179
3:30	3:45	2	0	0	0	0	2	2	15:30	15:45	147	8	3	1	0	161	159
3:45	4:00	3	0	0	0	0	3	3	15:45	16:00	145	6	2	0	0	153	153
4:00	4:15	1	1	0	0	0	2	2	16:00	16:15	136	10	2	0	0	146	148
4:15	4:30	1	2	0	0	0	2	3	16:15	16:30	127	6	5	2	0	147	140
4:30	4:45	1	0	0	0	0	1	1	16:30	16:45	151	4	3	1	0	163	159
4:45	5:00	5	0	0	0	0	5	5	16:45	17:00	169	6	1	2	0	179	178
5:00	5:15	3	1	0	1	0	6	5	17:00	17:15	165	13	0	1	0	174	179
5:15	5:30	10	0	0	0	0	10	10	17:15	17:30	179	12	1	3	0	194	195
5:30	5:45	8	0	0	0	0	8	8	17:30	17:45	195	9	2	3	0	211	209
5:45	6:00	20	2	0	0	0	21	22	17:45	18:00	160	6	1	2	0	170	169
6:00	6:15	12	1	0	1	0	15	14	18:00	18:15	159	13	0	1	0	168	173
6:15	6:30	47	4	0	2	0	53	53	18:15	18:30	178	5	1	3	0	189	187
6:30	6:45	65	12	2	3	0	82	82	18:30	18:45	136	3	1	1	0	142	141
6:45	7:00	137	21	2	3	0	169	163	18:45	19:00	142	4	0	2	0	148	140
7:00	7:15	193	14	2	5	0	215	214	19:00	19:15	137	3	0	1	0	141	141
7:15	7:30	179	11	1	2	0	191	193	19:15	19:30	149	2	0	1	0	152	152
7:30	7:45	164	8	1	2	0	175	175	19:30	19:45	110	6	0	0	0	113	116
7:45	8:00	175	19	2	3	0	198	199	19:45	20:00	103	4	0	0	0	105	107
8:00	8:15	191	5	2	1	0	201	199	20:00	20:15	88	4	1	0	0	93	93
8:15	8:30	151	16	1	3	0	165	165	20:15	20:30	75	1	0	2	0	80	78
8:30	8:45	155	6	4	1	0	170	166	20:30	20:45	73	8	0	1	0	79	82
8:45	9:00	140	8	9	0	0	159	154	20:45	21:00	78	3	0	0	0	80	81
9:00	9:15	145	16	4	3	0	168	162	21:00	21:15	65	6	1	0	0	71	72
9:15	9:30	124	7	1	0	0	130	132	21:15	21:30	76	8	0	0	0	80	84
9:30	9:45	149	6	2	2	0	161	159	21:30	21:45	59	3	1	0	0	63	63
9:45	10:00	126	12	2	1	0	139	141	21:45	22:00	71	5	0	3	0	80	79
10:00	10:15	120	3	3	1	0	131	127	22:00	22:15	99	3	0	3	0	107	105
10:15	10:30	122	6	0	1	0	127	129	22:15	22:30	70	5	0	7	0	87	82
10:30	10:45	108	5	4	2	0	125	119	22:30	22:45	44	3	0	3	0	52	50
10:45	11:00	95	10	2	0	0	105	107	22:45	23:00	22	2	0	1	0	25	25
11:00	11:15	123	14	4	3	0	146	144	23:00	23:15	10	2	0	0	0	11	12
11:15	11:30	109	5	2	1	0	116	114	23:15	23:30	23	1	0	0	0	24	24
11:30	11:45	113	7	6	1	0	134	127	23:30	23:45	9	0	0	0	0	9	9
11:45	12:00	148	13	2	1	0	162	164	23:45	0:00	11	4	0	0	0	13	15

Fonte: Tranzum (2019a, p. 20).

A nível de simulação, os dados veiculares foram utilizados de maneira desagregada, caracterizando a microssimulação, com diferentes veículos com suas particularidades interagindo na rede.

Utilizando esses dados, foi realizada a análise horária do volume de automóveis, em unidade de carro de passeio, agregada por interseções, possibilitando visualizar o comportamento dos automóveis ao longo do tempo com origem em cada aproximação. Analisando a interseção de maneira conjunta, foram representadas pela curva na cor preta nas Figuras 18 e 19, o total de unidades de carros de passeio na interseção por hora ao longo do dia.

Figura 18 – Volume horário de veículos na interseção 1 em unidade de carro de passeio

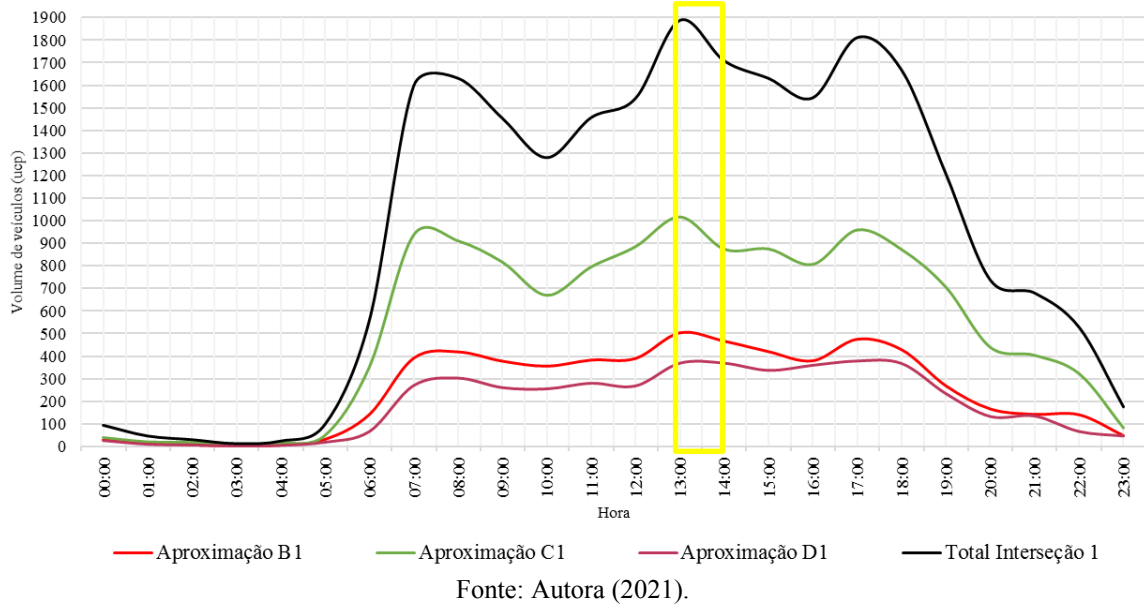
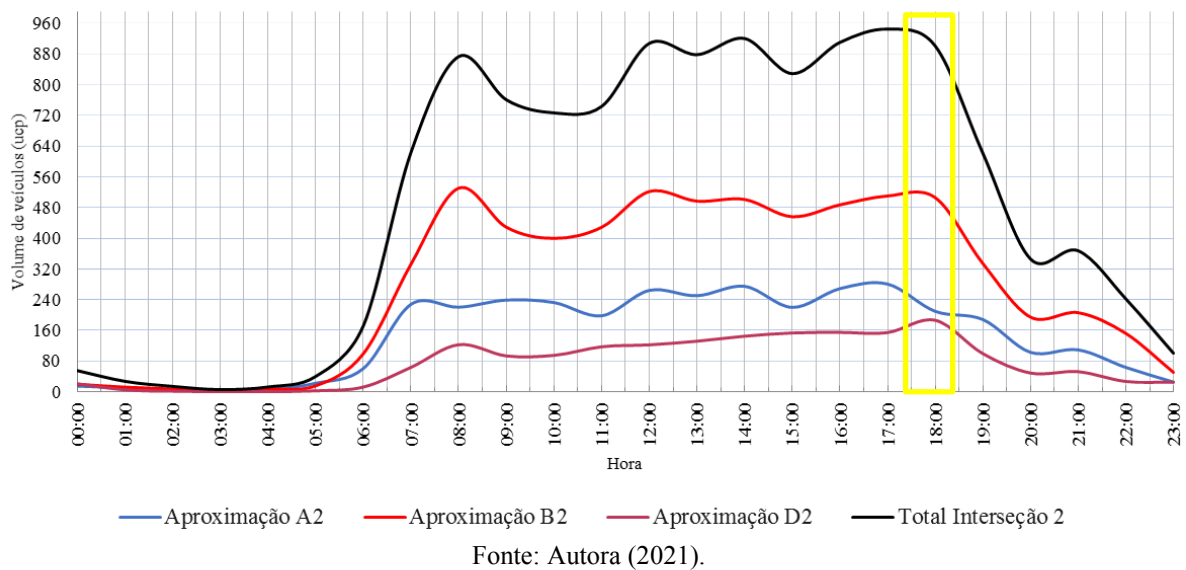


Figura 19 – Volume horário de veículos na interseção 2 em unidade de carro de passeio



Analisando os gráficos, foram estabelecidas as faixas de hora pico e seus respectivos volumes nas interseções. Na interseção 1, a hora pico é identificada entre 13:15h até às 14:15h, onde passam cerca de 1.908 unidades de carro de passeio. Já na interseção 2, com hora pico definida das 17:30h às 18:30h, passam por volta de 960 unidades de carro de passeio.

Analisando o volume de veículos em unidade de carro de passeio, na matriz origem-destino das interseções (Tabelas 7 e 8), determina-se que a via principal para a interseção 1, é a Rua Itajaí e Rua Vidal Ramos (origem em C1) com maior volume de veículos por dia, e a via secundária, a Rua Coronel Marcos Rovaris (origens em D1 e B1). Na interseção 2, a rua

principal é a Rua Coronel Marcos Rovaris (origens em D2 e B2), e a secundária, a Rua Felipe Schmidt (origem em A2).

Tabela 7 – Matriz origem-destino da interseção 1

O/D	A1	B1	C1	D1
A1				
B1	2467			3523
C1	9793	282		2786
D1	3946	628		

Fonte: Tranzum (2019a, p.4).

Tabela 8 – Matriz origem-destino da interseção 2

O/D	A2	B2	D2
A2		3139	361
B2	2010		4699
D2	199	1628	

Fonte: Tranzum (2019b, p.4).

Com os dados das contagens, determinou-se o  $V_{15máx}$ , VHP, FHP. Permitindo a análise da interseção 1 de maneira agregada e desagregada (Tabela 9). Visto que a programação semafórica é realizada para a interseção 1, a definição de parâmetros a serem usados posteriormente nas simulações, foram baseados somente nela. Definiu-se dois horários para as análises: a hora pico da manhã e à tarde para essa interseção.

Tabela 9 – Valores das variáveis de fluxo da interseção 1

Aproximação	Período	Intervalo $V_{15MAX}$		$V_{15MAX}$	VHP	FHP
B1	Manhã	07:45	08:00	134	456	0,85
	Tarde	13:15	13:30	129	504	0,98
C1	Manhã	07:45	08:00	269	975	0,91
	Tarde	13:15	13:30	279	1043	0,93
D1	Manhã	07:45	08:00	97	341	0,88
	Tarde	17:00	17:15	106	381	0,90

Interseção 1					
Manhã	07:45	08:00	500	1757	0,88
Tarde	13:15	13:30	502	1942	0,97

Fonte: Autora (2021).

É possível visualizar que o intervalo de 15 minutos de maior volume de tráfego varia somente no período da tarde ao analisar as aproximações separadamente. Para o período da manhã, das 07:45h às 8:00h acontece o intervalo  $V_{15máx}$  para todas as aproximações de análise, e conseqüentemente, da interseção 1 de maneira geral. No período da tarde, a aproximação D1

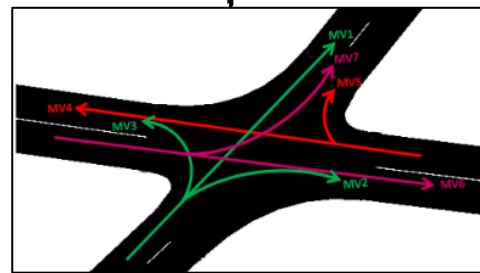
registrou o  $V_{15\text{máx}}$  na faixa das 17h às 17:15h, contudo, é possível notar pelas demais aproximações que o  $V_{15\text{máx}}$  da interseção 1 é predominante no início da tarde, no período entre 13:15h às 13:30h.

#### 4.2 MOVIMENTOS CONFLITANTES

Com a análise dos conflitos é possível entender os movimentos permitidos em cada interseção, assim como, as possíveis escolhas dos usuários nas aproximações. Como em nenhuma das interseções existem semáforos para pedestres, os movimentos conflitantes são baseados somente nos movimentos dos veículos. Para a interseção 1, os movimentos conflitantes são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Movimentos conflitantes da interseção 1

MV	1	2	3	4	5	6	7
1				x	x	x	x
2						x	
3				x		x	x
4	x		x				x
5	x						x
6	x	x	x				
7	x		x	x	x		

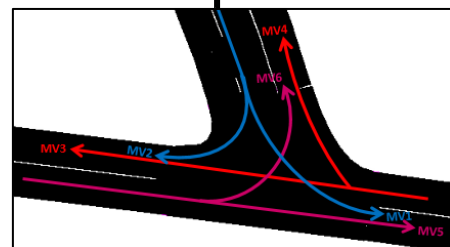


Fonte: Autora (2021).

Os movimentos conflitantes da interseção 2 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Movimentos conflitantes da interseção 2

MV	1	2	3	4	5	6
1			x		x	x
2			x			
3	x	x				x
4						x
5	x					
6	x		x	x		



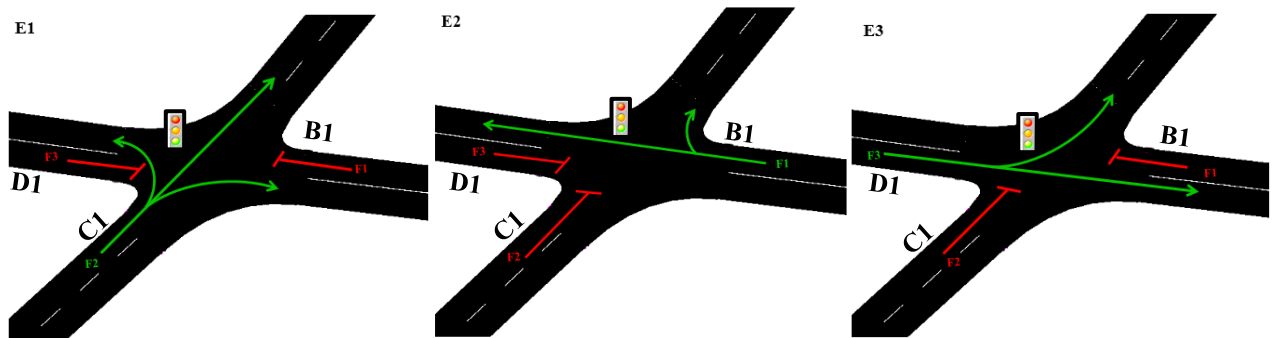
Fonte: Autora (2021).

O gerenciamento dos conflitos nas interseções deve ser baseado em uma rotina de análise, que de acordo com a literatura, abrange: identificar problemas, determinar prováveis causas e propor soluções. Algumas possíveis medidas podem ser encontradas no Anexo C.

### 4.3 DIAGRAMA DE ESTÁGIOS

O diagrama de estágios mostra o comportamento das indicações luminosas do semáforo da interseção 1 (Figura 20). Com E1, E2, E3 e E4 representando os estágios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

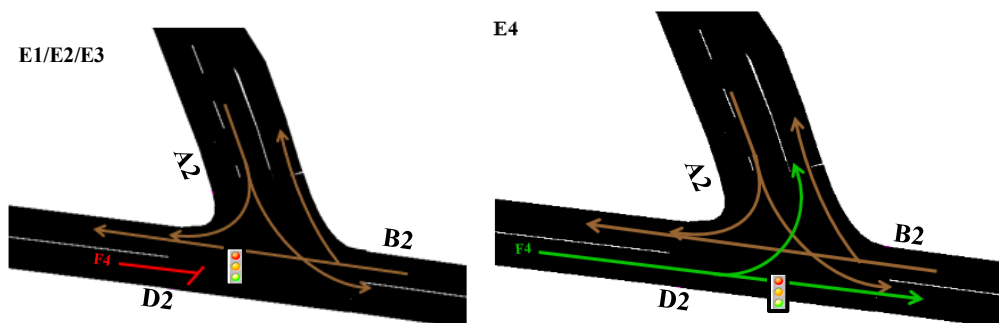
Figura 20 – Diagrama de fases no ano de 2019 até atualmente da interseção 1



Fonte: Autora (2021).

Já na interseção 2, existe uma defasagem da fase F3 da interseção 1, implantado na aproximação D2. Para os demais movimentos descritos na Figura 21, na cor marrom, o direito de passagem é livre.

Figura 21 – Diagrama de fases no ano de 2019 até atualmente da interseção 2



Fonte: Autora (2021).

A estratégia de controle utilizada é de tempos fixos, que são adaptados para diferentes planos semafóricos ao longo do dia, sendo que, cada plano contém a programação semafórica adequada ao fluxo de veículos da presente faixa horária do dia. Os planos semafóricos para o ano base, se manteve inalterado desde 19 de dezembro de 2013, onde recebeu o último ajuste. A programação semafórica da interseção 1 ao longo de um dia, é apresentada no Apêndice A.

#### 4.4 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Para realizar a simulação, foi necessário definir parâmetros da rede, das rotas e dos fluxos ajustados para utilização. As principais configuração da demanda inserida na simulação definidas no arquivo denominado “vehicles.rou.xml”, foram:

- Identificação do veículo (Id): nome correspondente a uma classe de veículo;
- Tipos de veículos (vType): corresponde a uma agregação de características e ajustes para calibração do modelo comportamental de um tipo veículo criado;
- Classe de veículo (vClass): corresponde a classe abstrata de veículo;
- Comprimento do veículo (length): o comprimento correspondente para cada tipo de veículo na simulação;
- Headway (minGap): espaço vazio, em metros, do veículo líder;
- Velocidade máxima (maxSpeed): a velocidade máxima do veículo em m/s;
- Aceleração (accel): o quanto a velocidade do veículo aumenta a cada metro;
- Desaceleração (decel): o quanto a velocidade do veículo diminui a cada metro;
- Cor (color): cor atribuída a uma classe de veículo na simulação.

Os parâmetros foram ajustados com base na observação das classes de veículos durante a coleta de dados empíricos, além, da análise dos técnicos do órgão de trânsito local e da percepção da analista.

Tabela 12 – Ajustes das classes de veículos da simulação

<b>Identificação</b>	<b>Classe</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Accel</b>	<b>Decel</b>	<b>Headway</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Cor</b>
	-	<b>metros</b>	<b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/s</b>	-
vType car	Passenger	4,5 m	2,5	4,5	1,5	13,89	Green
vType moto	Motorcycle	2,5 m	3,0	4,5	1,0	13,89	Blue
vType truck	Truck	6,0 m	2,4	4,5	2,0	13,89	Gray
vType bus	Bus	12,0 m	2,4	4,5	2,0	13,89	Yellow

Fonte: Autora (2021).

As configurações da Tabela 12 foram utilizadas para criação de veículos que, posteriormente, foram inseridos na simulação para criação de fluxos (flow). Para a criação dos fluxos, outras características utilizadas foram:

- Identificação do fluxo (Id): o nome de identificação dado ao fluxo;



- Tipo de veículo (type): a identificação da classe de veículo que foi instituída naquele fluxo;
- Início/fim (begin/end): tempo de início e fim do fluxo na simulação, em segundos, para todos os cenários os mesmos intervalos foram considerados, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Intervalos dos fluxos utilizados na simulação

	Início/fim (segundos)	Intervalo correspondente (horas)
Manhã	25200/27000	07:00 - 07:30
	27001/27900	07:30:01 - 07:45
	27901/28800	07:45:01 - 08:00
	28801/29700	08:00:01 - 08:15
	29701/30600	08:15:01 - 08:30
	30601/32400	08:30:01 - 09:00
Tarde	45900/47700	12:45 - 13:15
	47701/48600	13:15:01 - 13:30
	48601/49500	13:30:01 - 13:45
	49501/50400	13:45:01 - 14:00
	50401/51300	14:00:01 - 14:15
	51301/53100	14:15:01 - 14:45

Fonte: Autora (2021).

Os períodos entre 7:00h às 7:30h e 8:30h às 9h não são considerados nas análises da manhã, e entre 12:45h às 13:15h e 14:15h às 14:45h desconsiderados da análise da tarde, sendo estes os tempos de warm up ou aquecimento da rede.

Dos parâmetros para inserção dos fluxos de veículos, os mais importantes, são:

- Velocidade de entrada na rede (departSpeed): a velocidade com que o veículo deve ser inserido na simulação;
- Início e fim (from/to): o nome do edge (como são chamadas as ruas no NetEdit) de início e fim, respectivamente, de um fluxo de veículos;
- Número de veículos (number): número de veículos gerados no intervalo.

Para cada intervalo descrito da Tabela 13, criou-se um fluxo para a composição de veículos existente no respectivo intervalo. Os edges de origem e destino, mudam de acordo com cada aproximação, assim como, a identificação para cada fluxo. Essas configurações, são mostradas no Apêndice B. Os dados de fluxo total inseridos foram incluídos no Apêndice C.

Após a criação dos fluxos, as conversões à esquerda e à direita foram inseridas através de um additional, sendo este, um conjunto de configuração de rede adicional que

redireciona os veículos para outros destinos, de acordo com uma probabilidade. Os principais elementos para criação de um additional, são:

- Borda onde acontecem os desvios (edges): identificação do edge onde os veículos devem ser redirecionados;
- Borda de destino desses desvios (destProbReroute): identificação do edge onde os veículos irão ao serem redirecionados;
- Probabilidade de redirecionamento (probability): a probabilidade de redirecionamento do veículo;
- Tipo de veículos (vTypes): identificação da classe de veículo para os quais o redirecionamento será aplicado;
- Início/fim (begin/end): definem o intervalo de aplicação do rerouter.

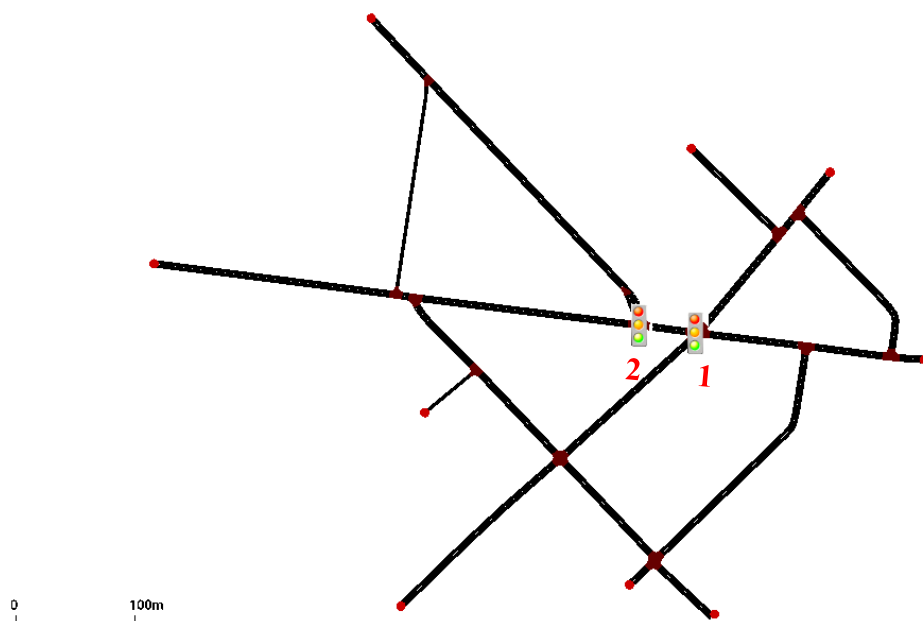
A criação do rerouter, assim como os ajustes classificatórios e direcionais, são apresentados detalhadamente no Apêndice C.

Por fim, as configurações de rede foram ajustadas exclusivamente através do NetEdit. Alguns dos parâmetros estabelecidos, foram nomes das ruas (ou edges), nomes das interseções (ou junctions), prioridades das vias, comprimento das ruas, velocidade permitida e semáforos. Essas configurações são apresentadas no Apêndice D.

## 5. CENÁRIOS SIMULADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

Definiu-se a área de abrangência da simulação como sendo as vias que ligam as interseções 1 e 2, contudo, como a possibilidade de alterações de sentido de vias foram consideradas como possíveis soluções, algumas vias auxiliares foram mantidas (Figura 22). Sendo esta, a mesma região para todos os cenários.

Figura 22 – Área utilizada na simulação



Fonte: Autora (2021).

Para cada um dos cenários foi realizada a simulação em 2 horários distintos do dia, tendo como principal parâmetro para a definição dos intervalos, o volume de veículos na interseção 1, pois é a interseção onde se tem efetivamente a programação semafórica. O semáforo da interseção 2, trata-se de uma defasagem localizada na aproximação D2. Os horários definidos foram:

- 7:00h às 9:00h da manhã, contemplando o pico da manhã entre as 7:30h e 8:30h; e
- das 12:45h às 14:45h, com o pico da tarde entre 13:15h e 14:15h.

As análises, para todos os cenários, foram realizadas entre as janelas de tempos:

- 27000s até 30600s, ou seja, das 07:30h até 8:30h, ou seja, 1h durante a manhã; e
- 47700s até 51300s, ou seja, das 13:15h às 14:15h, 1h durante a tarde.

Na janela de tempo em que foram simulados, os planos em funcionamento e tempos de ciclo, são expostos na Tabela 14.

Tabela 14 – Dados da análise dos cenários propostos

Plano	Faixa horária do plano	Horário de funcionamento na simulação	Tempo de ciclo
P2	7:00h – 11:00h	7:00h – 9:00h	110
P3	11:00h – 14:00h	12:45h – 14:00h	130
P2	14:00h – 16:30h	14:00h – 14:45h	110

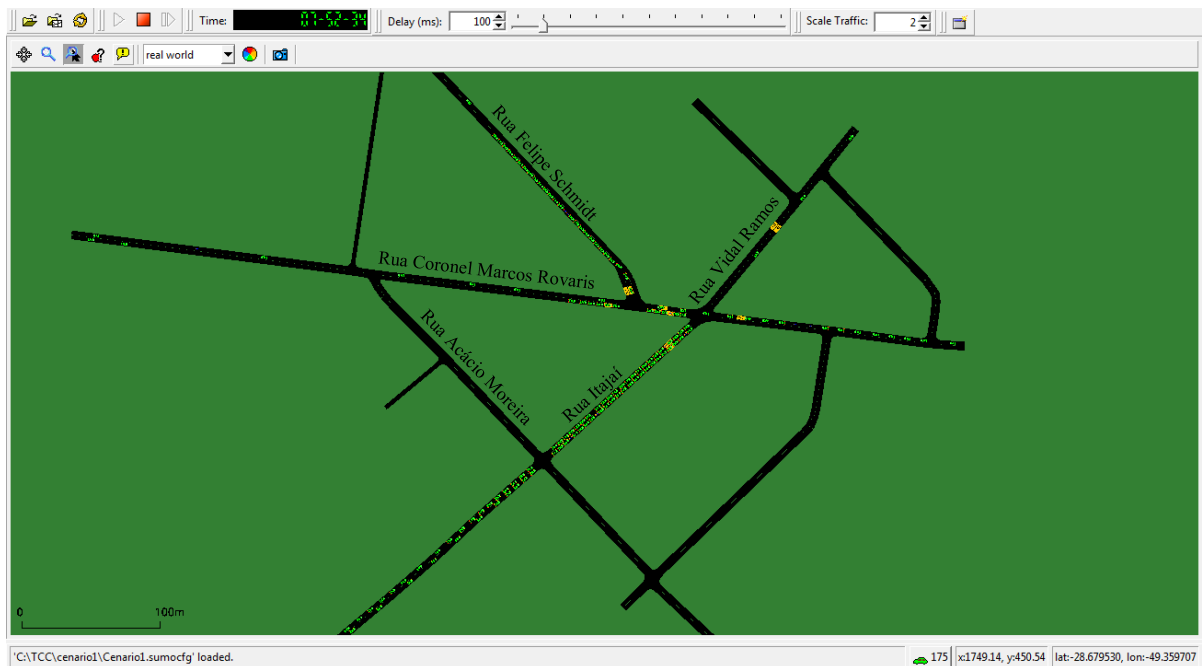
Fonte: Autora (2021).

Dessa forma pode-se apresentar o cenário base e os cenários propostos para serem avaliados posteriormente.

## 5.1 CENÁRIO BASE

O primeiro cenário simulado, serve como principal parâmetro sobre o comportamento dos veículos para a atual configuração da rede, em comparação com as alterações realizadas, sendo este, o cenário base.

Figura 23 – Captura de imagem da simulação do cenário real pela manhã

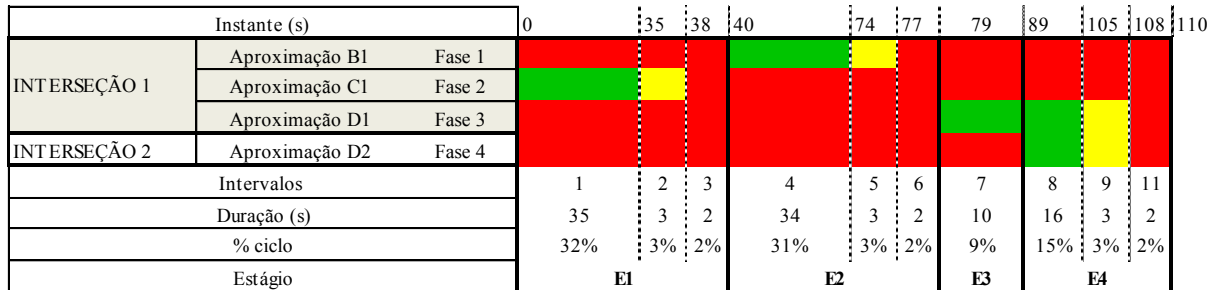


Fonte: Autora (2021).

No cenário base, a interseção 1 é programada para um ciclo de 4 estágios, tal que, o quarto estágio é referente ao delay na aproximação D2 da interseção 2. Para as faixas de

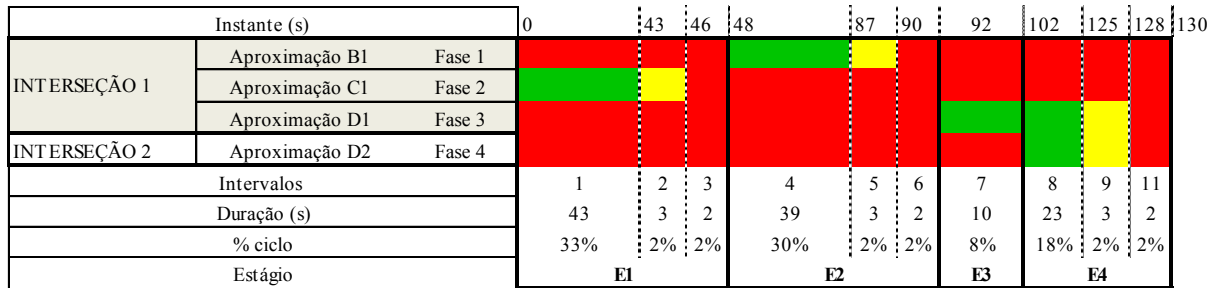
horário em que foram simulados, os planos semafóricos são representados pelos seguintes diagramas de tempos:

Figura 24 – Diagrama de tempos do plano P2



Fonte: Autora (2021).

Figura 25 – Diagrama de tempos do plano P3



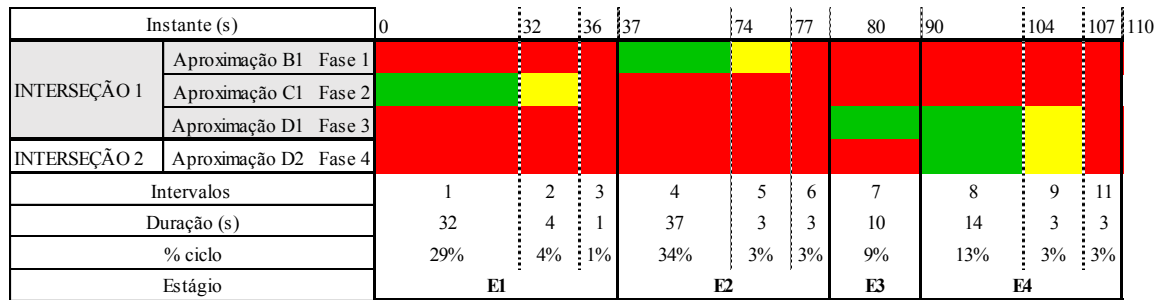
Fonte: Autora (2021).

A partir deste, foram realizadas as alterações propostas nos cenários 1, 2 e 3 apresentados a seguir.

## 5.2 CENÁRIO 1

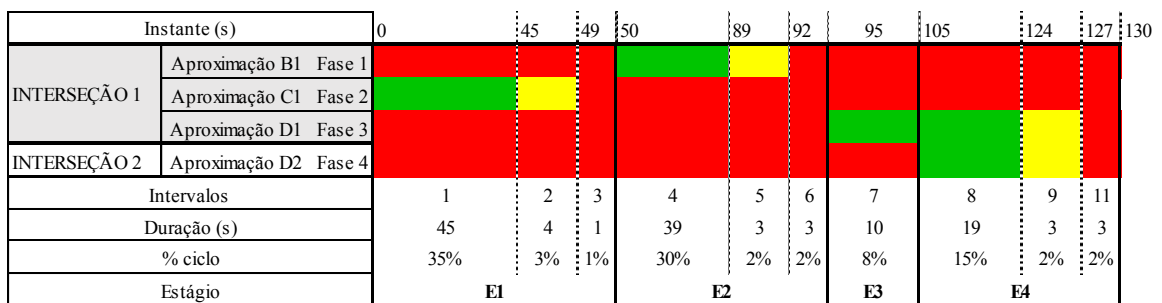
O cenário 1 teve como principal proposta reavaliar os tempos semafóricos da interseção 1, mantendo os mesmos tempos de ciclo e mesma configuração de rede. Os resultados da análise apresentados no Apêndice E. Os respectivos diagramas de tempos são apresentados nas Figuras 26 e 27, e posteriormente, simuladas no SUMO.

Figura 26 – Diagrama de tempos para o plano P2 do cenário 1



Fonte: Autora (2021).

Figura 27 – Diagrama de tempos para o plano P3 no cenário 1



Fonte: Autora (2021).

Para o plano P2, na Figura 26, a principal diferença está nos tempos de verde dos estágios. O estágio E2, foi aquele com maior tempo de verde efetivo, o que pode ser justificado pela configuração oblíqua da interseção 1. Em sua grande maioria, os movimentos provenientes da aproximação B1 se movem da direção mais a leste, para a direção mais a nordeste, realizando uma curva de aproximadamente  $122^\circ$ , fazendo com que os veículos reduzam expressivamente a velocidade nessa conversão. Existem fatores que afetam o fluxo de saturação em relação às condições da via, entre os mais importantes estão a topografia, geometria, o número e a largura das faixas, fatores que afetam fortemente a interseção 1.

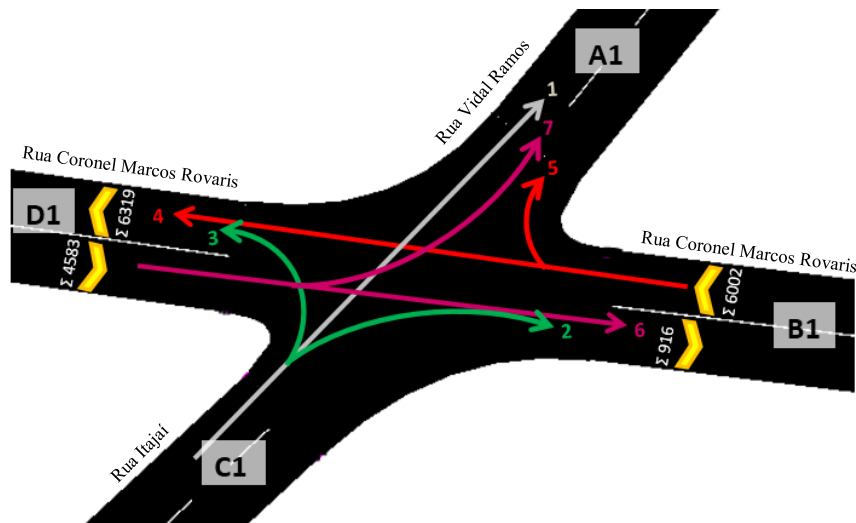
Os tempos de amarelo foram ajustados conforme a literatura, de acordo com a velocidade máxima permitida na via, 50 km/h (ou 13,89 m/s) para a aproximação C1 e 40 km/h (ou 11,11 m/s) nas aproximações B1 e D1. Já o tempo de vermelho geral, calculado de acordo com as características das aproximações.

De maneira análoga, para o plano P3, na Figura 27, foram ajustados os tempos de amarelo e vermelho geral. De acordo com os cálculos, resultou em um aumento no tempo de verde para o estágio E1 e a diminuição do tempo de verde no estágio E3, em relação ao atual. No estágio E2 o tempo de verde se manteve o mesmo.

### 5.3 CENÁRIO 2

No cenário 2, segundo cenário proposto, avaliou-se a alteração de sentido de via na Rua Coronel Marcos Rovaris, fazendo com que trechos dela tivessem sentido único. Para tal mudança, foi observado o volume total de veículos ao longo do dia, para os movimentos veiculares realizados sentido leste e sentido oeste na via em questão (Figura 28).

Figura 28 – Análise do fluxo em unidade de carro de passeio na interseção 1

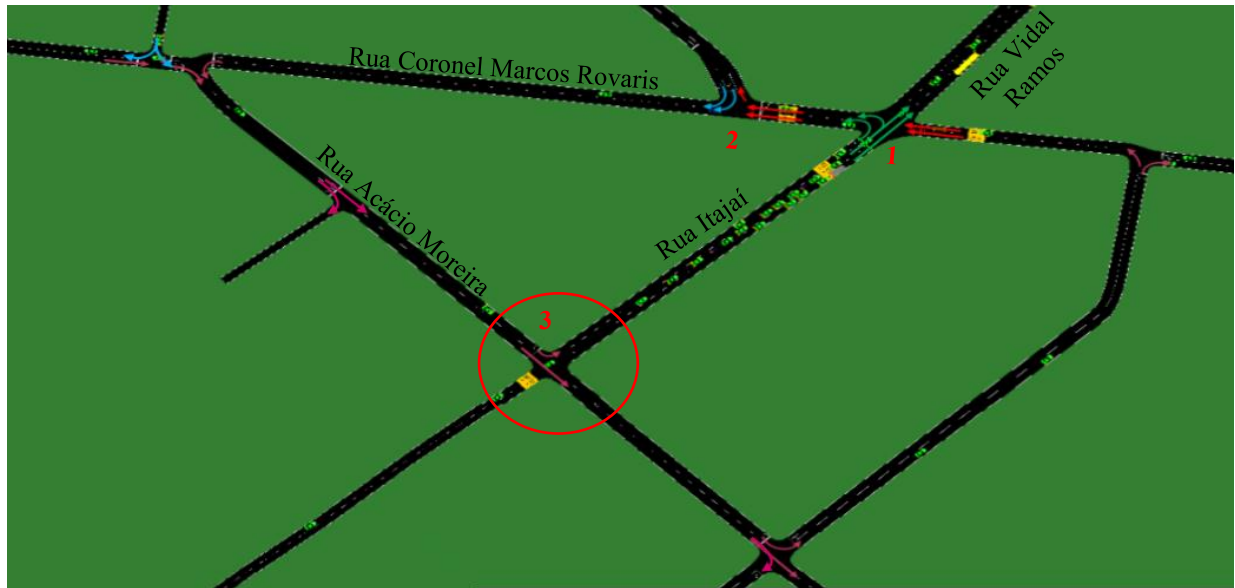


Fonte: Autora (2021).

Definiu-se como melhor alternativa, a alteração de trechos da Rua Coronel Marcos Rovaris para mão única, para os movimentos no sentido oeste. Na aproximação B1, o fluxo de veículos se sobressai ao longo do dia nessa direção, sendo que, o mesmo ocorre na aproximação D1.

Para viabilizar essa alteração, visto a dificuldade no redirecionamento do fluxo de veículos que antes, proveniente de outros movimentos, convergiam para a aproximação D1, se fez necessário uma adaptação da infraestrutura adicional para comportar o fluxo extra nas vias de redirecionamento. A adaptação se fez necessária, visto que, aproximadamente 4.583 unidades de carros de passeio utilizavam a via para acesso de outras localidades no sentido oposto ao estabelecido, logo, esse fluxo foi comportado em vias complementares para obter um cenário prévio do impacto por ele causado. A configuração da rede para esse cenário, é apresentada na Figura 29.

Figura 29 – Redirecionamento de fluxo para alteração da rede no cenário 2



Fonte: Autora (2021).

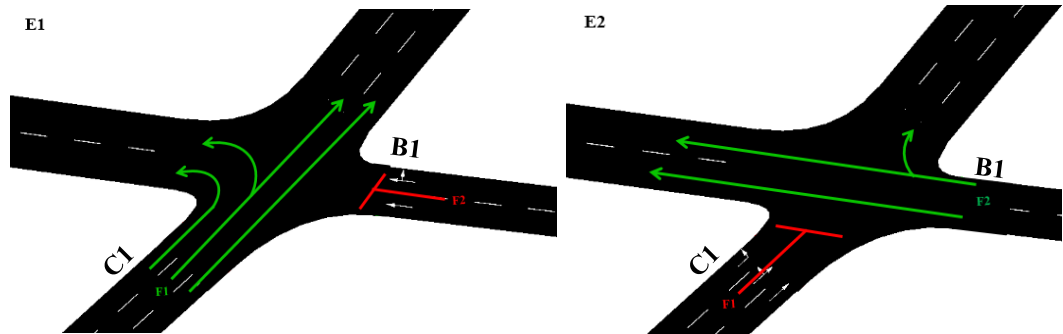
Nesse caso, foi considerado o alargamento de faixa na Rua Itajaí e na Rua Vidal Ramos, visto a dificuldade de os veículos entrarem em pelotão ao saírem da Rua Acácio Moreira (interseção 3), dando preferência a estes veículos, visto o risco que hoje existe nessa interseção em questão, mesmo para uma quantidade menor de fluxo. Para viabilizar as alterações, outra possível sugestão seria a avaliação de uma implantação semafórica na interseção 3 sinalizada na Figura 29, mas nesse caso não foi considerada. Todos os redirecionamentos e possíveis desvios no caminho foram sinalizados com a mesma cor na Figura 29, no intuito de auxiliar o entendimento do cenário.

Para essa configuração de rede, os tempos semafóricos foram calculados, mantendo-se os mesmos tempos de ciclo para cada plano, de 110s para o plano P1 durante a manhã e 130s para o plano P2 durante a tarde. O resultado dos cálculos da programação semafórica do Apêndice F.

Com isso, o semáforo passou a ser programado para um ciclo de 2 estágios: E1 e E2 (Figura 30), com os tempos dimensionados conforme o item 2.4.2.1 (Programação de semáforos).



Figura 30 – Diagrama de estágios para duas fases do cenário 2



Fonte: Autora (2021).

Os dados referentes às características da via foram mantidos, já o fluxo de saturação foi modificado pelo aumento de faixas de rodagem das vias. Os demais dados foram calculados através das Equações do tópico 2.4.2.1. Para esta configuração, os diagramas de tempos para os planos P2 e P3 foram:

Figura 31 – Diagrama de tempos para o plano P2 do cenário 2

Instante (s)		0	53	57	58	104	107	110
INTERSEÇÃO 1	Aproximação B1 Fase 1	[Red]		[Red]	[Green]	[Yellow]	[Red]	
	Aproximação C1 Fase 2	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	
Intervalos		1	2	3	4	5	6	
Duração (s)		53	4	1	46	3	3	
% ciclo		48%	4%	1%	42%	3%	3%	
Estágio		<b>E1</b>			<b>E2</b>			

Fonte: Autora (2021).

Figura 32 – Diagrama de tempos para o plano P3 do cenário 2

Instante (s)		0	72	76	77	124	127	130
INTERSEÇÃO 1	Aproximação B1 Fase 1	[Red]		[Red]	[Green]	[Yellow]	[Red]	
	Aproximação C1 Fase 2	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	
Intervalos		1	2	3	4	5	6	
Duração (s)		72	4	1	47	3	3	
% ciclo		55%	3%	1%	36%	2%	2%	
Estágio		<b>E1</b>			<b>E2</b>			

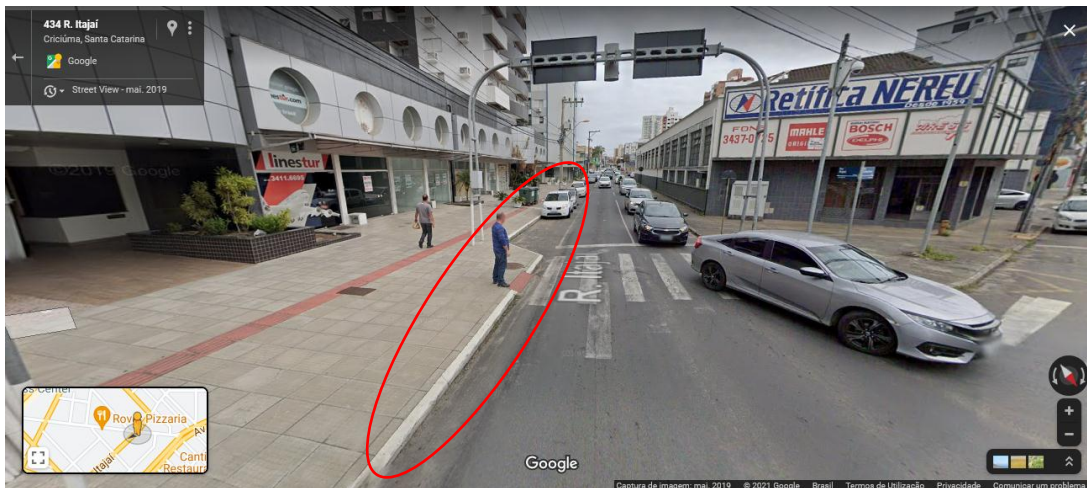
Fonte: Autora (2021).

Os tempos de amarelo e vermelho geral se mantiveram, dado que as configurações de segurança da via e de velocidade não foram alteradas.

## 5.4 CENÁRIO 3

No cenário 3, terceiro e último cenário proposto, analisou-se o impacto de uma terceira faixa na Rua Itajaí e Vidal Ramos, visto que existe espaço viário considerando adaptações de infraestrutura. Atualmente, esse espaço viário é preenchido por estacionamentos e calçadas alargadas (Figura 33).

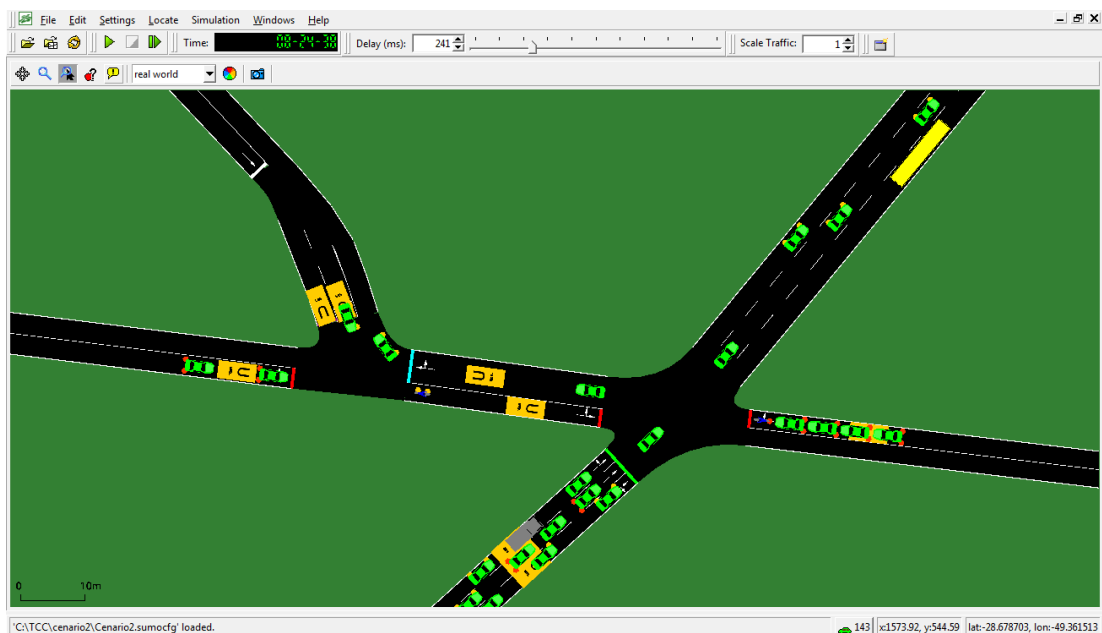
Figura 33 – Vista de frente da aproximação C1 na interseção 1



Fonte: adaptado de Google (2019).

Na simulação, a configuração da rede ficou como apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Configuração da rede no cenário 3



Fonte: Autora (2021).

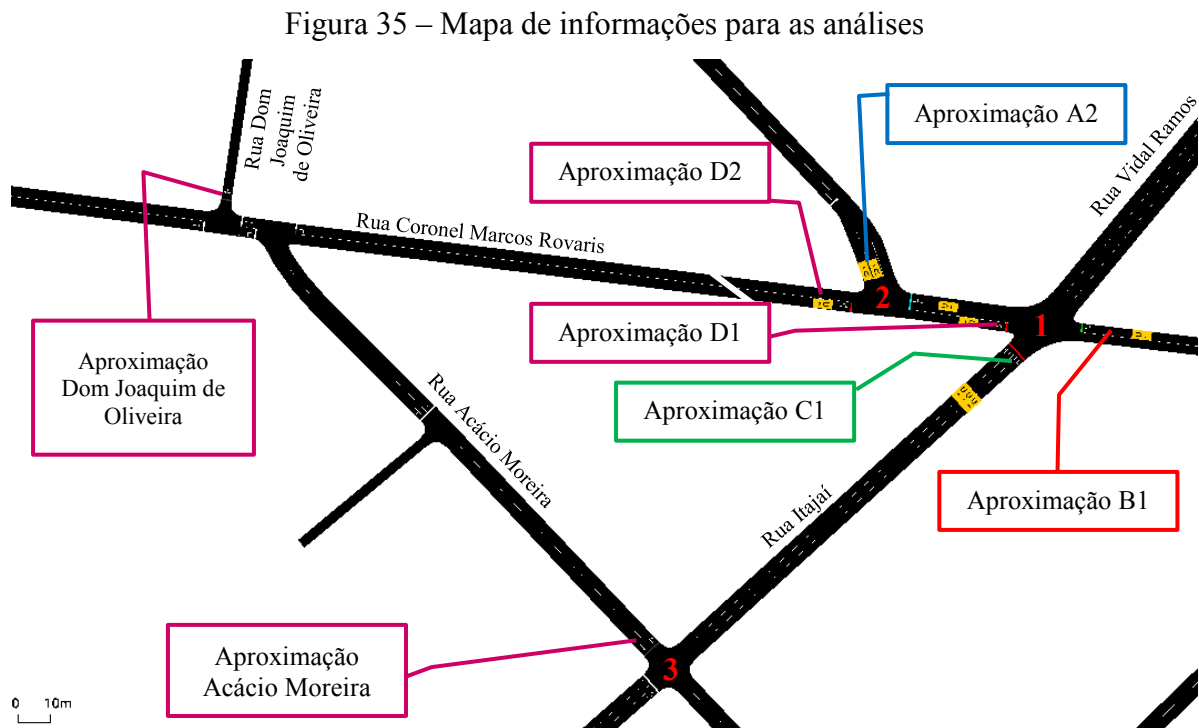
Importante destacar, que para este cenário, considerou-se os planos e tempos semafóricos e sentidos das vias como eram inicialmente no cenário base.

## 5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada com enfoque no tempo e comprimento de fila para cada aproximação, em cada um dos cenários. Os cenários e suas principais alterações realizadas, foram nomeados como:

- Cenário base: cenário real;
- Cenário 1: manteve-se a mesma configuração da rede, com o redimensionamento semafórico;
- Cenário 2: alteração de sentido de via na Rua Coronel Marcos Rovaris, tornando-a de sentido único nos trechos antes e depois do semáforo da interseção 1, e ainda, a terceira faixa em um trecho da Rua Itajaí e Rua Vidal Ramos;
- Cenário 3: inclusão da terceira pista na Rua Itajaí e Rua Vidal Ramos, sem nenhuma alteração nos tempos semafóricos.

Para o cenário 2, o número de aproximações foi reduzido, portanto, foram analisadas as vias para onde os fluxos foram redirecionados. Para auxílio das análises, foram indicadas no mapa da Figura 35, as principais vias e aproximações analisadas neste trabalho.



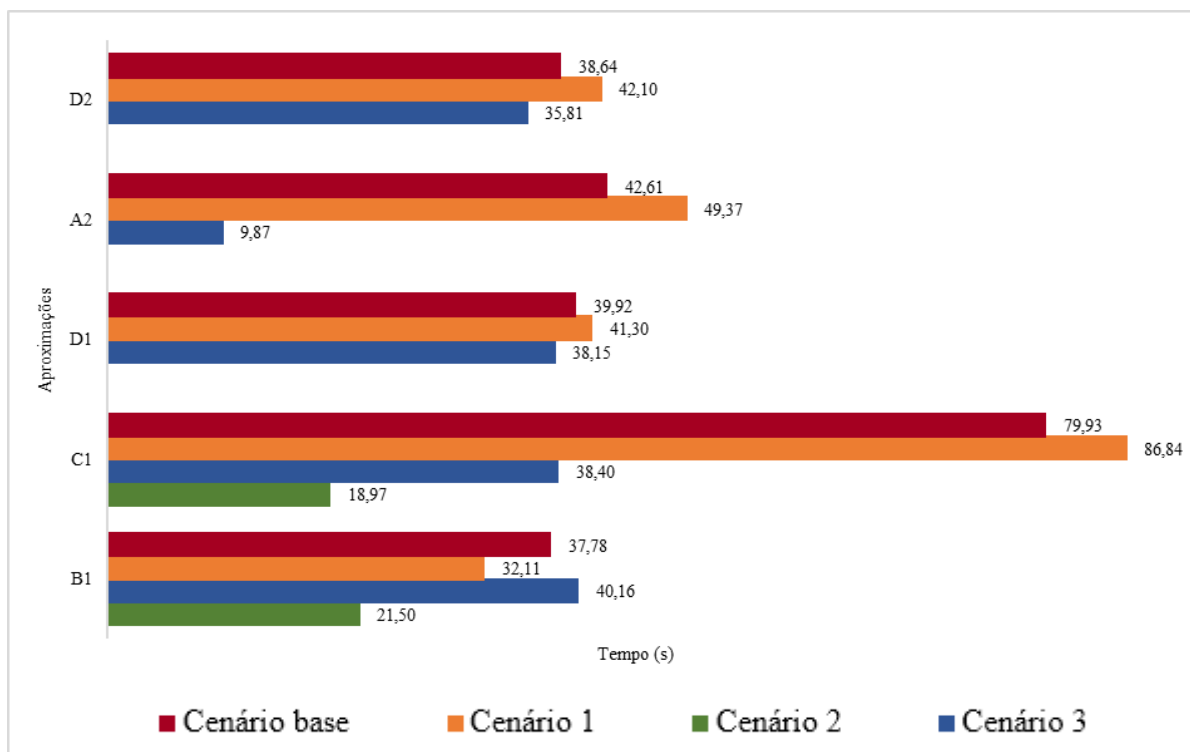
Fonte: Autora (2021).

Durante a coleta de dados empíricos para a programação semafórica, ficou visível o impacto da configuração oblíqua da interseção 1, fazendo uma curvatura com ângulo de aproximadamente  $122^\circ$  para realizar a conversão à direita, além de possuir um greide, não muito acentuado, tornando os movimentos lento com impacto no fluxo de saturação e capacidade da via. Para o cenário 1 (Figura 36), que simulou essa mudança, teve como reflexo no aumento nos tempos de fila para todas as aproximações, com exceção da aproximação B1, a qual recebeu um aumento no tempo de verde, de acordo com os cálculos. Tornando esta, uma alteração ineficaz, resultando em piores tempos de fila.

Analisando a Figura 36 é possível notar a diminuição do tempo médio de fila de maneira acentuada no cenário 2 e 3, onde são realizadas alterações de infraestrutura das vias, ou seja, uma solução com maiores custos, mas que trazem melhorias mais significativas nas aproximações.

No cenário 3, nota-se que a alteração proposta para o cenário além de beneficiar, obviamente, o conjunto de movimentos da aproximação C1, com 52% de redução do tempo médio de fila, contando com maior capacidade viária, também contribuiu para a diminuição do tempo perdido em fila em 77% em A2 e de 7% em D2, mesmo ambas possuindo movimentos divergentes que se interceptam na interseção 2.

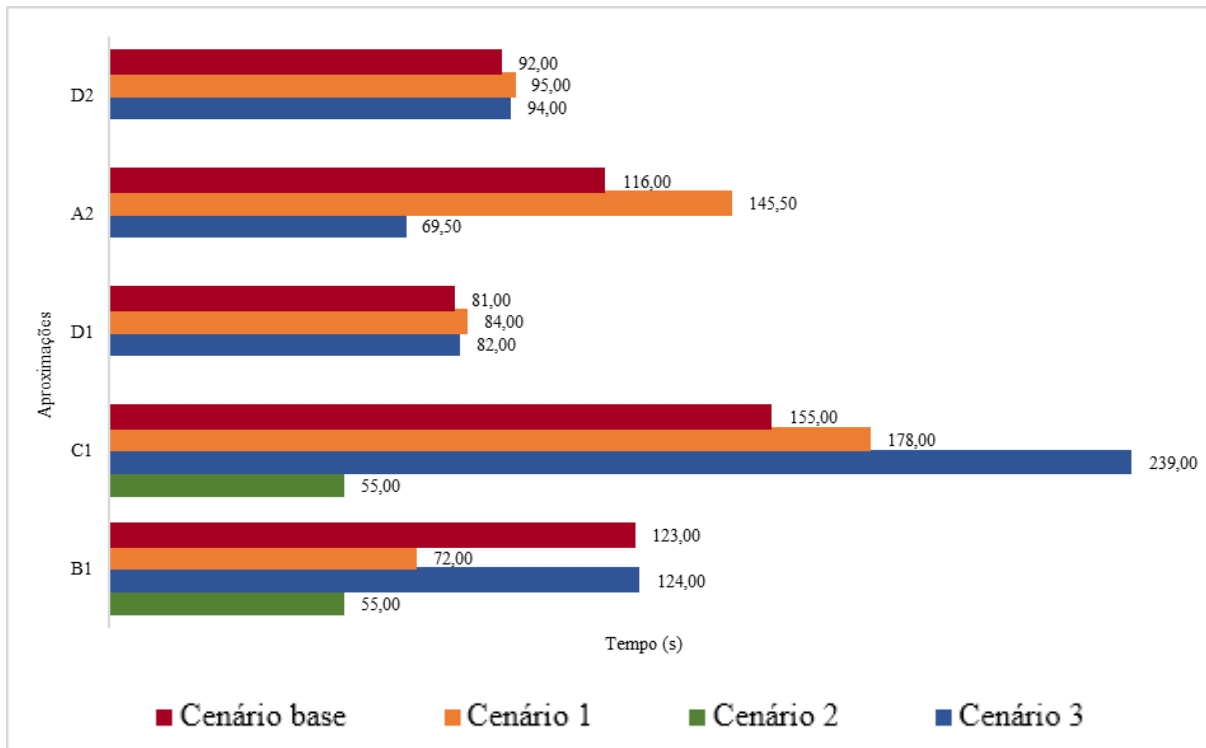
Figura 36 – Tempo médio de fila durante a hora pico da manhã



Fonte: Autora (2021).

Foram verificados também, os tempos máximos em fila (Figura 37) no período de análise, permitindo visualizar os tempos críticos em fila para cada aproximação em cada um dos cenários.

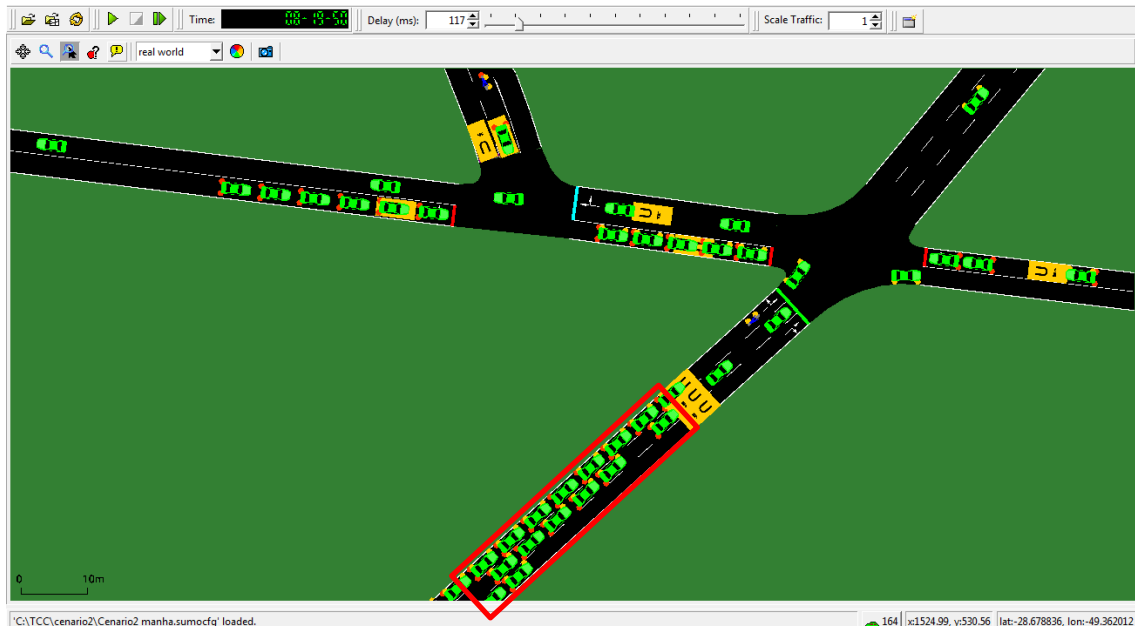
Figura 37 – Tempo máximo em fila durante a hora pico da manhã



Fonte: Autora (2021).

Nota-se que o cenário 3 apresentou um aumento de 54% no tempo máximo em fila, que aconteceu devido às manobras dos veículos para conversão à esquerda. Como é mostrado na Figura 38, os veículos dão a seta, sinalizados as conversões e aguardam por uma brecha para utilizarem a faixa mais à esquerda. Pelo fato dos veículos serem inseridos na simulação em uma faixa de rodagem aleatória, as manobras de mudança de faixa propagam um atraso nos tempos de fila do trecho, onde por exemplo, para um veículo que é inserido na primeira faixa à direita na simulação e pretende fazer a conversão à esquerda, e vice e versa. Como os atributos de mudança de faixa não foram calibrados para essa proposta de estudo, assume-se uma parcela de erro nesse sentido para o cenário, que poderia ser alterado com a análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais. Entretanto, deixa um alerta para o possível problema que pode surgir no período da manhã para esta proposta.

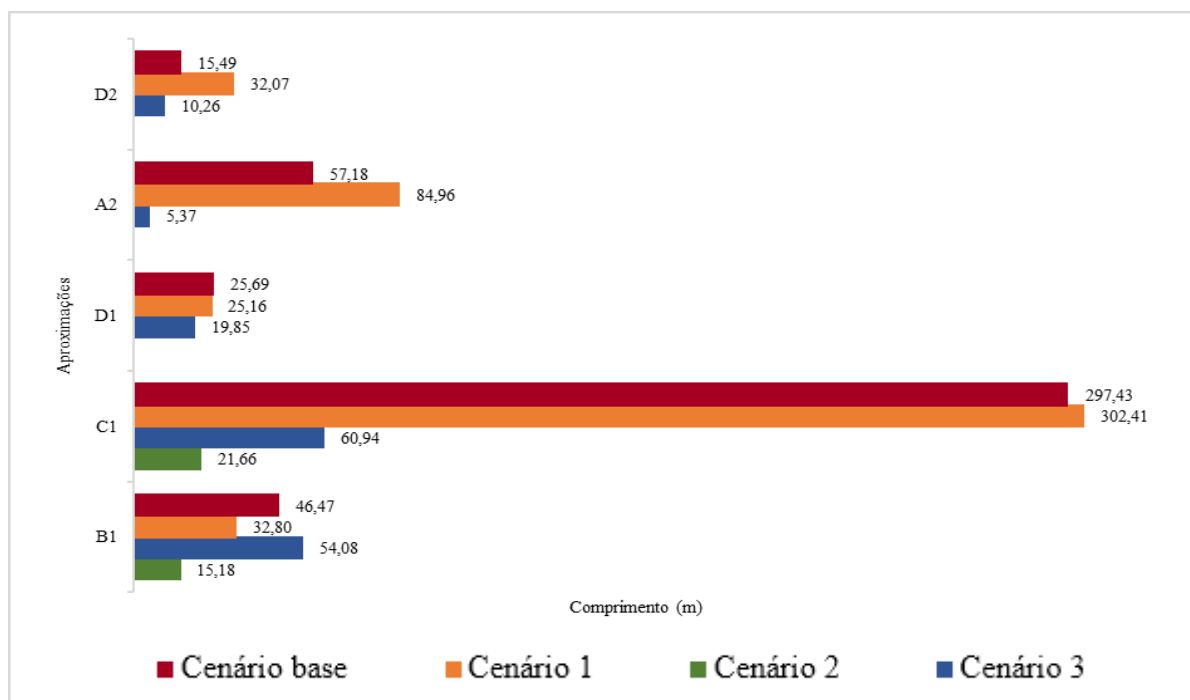
Figura 38 – Manobras de mudanças de faixa no cenário 3



Fonte: Autora (2021).

Na Figura 39 verifica-se que o comprimento médio de fila mostra que os melhores resultados procederam do cenário 3, diante dos cenários base e do cenário 1, com exceção de B1, que aumenta em 16%. Contudo, com 80% de redução nos comprimentos de fila de C1, pode-se afirmar que o aumento do tempo em fila se dá pelo atraso nas manobras de mudanças de faixa e não pela ineficiência do aumento da capacidade da via, já que as filas reduziram.

Figura 39 – Comprimento médio de fila durante a hora pico da manhã

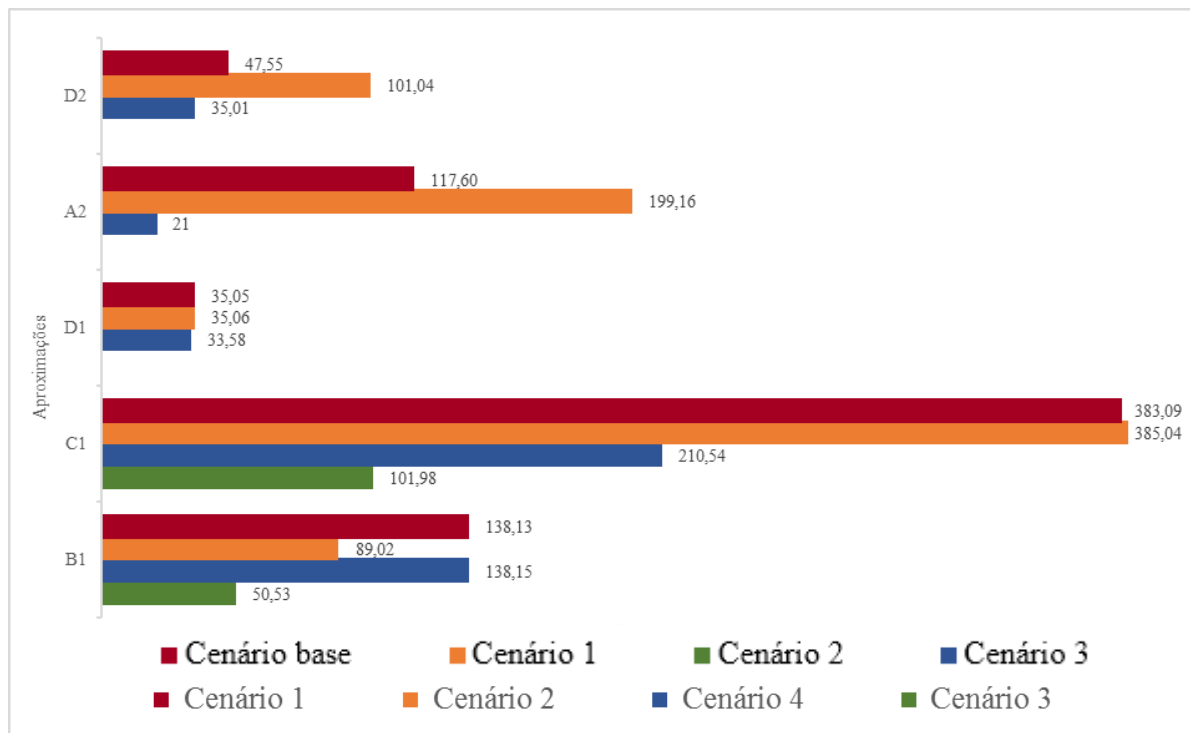


Fonte: Autora (2021).

Com auxílio da Figura 40, é possível visualizar que o comprimento máximo de fila indica que as alterações de infraestrutura são aquelas que mais favorecem a diminuição de filas, com ressalvas: para o cenário 3 a aproximação B1 se mantém inalterada diante do cenário base, constatando que a alteração não afeta as filas dessa aproximação em questão.

No cenário 1, a aproximação A2 e D2 registram aumento nos comprimentos de fila dentre as propostas sugeridas, de aproximadamente, 69% e 112% para as respectivas aproximações. Justifica-se a piora deste cenário, pela diminuição dos tempos de verde dessas aproximações nos cálculos de redimensionamento dos tempos semafóricos.

Figura 40 – Comprimento máximo de fila durante a hora pico da manhã



Fonte: Autora (2021).

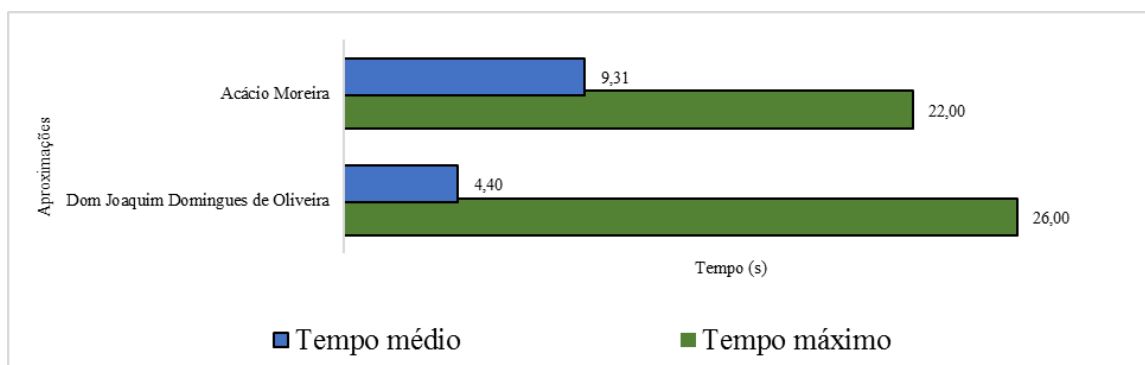
A aproximação D1 permanece em todos os cenários com tempo e comprimento de fila máximo semelhantes, visto que o espaço viário entre esta e a aproximação D2, é limitado.

O cenário 2 se sobressai nas análises, reduzindo em 55% e 65% os tempos críticos em fila, e em 63% e 73% o comprimento crítico de fila para as aproximações B1 e C1, respectivamente, podendo ser justificadas, principalmente, pelo aumento da capacidade viária, pela inserção de mais uma faixa de rodagem no cenário proposto para ambas as aproximações.

No cenário proposto 2, verificou-se duas aproximações adicionais para serem analisadas devido ao redirecionamento de fluxo necessário pelas alterações impostas nessa proposta. Quando observadas in loco, observou-se nelas, baixo fluxo de veículos, porém, são interseções com grande risco de acidentes, de acordo com o conhecimento e registro de acidentes registrados pelo órgão de trânsito local, impulsionados pelo fato de serem interseções não semaforizadas, que aumentam o risco e gravidade dos movimentos interceptantes nessas áreas.

Para eventuais mudanças, os comportamentos de filas para a Rua Acácio Moreira e Rua Dom Joaquim de Oliveira devem ser avaliados. Entretanto, para ambas, os tempos médio e máximo de fila não são preocupantes, sendo relativamente pequenos (Figura 41), com tempos críticos de 22s e 26s pela manhã.

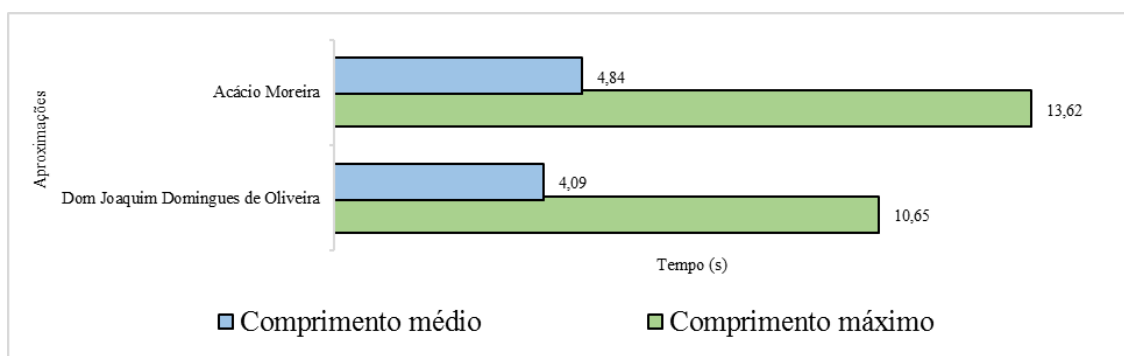
Figura 41 – Tempos de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela manhã



Fonte: Autora (2021).

O comprimento de fila nas aproximações também não é expressivo, resultado da via preferencial para os veículos entrarem na Rua Itajaí, através da interseção 3. As aproximações registram comprimento crítico de fila de, aproximadamente, 14m na Rua Acácio Moreira e 11m na Rua Dom Joaquim Domingues de Oliveira.

Figura 42 – Comprimento de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela manhã



Fonte: Autora (2021).



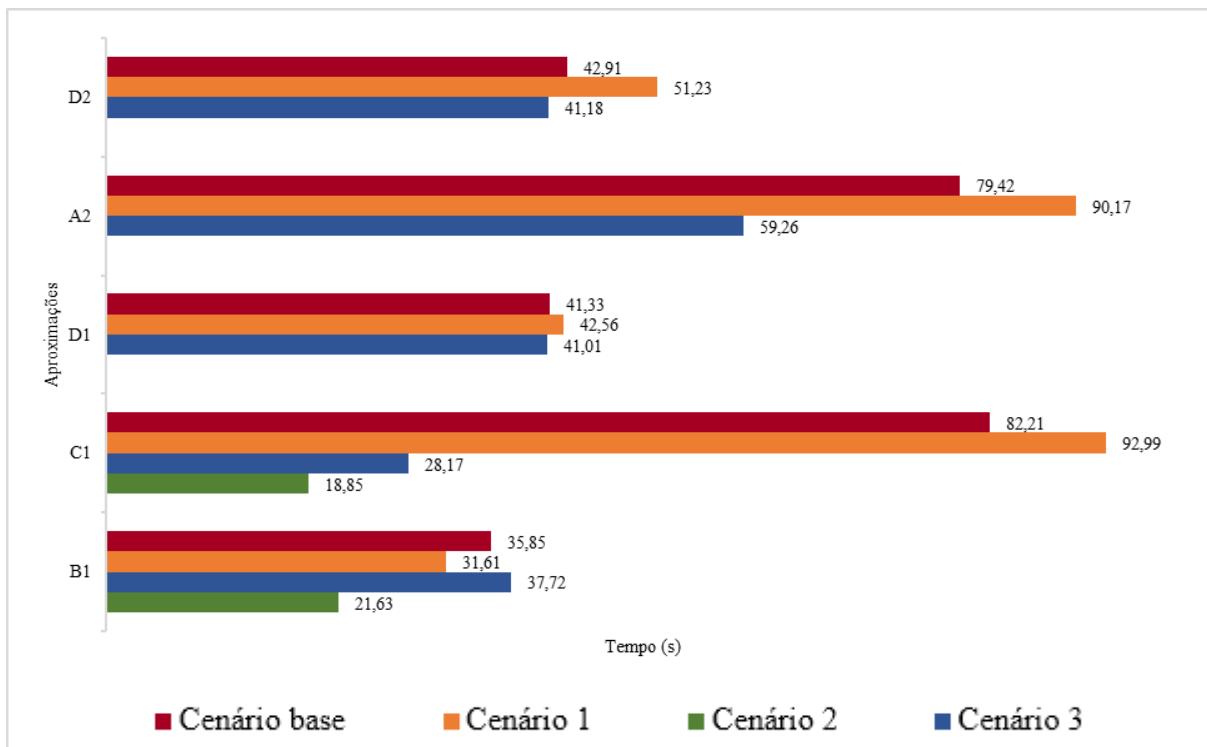
Mesmo com bons resultados de tempos e comprimento de filas, é importante ressaltar a existência de grande risco, principalmente, na interseção 3. A interseção em questão, atualmente é responsável por diversos acidentes de trânsito mesmo apresentando fluxo de veículos relativamente menores do o fluxo redirecionado para este cenário.

A avaliação da hora pico da tarde, acontece dentro do plano semaforico com maior tempo de ciclo no dia, aqui chamado de P3.

Ao analisar o tempo médio de fila (Figura 43) nas aproximações, nota-se um aumento dos tempos médios de fila para o cenário 1, que registra uma diminuição de 12% somente para a aproximação B1, que se manteve com o mesmo tempo de verde, de acordo com os cálculos realizados. Para este cenário, o tempo máximo de fila (Figura 44) apresenta melhora de 2% para a aproximação A2, contudo, agravaram em 25% as filas para a aproximação C1.

É possível observar que para o cenário 3, onde foram realizadas alterações de infraestrutura, teve como resultado a diminuição dos tempos médios de fila das aproximações A2 de 25% e D2 de 4%, além de 66% de redução em C1.

Figura 43 – Tempo médio de fila durante a hora pico da tarde

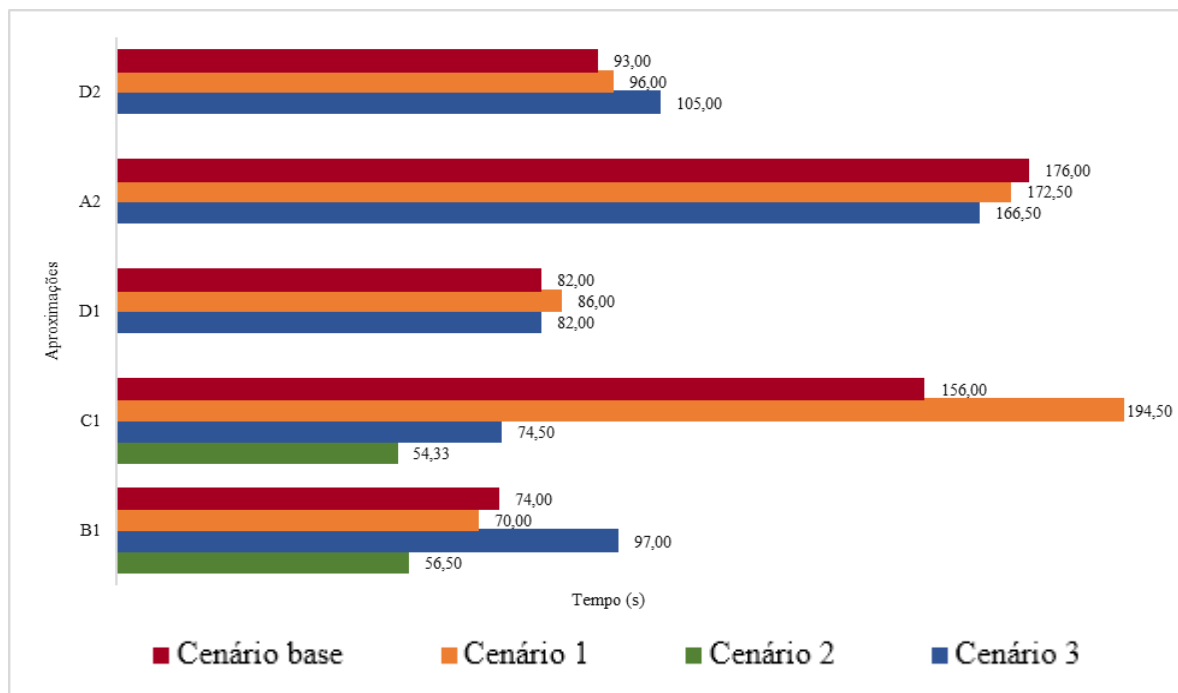


Fonte: Autora (2021).

Com os tempos máximos em fila na Figura 44, é possível visualizar que para a aproximação D2, o melhor cenário encontrado foi o cenário base, nos cenários 1 e 2 houve um aumento de 3% e 13%, respectivamente, nos tempos críticos em fila nesse período. Já para a aproximação A2, os cenários propostos 1 e 3 provocaram a redução destes tempos em 2% e 5%.

O cenário 1 intensificou o atraso na aproximação C1 em 25%, ao passo que melhorou para B1 em 5%. No cenário 3 o inverso acontece, como reflexo direto das alterações realizadas neste cenário, mostrando que as alterações de infraestrutura não beneficiam todas as aproximações, como pode-se ver em o aumentos dos tempos críticos de 13% em D2 e de 31% em B1.

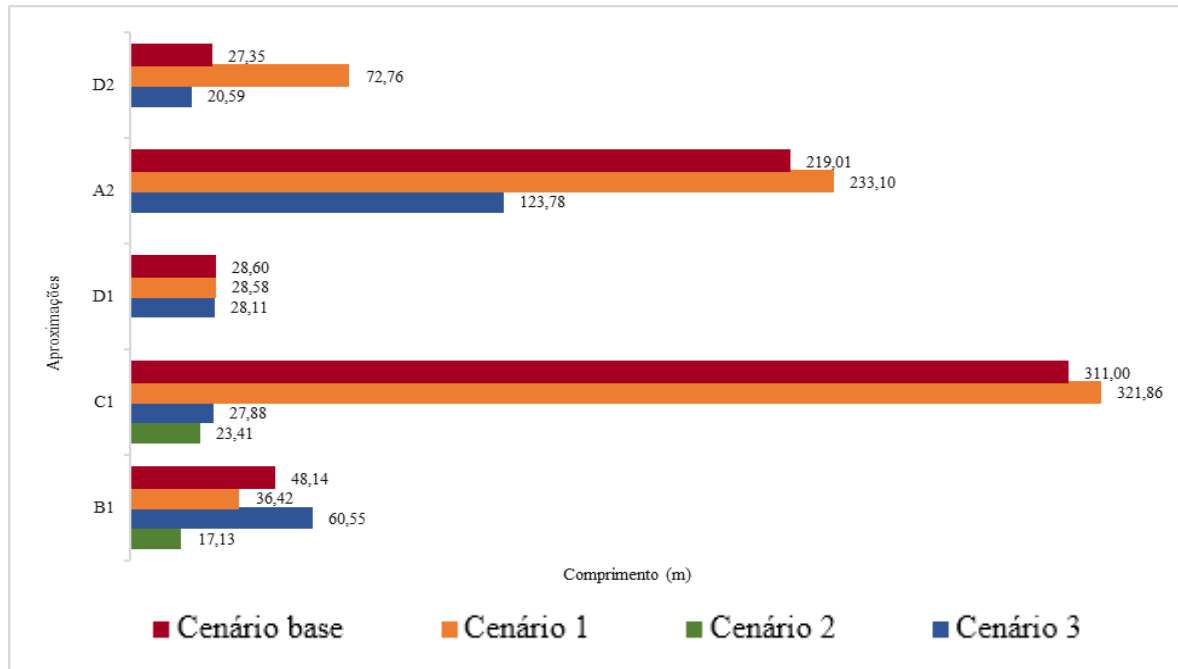
Figura 44 – Tempo máximo de fila durante a hora pico da tarde



Fonte: Autora (2021).

Com o comprimento médio de fila, é possível visualizar o considerável aumento das filas nas aproximações para o cenário 1 (Figura 45). Nesse caso, um dos fatores que pode ser impactante para este resultado é o aumento do tempo total perdido no ciclo para este cenário, isto é, de 15s para 17s, que resultou no menor tempo de verde dessa aproximação.

Figura 45 – Comprimento médio de fila durante a hora pico da tarde

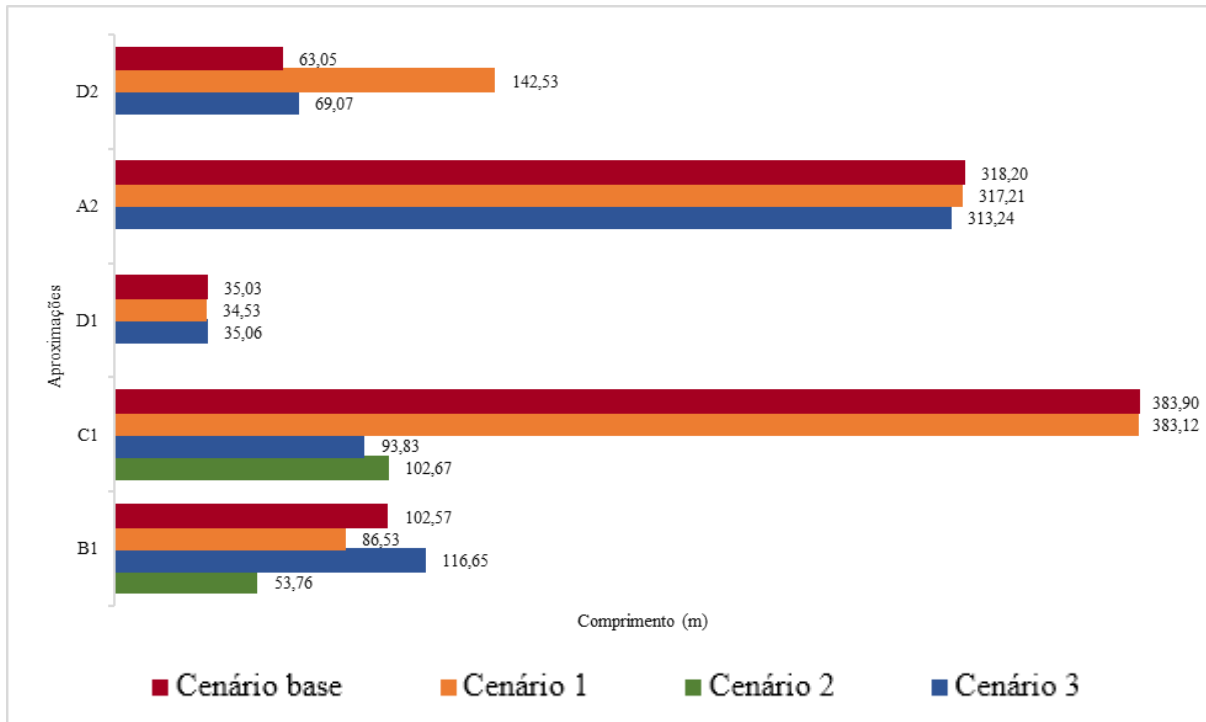


Fonte: Autora (2021).

Para os comprimentos críticos em A2 e D1 (Figura 46) as filas se mantiveram com comportamento semelhante nos cenários base, 1 e 3, com pequenas reduções. Visto que em D1, essa estabilidade é consequente das limitações da via.

Em D2 as filas também se intensificam para o cenário 1, aumentando em 166%, demonstram ser mais constantes e extensas, de acordo com o comprimento médio das filas na Figura 45.

Figura 46 – Comprimento máximo de fila durante a hora pico da tarde

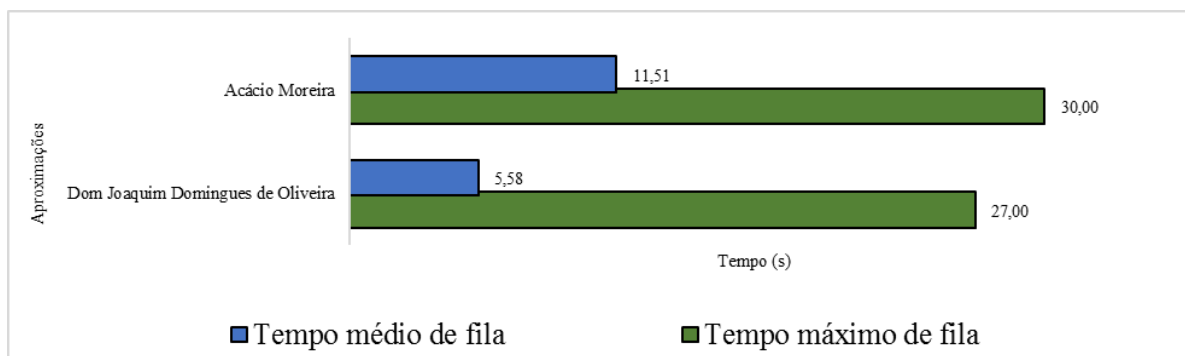


Fonte: Autora (2021).

Para a aproximação C1 o cenário 3 destacou-se com o menor comprimento máximo de fila dos cenários propostos, reduzindo em 76% o comprimento das filas em comparação ao cenário base, se sobressaindo sobre a alteração de mão única do cenário 2, que reduz 73% desse valor.

Pode-se dizer que aquele que apresentou redução dos comprimentos de fila para todas as aproximações analisadas foi do cenário 2, que reduz cerca de 73% o comprimento máximo de fila na aproximação C1 e 48% em B1. Contudo, nas vias de redirecionamento dos fluxos houveram impactos maiores do que na análise da manhã.

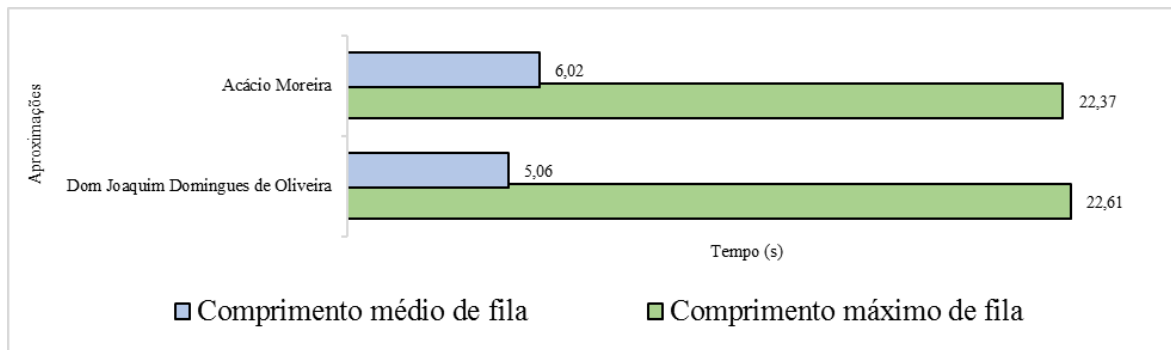
Figura 47 – Tempos de fila em aproximações adicionais no cenário 2 a tarde



Fonte: Autora (2021).

Dado o maior tempo em fila na Rua Acácio Moreira, mesmo com comprimento de fila relativamente pequenos, entende-se que a maior dificuldade deste ponto seria no cruzamento com a interseção 3, visto que nesse cenário foi estabelecida uma via preferencial para conversões à esquerda. O movimento para seguir em frente nessa interseção tenderia a se tornar muito frequente, já que ele dá acesso à Avenida Centenário, uma das principais avenidas do município.

Figura 48 – Comprimento de fila em aproximações adicionais no cenário 2 pela tarde



Fonte: Autora (2021).

Como já mencionado para a análise da manhã, entende-se que todo aumento de fluxo na aproximação da Rua Acácio Moreira, aumenta o risco da interseção 3, trazendo a necessidade de avaliar uma implantação semafórica, além de exigir o monitoramento da Rua Dom Joaquim Domingues de Oliveira.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo analisar três cenários alternativos para a melhoria do tráfego de uma região urbana central da cidade de Criciúma através de simulações com o software SUMO. Para atingir tal objetivo, aplicou-se conhecimento das áreas de engenharia de tráfego, simulação de tráfego e análise de dados.

O cenário 1 se mostrou ineficiente, apesar de ser a alternativa com menores custos e impactos. Nas análises, fica visível que se sobressai o cenário base a este.

O cenário 2, com expressiva redução nos tempos e comprimentos de fila, não teve impacto significativo causado pelo fluxo redirecionado devido às alterações realizadas. Este foi o cenário com maiores intervenções na infraestrutura da rede viária, e como consequência, requer a necessidade da avaliação de implantação de novos semáforos, dado o crescente risco em interseções vizinhas à estudada. Para essa configuração de rede a diminuição do tráfego pode trazer benefícios na da Rua Felipe Schmidt pela presença de prédios residenciais, mas por outro lado, prejuízos ao comércio. Passível ainda, a insatisfação da população pela diminuição de vagas de estacionamento.

O cenário 3 apesar de apresentar o aumento do tempo de fila para um caso específico durante a manhã, de modo geral, apresentou bons resultados na redução do comprimento das filas de aproximações que têm maiores atrasos, o que evidencia que com a sinalização correta para direcionamento dos fluxos, as manobras de mudanças de faixas podem ser facilitadas, impactando positivamente nessa configuração de rede. A terceira faixa sugerida no cenário, poderia ser avaliada também, para uso exclusivo do transporte público, ciclistas e veículos de saúde, dando aos usuários um incentivo aos meios de transportes alternativos ao carro, melhorando o nível de serviço do transporte público e facilitando o acesso aos hospitais nas proximidades.

O presente estudo foi realizado em um dia atípico para estudos de tráfego, o que limita a precisão dos resultados apresentados, além ainda, da dificuldade de coleta de dados empíricos pela falta de equipamentos adequados, além da alteração comportamental da demanda imposta pela pandemia da Covid-19 no ano de realização do estudo.

Conclui-se que os cenários propostos com alterações de infraestrutura precisam ser cuidadosamente avaliados, visto o alto custo e impacto gerado para implantação. Já a melhor intervenção para melhoria de tráfego da região depende, principalmente, dos recursos de investimentos e das diretrizes das políticas públicas.

Para quaisquer intervenções na rede recomenda-se que uma nova contagem volumétrica do tráfego da interseção, dada a mudança observada do comportamento dos usuários da rede no período de pandemia da Covid-19 enfrentado no ano atual de realização deste trabalho, faz-se necessário analisar o comportamento da demanda após esse período.

Em trabalhos futuros, sugere-se a alteração de sentido de via da Rua Coronel Marcos Rováris para o sentido oposto ao simulado no cenário 2 proposto, onde recomenda-se que, juntamente a essa, avalie-se a alteração de sentido de via da Rua Acácio Moreira, de maneira simultânea. Sugere-se, o estudo de tráfego de outras interseções da rede trabalhada, como por exemplo, a semaforização da interseção 3. Para estes e outros cenários, recomenda-se também analisar outros parâmetros de saída da simulação, visualizando os benefícios ou malefícios das alterações, por outras perspectivas. Por fim, propõe-se a calibração de maneira precisa de parâmetros comportamentais do modelo, que tende a tornar os outputs das propostas simuladas mais precisa.

## REFERÊNCIAS

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

BOGO, Rudinei Luiz; GRAMANI, Liliana Madalena; KAVISKI, Eloy. **Modelagem computacional do tráfego de veículos pela teoria microscópica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pyhFt4tYLQBL6RZvBbmVtNf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Volume V - sinalização semaforica**. 2014. Disponível em: [https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-denatran/educacao/publicacoes/manual\\_vol\\_v\\_-2.pdf](https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-denatran/educacao/publicacoes/manual_vol_v_-2.pdf). Acesso em: 21 abr. 2021.

BRASIL. Governo do Brasil. **População brasileira chega a 213,3 milhões de habitantes, estima IBGE**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/08/populacao-brasileira-chega-a-213-3-milhoes-de-habitantes-estima-ibge>. Acesso em: 11 set. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Resolução nº 638**, de 30 de novembro de 2016. Conselho Nacional de Trânsito, 2016. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24638201/do1-2016-12-01-resolucao-n-638-de-30-de-novembro-de-2016-24638104](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24638201/do1-2016-12-01-resolucao-n-638-de-30-de-novembro-de-2016-24638104). Acesso em: 14 abr. 2021.

BRASIL. Prefeitura do Município de Criciúma. **Criciúma**. Criciúma, 2021b. Disponível em: <https://www.criciuma.sc.gov.br/site/flipbook>. Acesso em: 21 jul. 2021.

BRASIL. Prefeitura do Município de Criciúma. **Planilha de Planos de Tráfego**. Criciúma: Diretoria de Trânsito e Transportes, 2013.

CAMPOS, Vânia Barcellos Gouvêa. **Planejamento de transportes: conceitos e modelos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

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.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. **Veículos em circulação em Santa Catarina**. Santa Catarina, 2021. Disponível em: <https://www.detran.sc.gov.br/estatisticas/veiculos>. Acesso em: 20 jul. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto de interseções**. 2.ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.



FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Department of Transportation. **Simplified highway capacity calculation**. Estados Unidos, 2017.

FLORIANI, Eduardo Gregório. **Análise de propostas para melhoria do tráfego de uma região central utilizando o software de simulação sumo**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) - Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

GALINDO, Ernesto Pereira; LIMA NETO, Vicente Correia. **A mobilidade urbana no Brasil: percepções de sua população**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019.

GARCIA, Geraldo Freire. **O planejamento da cidade e a mobilidade urbana, uma combinação sustentável**. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

GOOGLE. **Google Maps**. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/>. Acesso em: 08 set. 2021.

GORGULHO, Cristiane Fernandes; TREDINNICK, Marcelo Ricardo Alves da Costa. **Controle de tráfego em cidades inteligentes: um panorama dos depósitos de patente no Brasil e no Mundo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do censo demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 05 abr. 2021.

Open Street Map. 2021. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/>. Acesso em: 08 set. 2021.

SUMO. **Sumo Documentation**. Sumo, 2021. Disponível em: <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>. Acesso em: 20 abr. 2021.

TRANZUM. **Relatório de Pesquisas: contagem veicular classificatória**. Criciúma: Tranzum, 2019a.

TRANZUM. **Relatório de Pesquisas: contagem veicular classificatória**. Criciúma: Tranzum, 2019b.

WIESSNER, Evamarie *et al.* **Microscopic traffic simulation using SUMO**. 21. ed. Maui: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018.

WITTE, Ana Carolina. **Análise do tráfego na região central da cidade de Gaspar através de simulações**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) - Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

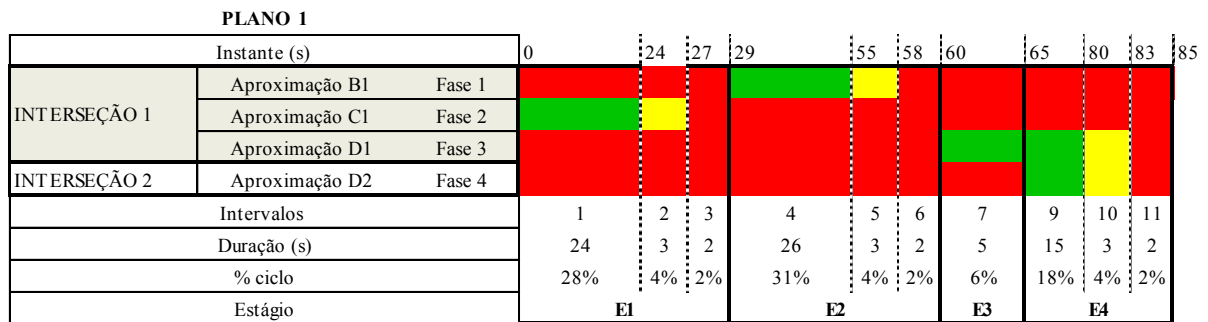
## APÊNDICE A – Planos semafóricos do cenário base

Na fase de implantação, o semáforo da interseção 1 foi programado para operar em 4 planos, tendo como principal parâmetro, a variação da demanda de tráfego. Sendo eles:

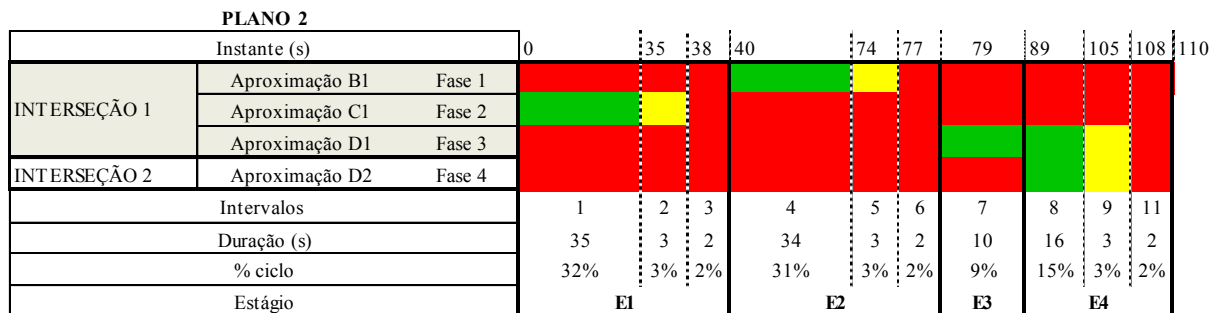
PLANOS		CICLO
Plano 1 (P1)	Baixa densidade	85
Plano 2 (P2)	Média densidade 1	110
Plano 3 (P3)	Alta densidade	130
Plano 4 (P4)	Média densidade 2	100

Fonte: adaptado de DTT (2013).

Os respectivos diagramas de tempos dos planos e suas principais características são apresentados na sequência.



Fonte: adaptado de DTT (2013).



Fonte: adaptado de DTT (2013).

PLANO 3													
Instante (s)			0	43	46	48	87	90	92	102	125	128	130
INTERSEÇÃO 1	Aproximação B1	Fase 1	[Red]			[Green]			[Red]			[Red]	
	Aproximação C1	Fase 2	[Green]			[Red]			[Red]			[Red]	
	Aproximação D1	Fase 3	[Red]			[Red]			[Green]			[Red]	
INTERSEÇÃO 2	Aproximação D2	Fase 4	[Red]			[Red]			[Red]			[Red]	
Intervalos			1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	
Duração (s)			43	3	2	39	3	2	10	23	3	2	
% ciclo			33%	2%	2%	30%	2%	2%	8%	18%	2%	2%	
Estágio			E1			E2			E3			E4	

Fonte: adaptado de DTT (2013).

PLANO 4													
Instante (s)			0	31	34	36	64	67	69	74	95	98	100
INTERSEÇÃO 1	Aproximação B1	Fase 1	[Red]			[Green]			[Red]			[Red]	
	Aproximação C1	Fase 2	[Green]			[Red]			[Red]			[Red]	
	Aproximação D1	Fase 3	[Red]			[Red]			[Green]			[Red]	
INTERSEÇÃO 2	Aproximação D2	Fase 4	[Red]			[Red]			[Red]			[Red]	
Intervalos			1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	
Duração (s)			31	3	2	28	3	2	5	21	3	2	
% ciclo			31%	3%	2%	28%	3%	2%	5%	21%	3%	2%	
Estágio			E1			E2			E3			E4	

Fonte: adaptado de DTT (2013).

O plano semafórico é ordenado de maneira distinta para dias úteis, sábados e domingos. A análise realizada para um dia útil, é programada da seguinte forma:

Modelo:				TESC-FLEX III-8F-C			
Nº de estágios:		4	Amarelo	3	Vermelho geral		2
Última Modificação:				19/12/13	Período:	Dias Úteis	
Nr Horário	Horário	Planos	Estágio1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Ciclo Total
1	*	P0	Pisca	Pisca	Pisca	Pisca	-
2	06:00	P1	24	26	5	15	85
3	07:00	P2	35	34	10	16	110
4	11:00	P3	43	39	10	23	130
5	14:00	P2	35	34	10	16	110
6	16:30	P3	43	39	10	23	130
7	19:30	P4	31	28	5	21	100
8	23:00	P1	24	26	5	15	85

Fonte: DTT (2013).

Portanto, 8 alterações de planos semafóricos acontecem ao longo de um dia útil. P0, P1, P2, P3 e P4 representam um plano semafórico ajustado de acordo com o volume horário da via, com tempo de amarelo fixo igual a 3s e tempo de vermelho geral de 2s. O plano definido como P0, representa o plano piscante, que tem a seguinte configuração de tempo de início (\*):

- Início às 01:00h em domingos, segundas e sábados;
- Início às 00:00h em terças, quartas, quintas e sextas.

## APÊNDICE B – Configuração dos veículos e fluxos

Incluindo os ajustes na criação dos quatro tipos de veículos, o arquivo .rou foi composto das seguintes configurações dos veículos e rotas.

```
<vType id="vType_bus" length="12.00" minGap="2.00" maxSpeed="13.89" vClass="bus" color="yellow" accel="2.50" decel="3.00"/>
<vType id="vType_car" length="4.50" minGap="1.50" maxSpeed="13.89" vClass="passenger" color="green" accel="2.60" decel="3.00"/>
<vType id="vType_moto" length="2.00" minGap="1.00" maxSpeed="13.89" vClass="motorcycle" color="blue" accel="3.00" decel="3.00"/>
<vType id="vType_truck" length="6.00" minGap="2.0" maxSpeed="13.89" vClass="truck" color="gray" accel="2.50" decel="3.00"/>
```

Fonte: Autora (2021).

A criação da demanda foi realizada utilizando fluxos para cada classe de veículo. Para os carros da aproximação B1, por exemplo, as seguintes configurações foram adicionadas para os fluxos simulados, para o período da manhã.

```
<!-- APROX B1 -->
<!-- MANHÃ -->

<!-- 07:30 -->
<flow id="flow_7-aproxB1-car" type="vType_car" begin="25201.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27000.00" number="143"/>
<flow id="flow_7-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="25201.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27000.00" number="11"/>
<flow id="flow_7-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="25201.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27000.00" number="2"/>

<!-- 07:45 -->
<flow id="flow_8-aproxB1-car" type="vType_car" begin="27001.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27900.00" number="95"/>
<flow id="flow_8-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="27001.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27900.00" number="8"/>
<flow id="flow_8-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="27001.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="27900.00" number="2"/>

<!-- 07:45 - 08:00 -->
<flow id="flow_9-aproxB1-car" type="vType_car" begin="27901.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="28800.00" number="123"/>
<flow id="flow_9-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="27901.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="28800.00" number="11"/>
<flow id="flow_9-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="27901.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="28800.00" number="2"/>

<!-- 08:00 - 08:15 -->
<flow id="flow_10-aproxB1-car" type="vType_car" begin="28801.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="29700.00" number="95"/>
<flow id="flow_10-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="28801.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="29700.00" number="15"/>
<flow id="flow_10-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="28801.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="29700.00" number="5"/>

<!-- 08:15 - 08:30 -->
<flow id="flow_11-aproxB1-car" type="vType_car" begin="29701.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="30600.00" number="82"/>
<flow id="flow_11-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="29701.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="30600.00" number="12"/>
<flow id="flow_11-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="29701.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="30600.00" number="2"/>
<flow id="flow_11-aproxB1-bus" type="vType_bus" begin="29701.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="30600.00" number="1"/>

<!-- 08:30 - 9:00 -->
<flow id="flow_12-aproxB1-car" type="vType_car" begin="30601.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="32400.00" number="190"/>
<flow id="flow_12-aproxB1-moto" type="vType_moto" begin="30601.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="32400.00" number="18"/>
<flow id="flow_12-aproxB1-truck" type="vType_truck" begin="30601.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="32400.00" number="3"/>
<flow id="flow_12-aproxB1-bus" type="vType_bus" begin="30601.00" departSpeed="11.11" from="RCelMarcosRovaris-L-O-1" to="RCelMarcosRovaris-L-O-8" end="32400.00" number="1"/>
```

Fonte: Autora (2021).

De maneira análoga, criou-se os fluxos para a tarde, e posteriormente, para todas as demais aproximações das interseções analisadas nesse estudo. No período da tarde, as seguintes configurações de fluxo foram consideradas:





```

<!-- INTERSEÇÃO 2 - APROX D2 -->
<!-- MANHÃ -->

<!--07 - 07:30-->
<flow id="flow_7-aprox-d-car" type="type_car" begin="25201.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="27000.00" number="19"/>
<flow id="flow_7-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="25201.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="27000.00" number="1"/>

<!--07:30 - 07:45-->
<flow id="flow_8-aprox-d-car" type="type_car" begin="27001.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="27900.00" number="15"/>
<flow id="flow_8-aprox-d-truck" type="type_truck" begin="27001.00" departSpeed="11.11" color="gray" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="27900.00" number="1"/>

<!--07:45 - 08:00-->
<flow id="flow_9-aprox-d-car" type="type_car" begin="27901.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="28800.00" number="26"/>
<flow id="flow_9-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="27901.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="28800.00" number="1"/>

<!--08:00 - 08:15-->
<flow id="flow_10-aprox-d-car" type="type_car" begin="28801.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="29700.00" number="37"/>

<!--08:15 - 08:30-->
<flow id="flow_11-aprox-d-car" type="type_car" begin="29701.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="30600.00" number="30"/>
<flow id="flow_11-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="29701.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="30600.00" number="1"/>
<flow id="flow_11-aprox-d-truck" type="type_truck" begin="29701.00" departSpeed="11.11" color="gray" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="30600.00" number="1"/>

<!--08:30 - 9:00-->
<flow id="flow_12-aprox-d-car" type="type_car" begin="30601.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="32400.00" number="48"/>
<flow id="flow_12-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="30601.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="32400.00" number="4"/>
<flow id="flow_12-aprox-d-truck" type="type_truck" begin="30601.00" departSpeed="11.11" color="gray" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="32400.00" number="1"/>

```

Fonte: Autora (2021).

```

<!-- INTERSEÇÃO 2 - APROX D2 -->
<!-- TARDE -->

<!--12:45 - 13:15-->
<flow id="flow_17-aprox-d-car" type="type_car" begin="45900.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="47700.00" number="59"/>
<flow id="flow_17-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="45900.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="47700.00" number="11"/>

<!--13:15 - 13:30-->
<flow id="flow_18-aprox-d-car" type="type_car" begin="47701.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="48600.00" number="21"/>
<flow id="flow_18-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="47701.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="48600.00" number="2"/>

<!--13:30 - 13:45-->
<flow id="flow_19-aprox-d-car" type="type_car" begin="48601.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="49500.00" number="30"/>
<flow id="flow_19-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="48601.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="49500.00" number="3"/>
<flow id="flow_19-aprox-d-truck" type="type_truck" begin="48601.00" departSpeed="11.11" color="gray" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="49500.00" number="1"/>
<flow id="flow_19-aprox-d-bus" type="type_bus" begin="48601.00" departSpeed="11.11" color="yellow" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="49500.00" number="1"/>

<!--13:45 - 14:00-->
<flow id="flow_20-aprox-d-car" type="type_car" begin="49501.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="50400.00" number="37"/>
<flow id="flow_20-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="49501.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="50400.00" number="6"/>
<flow id="flow_20-aprox-d-truck" type="type_truck" begin="49501.00" departSpeed="11.11" color="gray" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="50400.00" number="1"/>
<flow id="flow_20-aprox-d-bus" type="type_bus" begin="49501.00" departSpeed="11.11" color="yellow" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="50400.00" number="1"/>

<!--14:00 - 14:15-->
<flow id="flow_21-aprox-d-car" type="type_car" begin="50401.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="51300.00" number="25"/>
<flow id="flow_21-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="50401.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="51300.00" number="5"/>

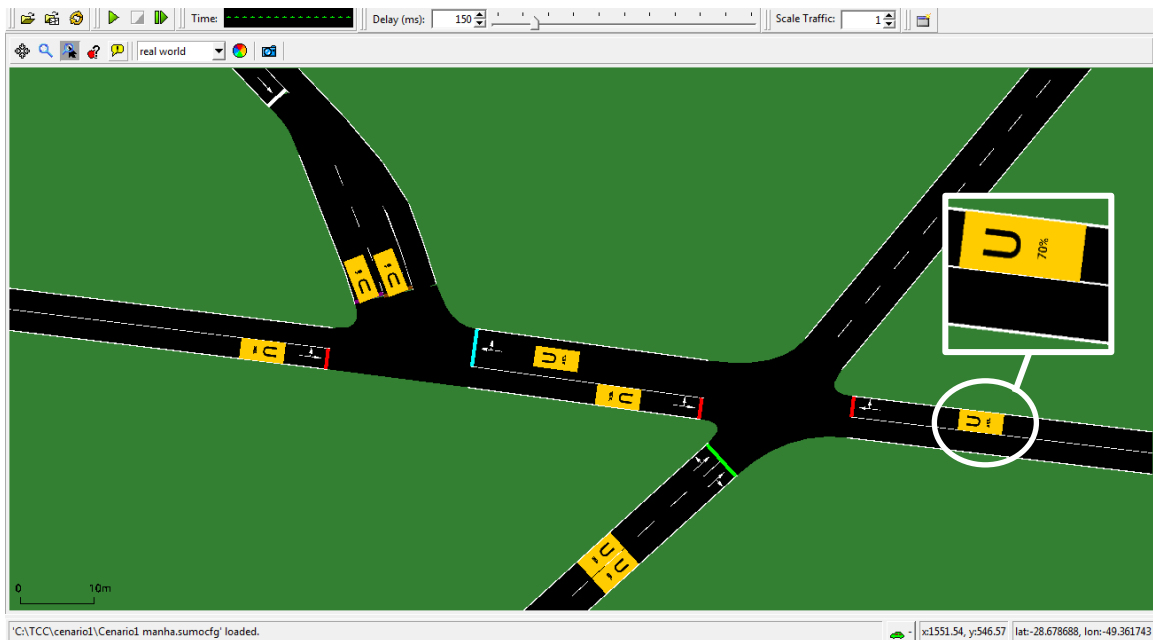
<!--14:15 - 14:45-->
<flow id="flow_22-aprox-d-car" type="type_car" begin="51301.00" departSpeed="11.11" color="green" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="53100.00" number="78"/>
<flow id="flow_22-aprox-d-moto" type="type_moto" begin="51301.00" departSpeed="11.11" color="blue" from="RCellMarcosRovaris-O-L-2" to="RJoCechinel" via="RCellMarcosRovaris-O-L-6" end="53100.00" number="9"/>

```

Fonte: Autora (2021).

## APÊNDICE C – Conversões utilizando rerouter

Os fluxos foram criados com base no fluxo total de veículos que passa por cada uma das aproximações, contendo uma única origem e destino. Os demais movimentos, ou seja, conversões à esquerda e à direita, foram incorporados como uma probabilidade, para que estes movimentos acontecessem de modo aleatório dentro do intervalo, a maneira de realizar isso, foi utilizando um additional, denominado rerouter. Um rerouter, na simulação, é indicado com uma faixa amarela no edge (as ruas da simulação), com a indicação de direção e porcentagem de redirecionamento.



Fonte: Autora (2021).

De maneira ilustrativa, na figura a seguir, são apresentadas as configurações do rerouter para os carros na aproximação B1 pela manhã.



```

<!-- CARS-->
<!-- MANHÃ -->

<rerouter id="rerouter_car-1aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.48" vTypes="vType_car">
  <interval begin="25201.00" end="27000.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

<rerouter id="rerouter_car-2aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.40" vTypes="vType_car">
  <interval begin="27001.00" end="27900.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

<rerouter id="rerouter_car-3aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.43" vTypes="vType_car">
  <interval begin="27901.00" end="28800.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

<rerouter id="rerouter_car-4aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.41" vTypes="vType_car">
  <interval begin="28801.00" end="29700.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

<rerouter id="rerouter_car-5aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.30" vTypes="vType_car">
  <interval begin="29701.00" end="30600.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

<rerouter id="rerouter_car-6aproxB1" edges="RCelMarcosRovaris-L-O-3" pos="0.00,0.00" probability="0.48" vTypes="vType_car">
  <interval begin="30601.00" end="32400.00">
    <destProbReroute id="RVidalRamos-NE-2" />
  </interval>
</rerouter>

```

Fonte: Autora (2021).

De maneira análoga, criou-se um rerouter para cada classe de veículo, para cada uma das aproximações separadas em: manhã e tarde. As probabilidades inseridas foram:

Interseção 1 - Aproximação B1																	
		MV4				MV5				TOTAL				% CONVERSÃO DIREITA			
intervalo		car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus
07:00	07:30	74	6	1	0	69	5	1	0	143	11	2	0	0,48	0,45	0,50	-
07:30	07:45	57	6	1	0	38	2	1	0	95	8	2	0	0,40	0,25	0,50	-
07:45	08:00	70	8	1	0	53	3	1	0	123	11	2	0	0,43	0,27	0,50	-
08:00	08:15	56	11	2	0	39	4	3	0	95	15	5	0	0,41	0,27	0,60	-
08:15	08:30	57	6	0	0	25	6	2	1	82	12	2	1	0,30	0,50	1,00	1,00
08:30	09:00	98	14	1	0	92	4	2	1	190	18	3	1	0,48	0,22	0,67	1,00

12:45	13:15	122	9	1	2	90	6	2	0	212	15	3	2	0,42	0,40	0,67	-
13:15	13:30	70	10	2	0	48	2	0	0	118	12	2	0	0,41	0,17	-	-
13:30	13:45	72	3	2	0	43	4	0	0	115	7	2	0	0,37	0,57	-	-
13:45	14:00	66	3	3	0	48	5	0	0	114	8	3	0	0,42	0,63	-	-
14:00	14:15	66	4	1	0	50	4	0	0	116	8	1	0	0,43	0,50	-	-
14:15	14:45	123	8	4	0	97	2	0	0	220	10	4	0	0,44	0,20	-	-

Fonte: Autora (2021).

Interseção 1 - Aproximação C1																													
		MV1				MV2				MV3				TOTAL				% CONVERSÃO DIREITA				% CONVERSÃO ESQUERDA							
intervalo		car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus
07:00	07:30	372	25	3	7	3	0	0	0	41	0	0	0	416	25	3	7	0,01	-	-	-	0,10	-	-	-				
07:30	07:45	164	8	1	2	6	0	0	0	33	2	2	0	203	10	3	2	0,03	-	-	-	0,16	0,20	0,67	-				
07:45	08:00	175	19	2	3	7	1	0	0	58	9	1	0	240	29	3	3	0,03	0,03	-	-	0,24	0,31	0,33	-				
08:00	08:15	191	5	2	1	5	0	0	0	55	6	2	0	251	11	4	1	0,02	-	-	-	0,22	0,55	0,50	-				
08:15	08:30	151	10	1	3	7	0	0	0	33	1	1	0	191	11	2	3	0,04	-	-	-	0,17	0,09	0,50	-				
08:30	09:00	295	14	10	1	12	0	1	0	83	6	2	0	390	20	13	1	0,03	-	0,08	-	0,21	0,30	0,15	-				
12:45	13:15	348	14	0	5	5	1	0	0	84	3	0	0	437	18	0	5	0,01	0,06	-	-	0,19	0,17	-	-				
13:15	13:30	208	7	1	0	6	0	0	0	54	4	1	0	268	11	2	0	0,02	-	-	-	0,20	0,36	0,50	-				
13:30	13:45	181	9	2	1	1	0	0	0	56	4	1	0	238	13	3	1	0,00	-	-	-	0,24	0,31	0,33	-				
13:45	14:00	172	7	3	1	3	0	0	0	66	4	0	0	241	11	3	1	0,01	-	-	-	0,27	0,36	-	-				
14:00	14:15	161	12	3	2	8	0	1	0	57	7	1	0	226	19	5	2	0,04	-	0,20	-	0,25	0,37	0,20	-				
14:15	14:45	280	17	5	3	6	0	0	0	88	4	2	0	374	21	7	3	0,02	-	-	-	0,24	0,19	0,29	-				

Fonte: Autora (2021).

Interseção 2 - Aproximação D2																	
		MV5				MV6				TOTAL				% CONVERSÃO ESQUERDA			
intervalo		car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus
07:00	07:30	17	1	0	0	2	0	0	0	19	1	0	0	0,11	-	-	-
07:30	07:45	15	0	1	0	0	0	0	0	15	0	1	0	-	-	-	-
07:45	08:00	25	1	0	0	1	0	0	0	26	1	0	0	0,04	-	-	-
08:00	08:15	34	0	0	0	3	0	0	0	37	0	0	0	0,08	-	-	-
08:15	08:30	28	1	1	0	2	0	0	0	30	1	1	0	0,07	-	-	-
08:30	09:00	47	4	1	0	1	0	0	0	48	4	1	0	0,02	-	-	-

12:45	13:15	54	9	0	0	5	2	0	0	59	11	0	0	0,08	0,18	-	-
13:15	13:30	18	1	0	0	3	1	0	0	21	2	0	0	0,14	0,50	-	-
13:30	13:45	28	3	1	0	2	0	0	1	30	3	1	1	0,07	-	-	1,00
13:45	14:00	32	5	1	1	5	1	0	0	37	6	1	1	0,14	0,17	-	-
14:00	14:15	22	4	0	0	3	0	0	0	25	4	0	0	0,12	-	-	-
14:15	14:45	72	9	0	0	6	0	0	0	78	9	0	0	0,08	-	-	-

Fonte: Autora (2021).

Interseção 2 - Aproximação A2																	
		MV1				MV2				TOTAL				% CONVERSÃO DIREITA			
intervalo		car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus	car	moto	truck	bus
07:00	07:30	76	5	1	0	11	1	1	0	87	6	2	0	0,13	0,17	0,50	-
07:30	07:45	55	2	2	0	3	0	1	0	58	2	3	0	0,05	-	0,33	-
07:45	08:00	54	7	0	0	9	1	0	0	63	8	0	0	0,14	0,13	-	-
08:00	08:15	50	4	1	0	4	0	0	0	54	4	1	0	0,07	-	-	-
08:15	08:30	47	5	1	0	6	0	0	0	53	5	1	0	0,11	-	-	-
08:30	09:00	87	8	0	0	13	1	0	0	100	9	0	0	0,13	0,11	-	-

12:45	13:15	110	13	3	0	13	1	0	0	123	14	3	0	0,11	0,07	-	-
13:15	13:30	49	6		0	11	0	0	0	60	6	0	0	0,18	-	-	-
13:30	13:45	45	3	2	0	4	0	0	0	49	3	2	0	0,08	-	-	-
13:45	14:00	55	8	1	0	5	1	0	0	60	9	1	0	0,08	0,11	-	-
14:00	14:15	63	11	1	0	7	0	0	0	70	11	1	0	0,10	-	-	-
14:15	14:45	113	14	2	1	6	1	1	0	119	15	3	1	0,05	0,07	0,33	-

Fonte: Autora (2021).

Para as conversões na aproximação D1 e B2, visto que o fluxo é originário das demais aproximações, as probabilidades de conversões incluídas, foram:

**Interseção 1 - Aproximação D1****% CONVERSÃO ESQUERDA**

intervalo	car	moto	truck	bus
07:00 07:30	<b>0,96</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	-
07:30 07:45	<b>0,97</b>	<b>0,86</b>	<b>0,50</b>	-
07:45 08:00	<b>0,86</b>	<b>0,77</b>	-	-
08:00 08:15	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	-
08:15 08:30	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	-
08:30 09:00	<b>0,82</b>	<b>1,00</b>	-	-

12:45 13:15	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	-
13:15 13:30	<b>0,86</b>	<b>0,57</b>	-	-
13:30 13:45	<b>0,84</b>	<b>0,92</b>	<b>0,67</b>	<b>1,00</b>
13:45 14:00	<b>0,87</b>	<b>0,63</b>	<b>1,00</b>	-
14:00 14:15	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>1,00</b>	-
14:15 14:45	<b>0,84</b>	<b>0,95</b>	-	-

Fonte: Autora (2021).

**Interseção 2 - Aproximação B2****% CONVERSÃO DIREITA**

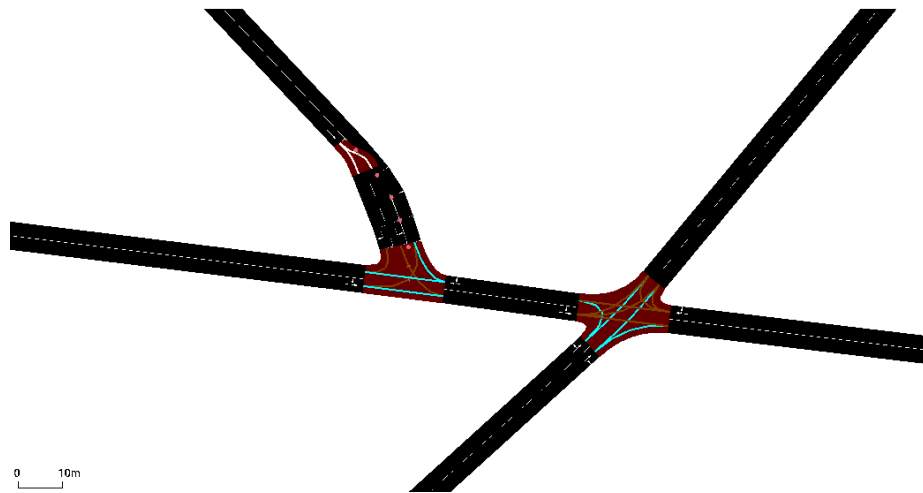
intervalo	car	moto	truck	bus
07:00 07:30	<b>0,24</b>	<b>0,38</b>	-	-
07:30 07:45	<b>0,28</b>	<b>0,36</b>	-	-
07:45 08:00	<b>0,22</b>	<b>0,17</b>	-	-
08:00 08:15	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,50</b>	-
08:15 08:30	<b>0,23</b>	<b>0,50</b>	-	<b>1,00</b>
08:30 09:00	<b>0,30</b>	<b>0,42</b>	<b>0,25</b>	<b>1,00</b>

12:45 13:15	<b>0,19</b>	<b>0,24</b>	-	-
13:15 13:30	<b>0,20</b>	<b>0,38</b>	-	-
13:30 13:45	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	-	<b>0,50</b>
13:45 14:00	<b>0,23</b>	<b>0,45</b>	-	-
14:00 14:15	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>	-	-
14:15 14:45	<b>0,23</b>	<b>0,17</b>	<b>0,25</b>	-

Fonte: Autora (2021).

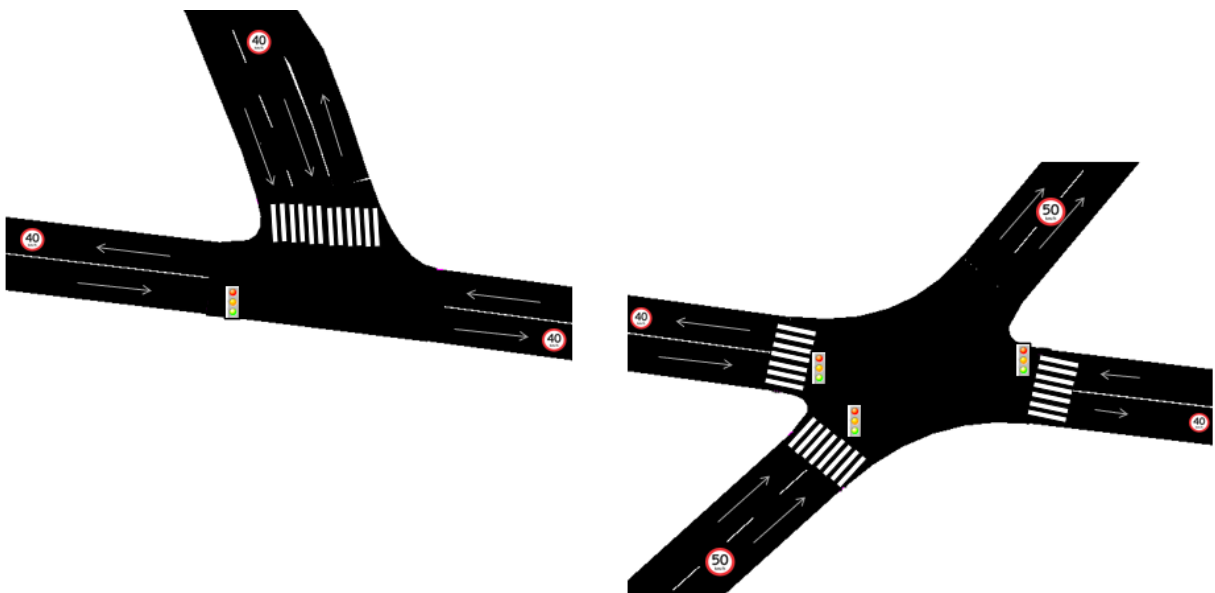
## APÊNDICE D – Configuração de rede

A configuração da rede foi adaptada de modo a permitir todos os movimentos que acontecem no cenário base. As prioridades das vias, também foram ajustadas para que o fluxo se comportasse da maneira ideal.



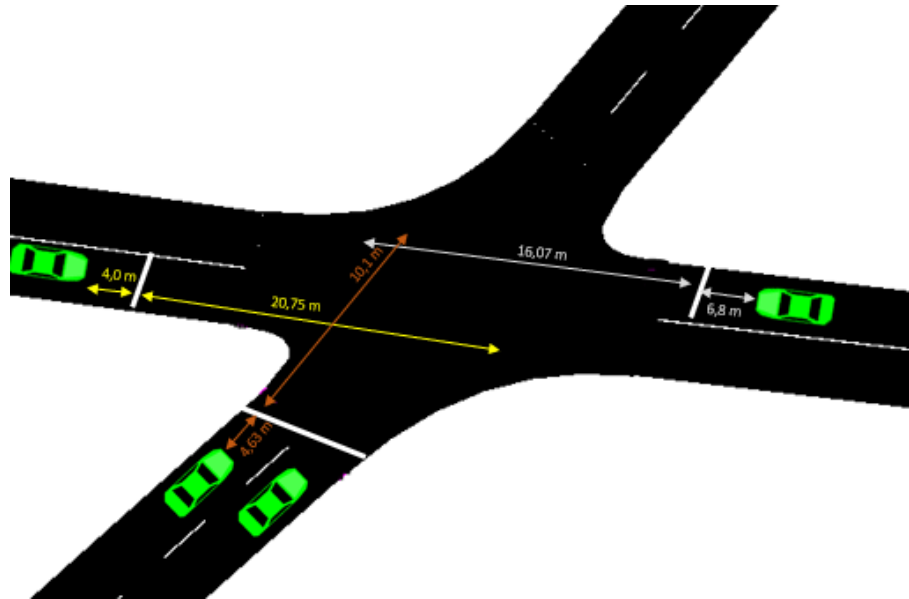
Fonte: Autora (2021).

Algumas das principais características da via consideradas, foram:



Fonte: Autora (2021).

E ainda:



Fonte: Autora (2021).

Os semáforos, foram programados de acordo com os dados do Apêndice A, sendo ele, parte da configuração da rede, onde offset descreve o horário de início do plano semafórico no intervalo simulado, pela manhã o plano P2 às 7h, plano P3 às 11h e plano P2 novamente às 14h.

As definições para cada símbolo utilizado para descrever um estado do semáforo, são:

- r (luz vermelha): os veículos devem parar;
- G (luz verde): para um sinal prioritário, veículos podem realizar o movimento;
- g (luz verde): para um sinal sem prioridade, os veículos podem passar pela junção se nenhum veículo estiver passando no fluxo conflitante mais alto, caso contrário, eles desaceleram por deixá-lo passar;
- y (luz amarela): os veículos começarão a desacelerar se longe da junção, caso contrário eles passam;
- O (desligado sem nenhum sinal): os veículos têm o direito de passagem livre;
- s (seta verde à direita): requer que os veículos sempre param antes de passar, sendo assim, os veículos podem passar pela junção se nenhum veículo usar um fluxo conflitante mais alto.

O arquivo de configurações, e a visualização deles no NetEdit são mostrados na sequência.

```

<tlLogic id="Interseção-1" type="static" programID="7h" offset="25200">
  <phase duration="35" state="rrrGGGrrr"/>
  <phase duration="3" state="rrryyyrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="34" state="GGGrrrrrrr"/>
  <phase duration="3" state="yyyrrrrrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="26" state="rrrrrrGGG"/>
  <phase duration="3" state="rrrrrryyy"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
</tlLogic>
<tlLogic id="Interseção-1" type="static" programID="11h" offset="39600">
  <phase duration="43" state="rrrGGGrrr"/>
  <phase duration="3" state="rrryyyrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="39" state="GGGrrrrrrr"/>
  <phase duration="3" state="yyyrrrrrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="33" state="rrrrrrGGG"/>
  <phase duration="3" state="rrrrrryyy"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
</tlLogic>
<tlLogic id="Interseção-1" type="static" programID="14h" offset="50400">
  <phase duration="35" state="rrrGGGrrr"/>
  <phase duration="3" state="rrryyyrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="34" state="GGGrrrrrrr"/>
  <phase duration="3" state="yyyrrrrrrr"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
  <phase duration="26" state="rrrrrrGGG"/>
  <phase duration="3" state="rrrrrryyy"/>
  <phase duration="2" state="rrrrrrrrr"/>
</tlLogic>

```

Fonte: Autora (2021).

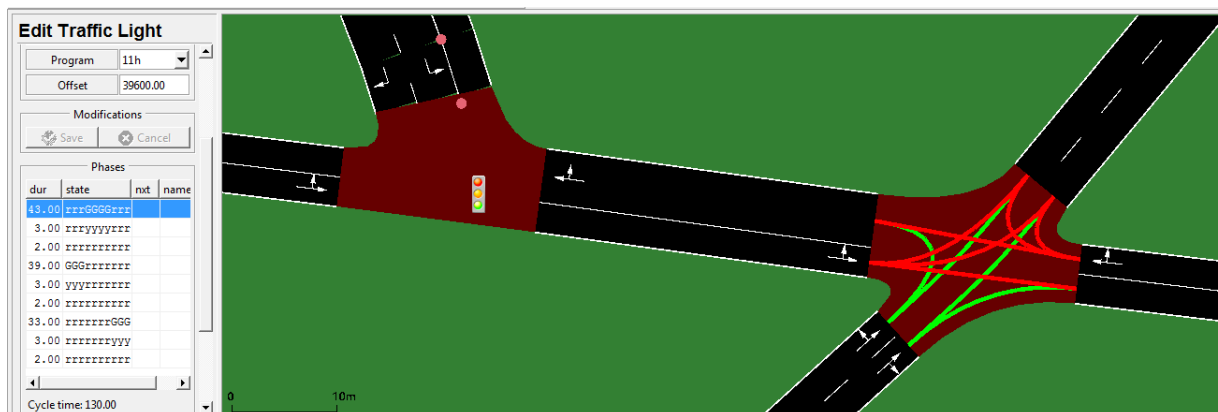
Para a interseção 2, o semáforo foi programado da seguinte maneira:

```

<tlLogic id="Interseção-2" type="static" programID="7h" offset="25200">
  <phase duration="89" state="OOrrsO" name="0" next="1"/>
  <phase duration="16" state="OOGgsO" name="1" next="2"/>
  <phase duration="3" state="OOyysO" name="2" next="3"/>
  <phase duration="2" state="OOrrsO" name="3" next="0"/>
</tlLogic>
<tlLogic id="Interseção-2" type="static" programID="11h" offset="39600">
  <phase duration="102" state="OOrrsO" name="0" next="1"/>
  <phase duration="23" state="OOGgsO" name="1" next="2"/>
  <phase duration="3" state="OOyysO" name="2" next="3"/>
  <phase duration="2" state="OOrrsO" name="3" next="0"/>
</tlLogic>
<tlLogic id="Interseção-2" type="static" programID="14h" offset="50400">
  <phase duration="89" state="OOrrsO" name="0" next="1"/>
  <phase duration="16" state="OOGgsO" name="1" next="2"/>
  <phase duration="3" state="OOyysO" name="2" next="3"/>
  <phase duration="2" state="OOrrsO" name="3" next="0"/>
</tlLogic>

```

Fonte: Autora (2021).



Fonte: Autora (2021).

### APÊNDICE E – Elementos da programação semafórica do cenário 1

		APROXIMAÇÃO	C1	B1	D1
		ESTÁGIO	E1	E2	E3
Etapa I	Tempo amarelo (s)		4	3	3
	d (m)		14,73	22,87	24,75
	Velocidade da via (m/s)		13,89	11,11	11,11
	Vermelho geral (s)		1	3	3
	$T_{ent}$		5	6	6

		PLANO P2		
		E1	E2	E3
Etapa II	Taxa de fluxo (F)	1076	536	388
	Fluxo de saturação (FS)	3398	1438	1629

PLANO P3		
E1	E2	E3
1116	516	424
2836	1496	1660

Etapa III	$t_p$	17	17	17
	Taxa de ocupação (y)	0,32	0,37	0,24
	$\sum y_i$	0,928		
	$t_{v,ef,i}$ (s)	31,75	37,37	23,88
	$t_{v,ef,i}$ usado (s)	32	37	24
	Tempo de ciclo	<b>110</b>		

17	17	17
0,39	0,34	0,26
0,994		
44,74	39,22	29,04
45	39	29
<b>130</b>		

Fonte: Autora (2021).

## APÊNDICE F – Elementos da programação semafórica do cenário 2

Etapa I	APROXIMAÇÃO	<b>C1</b>	<b>B1</b>
	ESTÁGIO	E1	E2
	Tempo amarelo (s)	4	3
	d (m)	14,73	22,87
	Velocidade da via (m/s)	13,89	11,11
	Vermelho geral (s)	1	3
	$T_{ent}$	5	6

		<b>PLANO P2</b>	
		E1	E2
Etapa II	taxa de fluxo (F)	536	1076
	fluxo de saturação (FS)	2876	5097

<b>PLANO P3</b>	
E1	E2
516	1116
2992	4254

Etapa III	$t_p$	11	
	Taxa de ocupação (y)	0,19	0,21
	$\sum y_i$	0,397	
	$t_{v,ef,i}$ (s)	46,42	52,58
	$t_{v,ef,i}$ (s) usado (s)	46	53
	Tempo de ciclo	<b>110</b>	

11	
0,17	0,26
0,435	
47,20	71,80
47	72
<b>130</b>	

Fonte: Autora (2021).



## ANEXO A – Fluxo de saturação

A coleta de dados para determinar o fluxo de saturação, deve ser realizada in loco para cada faixa de trânsito, em aproximações controladas por semáforo, juntamente com a determinação dos tempos perdidos inicial e final de cada estágio. A coleta dos dados deve ser realizada mediante o preenchimento da planilha a seguir.

Cidade: _____ Local: _____ Aproximação: _____ Observador: _____ Tempo: _____  Movimentos permitidos na faixa estudada: ( ) Em frente ( ) À direita ( ) À esquerda  Data: __/__/__      Hora: _____	<b>Croqui da interseção:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>mostrar todas as faixas das aproximações, com os respectivos movimentos permitidos;</li> <li>identificar a faixa estudada.</li> </ul>			
Posição do veículo na fila da faixa	Ciclo 1 Tempo	Ciclo 2 Tempo	Ciclo 3 Tempo	Ciclo 4 Tempo
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
f>20	f=	f=	f=	f=
Outros dados	Hf =	Hf =	Hf =	Hf =
Duração do tempo verde				
Observações				
Duração do entreverdes	Amarelo = Vermelho geral =			
VP = veículo pesado; C = conversão (E = esquerda, D = direita)				

Para ciclos saturados, utiliza-se do conjunto de equações a seguir para determinação do fluxo de saturação.

$$Hm = \frac{Hfs - H4}{fs - 4} \quad (1)$$

$$FS = \frac{3600}{Hm} \quad (2)$$

$$t_{pin} = H4 - (4 * Hm) \quad (3)$$

$$Tf = (t_{v,real} + t_{ent}) - Hfs \quad (4)$$

$$t_{pfn} = Tf - [(f - fs) * Hm] \quad (5)$$

Sendo:

$Hm$  = headway médio para a faixa, no ciclo considerado (em segundos);

$FS$  = fluxo de saturação (em veículos por hora de tempo verde);

$t_{pin}$  = tempo perdido inicial (em segundos);

$H4$  = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do quarto veículo da fila (em segundos);

$Hfs$  = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo proveniente da fila que passa sobre a linha de retenção durante o verde (em segundos);

$Tf$  = duração do último intervalo de observação, que vai da passagem das rodas traseiras do veículo  $fs$  até o final do estágio (em segundos);

$t_{v,real}$  = duração do tempo de verde do estágio considerado (em segundos);

$t_{ent}$  = duração do tempo de entreverdes do estágio considerado (em segundos);

$t_{pfn}$  = tempo perdido final (em segundos);

$f$  = posição do último veículo da fila que passa sobre a linha de retenção.

## ANEXO B – Arquivo typemap para conversão de rede

De acordo com a documentação do simulador SUMO (2021), o arquivo deve ser salvo no formato .xml, por exemplo, typemap.xml.

```

<polygonTypes>
  <polygonType id="waterway"           name="water"           color=".71,.82,.82"
  layer="-4"/>
  <polygonType id="natural"           name="natural"        color=".55,.77,.42"
  layer="-4"/>
  <polygonType id="natural.water"     name="water"           color=".71,.82,.82"
  layer="-4"/>
  <polygonType id="natural.wetland"   name="water"           color=".71,.82,.82"
  layer="-4"/>
  <polygonType id="natural.wood"      name="forest"         color=".55,.77,.42"
  layer="-4"/>
  <polygonType id="natural.land"      name="land"           color=".98,.87,.46"
  layer="-4"/>

  <polygonType id="landuse"           name="landuse"        color=".76,.76,.51"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.forest"    name="forest"         color=".55,.77,.42"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.park"      name="park"           color=".81,.96,.79"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.residential" name="residential"    color=".92,.92,.89"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.commercial" name="commercial"    color=".82,.82,.80"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.industrial" name="industrial"    color=".82,.82,.80"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.military"  name="military"      color=".60,.60,.36"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.farm"      name="farm"           color=".95,.95,.80"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.greenfield" name="farm"           color=".95,.95,.80"
  layer="-3"/>
  <polygonType id="landuse.village_green" name="farm"           color=".95,.95,.80"
  layer="-3"/>

  <polygonType id="tourism"           name="tourism"        color=".81,.96,.79"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="military"          name="military"      color=".60,.60,.36"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="sport"             name="sport"         color=".31,.90,.49"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="leisure"          name="leisure"      color=".81,.96,.79"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="leisure.park"     name="tourism"       color=".81,.96,.79"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="aeroway"          name="aeroway"      color=".50,.50,.50"
  layer="-2"/>
  <polygonType id="aerialway"        name="aerialway"    color=".20,.20,.20"
  layer="-2"/>

  <polygonType id="shop"              name="shop"          color=".93,.78,1.0"
  layer="-1"/>
  <polygonType id="historic"         name="historic"      color=".50,1.0,.50"
  layer="-1"/>

```

```

<polygonType id="man_made" name="building" color="1.0,.90,.90"
layer="-1"/>
  <polygonType id="building" name="building" color="1.0,.90,.90"
layer="-1"/>
  <polygonType id="amenity" name="amenity" color=".93,.78,.78"
layer="-1"/>
  <polygonType id="amenity.parking" name="parking" color=".72,.72,.70"
layer="-1"/>
  <polygonType id="power" name="power" color=".10,.10,.30"
layer="-1" discard="true"/>
  <polygonType id="highway" name="highway" color=".10,.10,.10"
layer="-1" discard="true"/>
  <polygonType id="railway" name="railway" color=".10,.10,.10"
layer="-1" discard="true"/>

<polygonType id="boundary" name="boundary" color="1.0,.33,.33" layer="0"
fill="false" discard="true"/>
  <polygonType id="admin_level" name="admin_level" color="1.0,.33,.33" layer="0"
fill="false" discard="true"/>
</polygonTypes>

```

## ANEXO C – Gerenciamento de conflitos

PROBLEMA	CAUSAS PROVÁVEIS	SOLUÇÕES POSSÍVEIS	EXEMPLOS DE MEDIDAS QUE PODEM SER ADOTADAS			
<b>Fila excessiva de veículos para transpor uma interseção</b>	O condutor não enxerga as brechas no fluxo a ser transposto e não as aproveita	- melhoria das condições de visibilidade	Remoção de interferências visuais; Adequação de geometria para melhor posicionamento dos veículos			
	Não há brechas suficientes para a transposição pela quantidade de veículos que desejam fazê-lo	- melhor aproveitamento das brechas existentes	Aumento da capacidade da aproximação, através de proibição de estacionamento ou alargamento de pista; Alteração de geometria Implantação de sinalização semafórica			
		- alternância do direito de passagem	Implantação de minirrotatórias Implantação de sinalização semafórica			
	Muitos movimentos conflitantes	- redução do conflito	Proibição de movimentos Implantação de rotatória ou minirrotatória Alteração de circulação Implantação de sinalização semafórica			
			<b>Ocorrência de acidentes ou risco potencial de acidentes</b>	O condutor não enxerga as brechas e transpõe a interseção em condições impróprias	- melhoria das condições de visibilidade	Remoção de interferências visuais Avanço do alinhamento da via perpendicular por meio de construção de avanço de calçada e implantação de linha de retenção ou de continuidade do alinhamento
				Não há brechas para transposição	- alternância do direito de passagem	Implantação de rotatória ou minirrotatória Implantação de sinalização semafórica
	As velocidades de aproximação são elevadas ou há dificuldade para avaliar a velocidade de aproximação de veículos da transversal	- redução da velocidade de aproximação		Implantação de sinalização de regulamentação de velocidade Implantação de fiscalização de velocidade Implantação de redutores de velocidade Implantação de sinalização semafórica		
As normas de preferência de passagem não são respeitadas				- definição das regras por meio de sinalização	Definição da preferencial por meio de sinal R-1 – Parada Obrigatória ou R-2 – Dê a Preferência Redefinição da via preferencial – inversão da sinalização de preferência de passagem Implantação de sinalização semafórica de advertência Implantação de rotatória ou minirrotatória Implantação de sinalização semafórica de regulamentação	
					Muitos movimentos conflitantes	- redução dos conflitos

Fonte: Brasil (2014, p. 47).

## ANEXO D – Contagem volumétrica da interseção 1

Movimento veicular 1 (da aproximação C1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		193	14	2	5	0	215	776	214	12:00	12:15	172	12	3	4	0	194	191
7:15	7:30		179	11	1	2	0	191		193	12:15	12:30	137	11	2	3	0	154	153
7:30	7:45		164	8	1	2	0	175		175	12:30	12:45	127	6	1	4	0	141	138
7:45	8:00		175	19	2	3	0	196	199	12:45	13:00	171	9	0	2	0	180	182	
8:00	8:15		191	5	2	1	0	201	694	199	13:00	13:15	177	5	0	3	0	186	185
8:15	8:30		151	10	1	3	0	165		165	13:15	13:30	208	7	1	0	0	214	216
8:30	8:45		155	6	4	1	0	170		166	13:30	13:45	181	9	2	1	0	193	193
8:45	9:00		140	8	6	0	0	159	154	13:45	14:00	172	7	3	1	0	185	183	
										176	14:00	14:15	161	12	3	2	0	179	178
										153	14:15	14:30	141	9	3	0	0	153	153
										152	14:30	14:45	139	8	2	3	0	154	152
										163	14:45	15:00	150	9	4	0	0	165	163

Fonte: Tranzum (2019a, p.20).

Movimento veicular 2 (da aproximação C1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde											
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	
7:00	7:15		1	0	0	0	0	1	17	1	12:00	12:15	2	0	0	0	0	2	2	
7:15	7:30		2	0	0	0	0	2		2	12:15	12:30	4	0	0	0	1	0	6	5
7:30	7:45		6	0	0	0	0	6		6	12:30	12:45	8	0	0	0	0	8	8	
7:45	8:00		7	1	0	0	0	8	8	12:45	13:00	1	1	0	0	0	2	2		
8:00	8:15		5	0	0	0	0	5	27	5	13:00	13:15	5	0	0	0	0	5	5	
8:15	8:30		7	0	0	0	0	7		7	13:15	13:30	6	0	0	0	0	6	6	
8:30	8:45		6	0	0	0	0	6		6	13:30	13:45	1	0	0	0	0	1	1	
8:45	9:00		6	0	1	0	0	9	7	13:45	14:00	3	0	0	0	0	3	3		
										9	14:00	14:15	8	0	1	0	0	11	9	
										3	14:15	14:30	3	0	0	0	0	3	3	
										3	14:30	14:45	3	0	0	0	0	3	3	
										5	14:45	15:00	4	0	1	0	0	7	5	

Fonte: Tanzum (2019a, p. 22).

Movimento veicular 3 (da aproximação C1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		17	0	0	0	0	17	145	17	12:00	12:15	62	6	0	0	0	65	68
7:15	7:30		24	0	0	0	0	24		24	12:15	12:30	52	3	0	0	0	54	55
7:30	7:45		33	2	2	0	0	39		37	12:30	12:45	33	2	0	0	0	34	35
7:45	8:00		58	9	1	0	0	65	68	12:45	13:00	47	2	0	0	0	48	49	
8:00	8:15		55	6	2	0	0	63	190	63	13:00	13:15	37	1	0	0	0	38	38
8:15	8:30		33	1	1	0	0	36		35	13:15	13:30	54	4	1	0	0	59	59
8:30	8:45		42	4	0	0	0	44		46	13:30	13:45	56	4	1	0	0	61	61
8:45	9:00		41	2	2	0	0	47	45	13:45	14:00	66	4	0	0	0	68	70	
										65	14:00	14:15	57	7	1	0	0	63	65
										47	14:15	14:30	46	1	0	0	0	47	47
										47	14:30	14:45	42	3	2	0	0	49	47
										44	14:45	15:00	41	3	0	0	0	43	44

Fonte: Tranzum (2019a, p. 24).

Movimento veicular 4 (da aproximação B1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		31	3	0	0	0	33	34	12:00	12:15		75	8	0	0	0	79	83
7:15	7:30		43	3	1	0	0	47	47	12:15	12:30		54	5	0	0	0	57	59
7:30	7:45		57	6	1	0	0	63	64	12:30	12:45		39	6	0	0	0	42	45
7:45	8:00		70	8	1	0	0	77	79	12:45	13:00		51	2	0	1	0	54	54
8:00	8:15		56	11	2	0	0	67	69	13:00	13:15		71	7	1	1	0	79	80
8:15	8:30		57	6	0	0	0	60	63	13:15	13:30		70	10	2	0	0	80	82
8:30	8:45		49	8	1	0	0	56	58	13:30	13:45		72	3	2	0	0	79	77
8:45	9:00		49	6	0	0	0	52	55	13:45	14:00		66	3	3	0	0	75	72
										14:00	14:15		66	4	1	0	0	71	71
										14:15	14:30		69	4	2	0	0	76	75
										14:30	14:45		54	4	2	0	0	61	60
										14:45	15:00		54	8	1	0	0	61	63

Fonte: Tranzum (2019a, p. 18).

Movimento veicular 5 (da aproximação B1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		37	0	1	0	0	40	38	12:00	12:15		34	3	3	0	0	43	40
7:15	7:30		32	5	0	0	0	35	37	12:15	12:30		34	1	0	0	0	35	35
7:30	7:45		38	2	1	0	0	42	41	12:30	12:45		28	1	0	0	0	29	29
7:45	8:00		53	3	1	0	0	57	57	12:45	13:00		46	2	2	0	0	52	50
8:00	8:15		39	4	3	0	0	49	46	13:00	13:15		44	4	0	0	0	46	48
8:15	8:30		25	6	2	1	0	35	34	13:15	13:30		48	2	0	0	0	49	50
8:30	8:45		47	1	2	1	0	55	51	13:30	13:45		43	4	0	0	0	45	47
8:45	9:00		45	3	0	0	0	47	48	13:45	14:00		48	5	0	0	0	51	53
										14:00	14:15		50	4	0	0	0	52	54
										14:15	14:30		49	1	0	0	0	50	50
										14:30	14:45		48	1	0	0	0	49	49
										14:45	15:00		45	1	1	0	0	48	47

Fonte: Tranzum (2019a, p. 16).

Movimento veicular 6 (da aproximação D1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		2	1	0	0	0	3	3	12:00	12:15		15	1	0	0	0	16	16
7:15	7:30		2	1	0	0	0	3	3	12:15	12:30		10	2	0	0	0	11	12
7:30	7:45		2	1	1	0	0	5	4	12:30	12:45		4	2	0	0	0	5	6
7:45	8:00		13	3	0	0	0	15	16	12:45	13:00		12	1	0	0	0	13	13
8:00	8:15		4	0	0	0	0	4	4	13:00	13:15		10	2	0	0	0	11	12
8:15	8:30		5	0	0	0	0	5	5	13:15	13:30		13	3	0	0	0	15	16
8:30	8:45		9	0	1	0	0	12	10	13:30	13:45		13	1	1	0	0	16	15
8:45	9:00		14	0	0	0	0	14	14	13:45	14:00		10	3	0	0	0	12	13
										14:00	14:15		14	1	0	0	0	15	15
										14:15	14:30		18	0	0	0	0	18	18
										14:30	14:45		10	1	0	0	0	11	11
										14:45	15:00		15	1	0	0	0	16	16

Fonte: Tranzum (2019a, p. 28).

Movimento veicular 7 (da aproximação D1) no período da manhã e tarde:

Período Manhã								
Período de até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15	28	3	1	0	0	32	32
7:15	7:30	57	3	0	0	0	59	60
7:30	7:45	68	6	1	0	0	74	75
7:45	8:00	77	10	0	0	0	82	87
8:00	8:15	75	3	1	0	0	79	79
8:15	8:30	72	5	1	0	0	77	78
8:30	8:45	53	6	0	0	0	56	59
8:45	9:00	53	7	0	0	0	57	60
							246	254
							269	276

Período Tarde								
Período de até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
12:00	12:15	72	8	1	0	0	79	81
12:15	12:30	40	6	0	0	0	43	46
12:30	12:45	41	5	2	0	0	49	48
12:45	13:00	50	4	1	0	0	55	55
13:00	13:15	74	8	2	0	0	83	84
13:15	13:30	77	4	0	0	0	79	81
13:30	13:45	66	12	2	1	0	79	81
13:45	14:00	68	5	2	0	0	76	75
14:00	14:15	73	6	1	0	0	79	80
14:15	14:30	71	10	0	0	0	76	81
14:30	14:45	74	9	0	0	0	79	83
14:45	15:00	71	9	1	0	0	78	81
							285	290
							317	321
							311	325

Fonte: Tranzum (2019a, p.26).



## ANEXO E – Contagem volumétrica da interseção 2

Movimento veicular 1 (da aproximação A2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		22	2	1	0	0	26	25	12:00	12:15		56	7	1	0	0	62	64
7:15	7:30		54	3	0	0	0	56	57	12:15	12:30		59	5	0	0	0	62	64
7:30	7:45		55	2	2	0	0	61	59	12:30	12:45		54	4	0	0	0	56	58
7:45	8:00		54	7	0	0	0	58	61	12:45	13:00		58	8	1	0	0	65	67
8:00	8:15		50	4	1	0	0	55	55	13:00	13:15		52	5	2	0	0	60	59
8:15	8:30		47	5	1	0	0	52	53	13:15	13:30		49	6	0	0	0	52	55
8:30	8:45		45	2	0	0	0	46	47	13:30	13:45		45	3	2	0	0	52	50
8:45	9:00		42	6	0	0	0	45	48	13:45	14:00		55	8	1	0	0	62	64
								200	202	14:00	14:15		63	11	1	0	0	71	75
								198	203	14:15	14:30		59	9	0	0	0	64	68
										14:30	14:45		54	5	2	1	0	64	62
										14:45	15:00		48	6	0	0	0	51	54

Fonte: Tranzum (2019b, p.16).

Movimento veicular 2 (da aproximação A2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		6	1	1	0	0	9	8	12:00	12:15		6	1	0	0	0	7	7
7:15	7:30		5	0	0	0	0	5	5	12:15	12:30		5	0	0	0	0	5	5
7:30	7:45		3	0	1	0	0	6	4	12:30	12:45		2	0	0	0	0	2	2
7:45	8:00		9	1	0	0	0	10	10	12:45	13:00		7	1	0	0	0	8	8
8:00	8:15		4	0	0	0	0	4	4	13:00	13:15		6	0	0	0	0	6	6
8:15	8:30		6	0	0	0	0	6	6	13:15	13:30		11	0	0	0	0	11	11
8:30	8:45		8	0	0	0	0	8	8	13:30	13:45		4	0	0	0	0	4	4
8:45	9:00		5	1	0	0	0	6	6	13:45	14:00		5	1	0	0	0	6	6
								29	27	14:00	14:15		7	0	0	0	0	7	7
								24	24	14:15	14:30		2	1	0	0	0	3	3
										14:30	14:45		4	0	1	0	0	7	5
										14:45	16:00		10	1	0	0	0	11	11

Fonte: Tranzum (2019b, p.18).

Movimento veicular 3 (da aproximação B2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde										
Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC	Período de		até	Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC
7:00	7:15		28	3	1	0	0	32	32	12:00	12:15		103	6	0	0	0	106	109
7:15	7:30		55	2	1	0	0	59	58	12:15	12:30		96	7	1	0	0	102	104
7:30	7:45		50	9	3	1	0	64	63	12:30	12:45		92	5	2	0	0	100	99
7:45	8:00		91	15	2	0	0	104	108	12:45	13:00		94	8	0	0	0	98	102
8:00	8:15		92	11	1	0	0	100	104	13:00	13:15		92	11	1	0	0	100	104
8:15	8:30		95	5	5	0	0	110	105	13:15	13:30		89	5	0	0	0	92	94
8:30	8:45		89	9	1	0	0	96	99	13:30	13:45		96	9	0	1	0	103	106
8:45	9:00		72	5	2	0	0	80	79	13:45	14:00		92	6	1	0	0	98	99
								258	261	14:00	14:15		87	8	2	0	0	96	97
								386	387	14:15	14:30		96	8	0	0	0	100	104
										14:30	14:45		85	7	3	1	0	98	96
										14:45	15:00		82	5	1	0	0	87	88

Fonte: Tranzum (2019b, p.22).

## Movimento veicular 4 (da aproximação B2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde																							
Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC		Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC										
7:00	7:15	9	1	0	0	0	0	0	10	76	10	81	12:00	12:15	33	1	0	0	0	0	34	117	34	121								
7:15	7:30	17	2	0	0	0	0	18	19		33																					
7:30	7:45	19	5	0	0	0	0	22	24		29																					
7:45	8:00	25	3	0	0	0	0	27	27	28	12:45	13:00	21	5	0	0	0	0	24	24	26											
8:00	8:15	31	6	1	0	0	0	37	37	38	13:00	13:15	23	1	0	0	0	0	24	24	24	13:15	13:30	22	3	0	0	0	0	24	25	110
8:15	8:30	29	5	0	0	0	0	32	32	34	13:30	13:45	26	2	0	1	0	0	29	29	29	13:45	14:00	27	5	0	0	0	30	32	110	
8:30	8:45	36	8	0	0	0	0	40	40	44	14:00	14:15	27	2	0	0	0	0	28	28	29	14:15	14:30	25	2	0	0	0	29	28	124	
8:45	9:00	34	2	1	0	0	0	38	38	37	14:30	14:45	29	1	0	0	0	0	30	30	30	14:45	15:00	32	5	0	0	0	35	37	124	

Fonte: Tranzum (2019b, p.20).

## Movimento veicular 5 (da aproximação D2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde																							
Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC		Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC										
7:00	7:15	6	0	0	0	0	0	0	6	61	6	60	12:00	12:15	47	5	0	0	0	0	50	106	52	111								
7:15	7:30	11	1	0	0	0	0	12	12		16		12:15	12:30	15	1	0	0	0	0	16		16		13							
7:30	7:45	15	0	1	0	0	0	18	16		16		12:30	12:45	12	1	0	0	0	0	13		13		30							
7:45	8:00	25	1	0	0	0	0	26	26	26	12:45	13:00	27	3	0	0	0	0	29	29	30	13:00	13:15	27	6	0	0	0	0	30	33	123
8:00	8:15	34	0	0	0	0	0	34	34	34	13:15	13:30	18	1	0	0	0	0	19	19	19	13:30	13:45	28	3	1	0	0	32	32	123	
8:15	8:30	28	1	1	0	0	0	31	31	30	13:45	14:00	32	5	1	1	0	0	39	39	39	14:00	14:15	22	4	0	0	0	24	28	136	
8:30	8:45	22	1	1	0	0	0	25	24	24	14:15	14:30	37	4	0	0	0	0	39	39	41	14:30	14:45	35	5	0	0	0	38	40	136	
8:45	9:00	25	3	0	0	0	0	27	27	28	14:45	15:00	28	1	0	0	0	0	29	29	29											

Fonte: Tranzum (2019b, p.26).

## Movimento veicular 6 (da aproximação D2) no período da manhã e tarde:

Período Manhã									Período Tarde																						
Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC		Período de		até		Car	Moto	Truck	Bus	-	PCU	VEC									
7:00	7:15	1	0	0	0	0	0	0	1	5	1	3	12:00	12:15	1	0	0	0	0	0	1	16	1	17							
7:15	7:30	1	0	0	0	0	0	1	1		4		12:15	12:30	4	0	0	0	0	0	4		4		6						
7:30	7:45	0	0	0	0	0	0	0	0		0		12:30	12:45	6	0	0	0	0	0	6		6		6						
7:45	8:00	1	0	0	0	0	0	1	1	1	12:45	13:00	4	2	0	0	0	0	5	5	6	13:00	13:15	1	0	0	0	0	1	1	13
8:00	8:15	3	0	0	0	0	0	3	3	3	13:15	13:30	3	1	0	0	0	0	4	4	4	13:30	13:45	2	0	0	0	0	2	2	13
8:15	8:30	2	0	0	0	0	0	2	2	2	13:45	14:00	5	1	0	0	0	0	6	6	6	14:00	14:15	3	0	0	0	0	3	3	14
8:30	8:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14:15	14:30	1	0	0	0	0	0	1	1	1	14:30	14:45	5	0	0	0	0	5	5	14
8:45	9:00	1	0	0	0	0	0	1	1	1	14:45	15:00	4	0	1	0	0	0	7	7	5										

Fonte: Tranzum (2019b, p. 24).