

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

Ayrton de Sousa Pinto

Ivan Dairson Capi Mamani

**Intervenções para melhoria do desempenho do tráfego de veículos na Cidade
Universitária da USP**

São Paulo

2023

Ayrton de Sousa Pinto

Ivan Dairson Capi Mamani

**Intervenções para melhoria do desempenho do tráfego de veículos na Cidade
Universitária da USP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
como requisito para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Augusto Isler

São Paulo

2023

AGRADECIMENTOS

(Coletivos)

Gostaríamos de agradecer ao nosso professor orientador Dr. Cassiano Augusto Isler, que adotou uma postura acolhedora com relação ao nosso projeto, mesmo estando sobrecarregado com outros grupos. Agradecemos também o Prof. Dr. Cláudio Luiz Marte, que acompanhou o trabalho e nos ofereceu valiosos feedbacks durante as disciplinas de Engenharia de Tráfego e ITS; e, também no ambiente dessas disciplinas, agradecemos aos colegas Pedro, Vinicius e Paula pela ajuda direta no trabalho, principalmente na etapa prática. Agradecemos também à Guarda Universitária da USP e todos seus colaboradores, que foram muito solícitos em atender nossa demanda de pesquisa e muito hospitaleiros ao nos receber em sua sede.

Agradecemos a todos que fazem parte da Escola Politécnica e da Universidade de São Paulo (USP), por oferecer um ambiente educacional estimulante e desafiador. Ao longo destes anos, fomos inspirados por professores dedicados e comprometidos, cujo conhecimento e paixão por suas áreas de estudo desempenharam um papel fundamental no estímulo à nossa formação acadêmica. A diversidade de perspectivas e a excelência acadêmica da USP contribuíram para a formação de uma abordagem crítica em nós, capacitando-nos a enfrentar os desafios intelectuais que surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho. Deixamos também um agradecimento muito especial à toda a sociedade brasileira, que permite a existência de uma instituição de excelência, pública e gratuita, como é a USP.

(Particulares)

Expresso meu sincero agradecimento à minha família pelo apoio fornecido e pela compreensão das dificuldades enfrentadas ao longo da minha trajetória acadêmica. Agradeço também ao meu parceiro de projeto, Ayrton, por acreditar desde o início neste projeto.

Ivan D. C. Mamani

Ofereço meus agradecimentos ao meu parceiro Ivan, com quem realizei este trabalho do início ao fim, e um profundo obrigado a todos os colegas, amigos e professores da Universidade, estágio e todos os outros lugares que foram fundamentais na minha formação acadêmica e pessoal. Por fim, agradeço muito aos meus familiares, especialmente à minha mãe e meu pai, que não está mais aqui: *enxerguei alto por estar sobre os ombros de dois gigantes.*

Ayrton de Sousa Pinto

RESUMO

PINTO, A. S.; MAMANI, I. D. C. **Intervenções para melhoria do desempenho do tráfego de veículos na Cidade Universitária da USP.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A insatisfação da comunidade da USP com a qualidade do serviço ofertada dos ônibus das linhas circulares na CUASO é uma questão antiga cujo enfrentamento pode acontecer a partir de diversas abordagens. Nesse contexto, o estudo realizado abordou essa problemática com um enfoque nos congestionamentos comuns na região do P1 em horários de pico, verificando se o desempenho operacional dos circulares poderia ser melhorado a partir da implementação de alterações na infraestrutura viária e/ou no controle de tráfego na região estudada; fundamentando-se na teoria de Engenharia de Tráfego, coleta de dados reais com visitas em campo e análise de gravações fornecidas pela Guarda Universitária da USP, e efetuação de simulações microscópicas num modelo construído, calibrado e validado no software VISSIM. A partir da análise dos resultados proveniente da simulação de comprimentos de fila máximos e tempos de viagem dos ônibus circulares para diferentes cenários, foi concluído que, as propostas de intervenção de adoção de três ou quatro faixas na saída da rotatória do P1 e/ou aumento do tempo de verde em pelo menos 4,0 segundos do semáforo no cruzamento entre a Av. Afrânio Peixoto e Rua Alvarenga, na saída do P1, são efetivas em mitigar ou eliminar os problemas de congestionamento que prejudicam a operação das linhas circulares.

O modelo microscópico pode ser acessado pelo repositório no *GitHub*: <https://github.com/Stark-is-here/Modelo-VISSIM---TCC-Melhorias-de-Tr-fego-CUASO---2023>.

Palavras-Chave: CUASO. Simulação microscópica. VISSIM.

ABSTRACT

PINTO, A. S.; MAMANI, I. D. C. **Interventions to improve the performance of vehicular traffic in the main campus of the University of São Paulo**. 2023. Working course conclusion (Graduation) – Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

Dissatisfaction among the USP community with the quality of the bus circle route service in the CUASO is a long-standing issue that can be addressed through various means. In this context, the study approached this problem with a focus on the traffic jams that commonly happen in the P1 region during peak hours, determining if the operational performance of the circular lines could be improved upon the implementation of changes in the road infrastructure and/or in the traffic control in the studied region; grounded in the theory of Traffic Engineering, real-world data collected from field trips, recordings provided by the USP University Guard, and the conduction of microscopic simulations in a model constructed, calibrated and validated in VISSIM software. Based on an analysis of the results from the simulations of maximum queue lengths and bus circle lines travelling times in different scenarios, it was concluded that intervention proposals of three or four lanes at the exit of the P1 roundabout and/or an increase of at least 4.0 seconds of green time for the Av. Afrânio Peixoto and Rua Alvarenga crossing traffic light are effective in mitigating or eliminating the traffic jam problems that hinder the operation of the circle lines.

The microscopic model can be accessed through the *GitHub* repository: <https://github.com/Stark-is-here/Modelo-VISSIM---TCC-Melhorias-de-Tr-fego-CUASO---2023>.

Keywords: CUASO. Microscopic simulation. VISSIM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Visão por satélite do entorno do P1	2
Figura 2 — Hierarquia funcional das vias urbanas	5
Figura 3 — Movimentos numa interseção de duas vias de mão única.....	8
Figura 4 — Movimentos convergentes	8
Figura 5 — Movimentos divergentes	9
Figura 6 — Movimentos interceptantes	9
Figura 7 — Movimentos não-interceptantes	10
Figura 8 — Diagrama de defasagem semaforica.....	11
Figura 9 — Fluxograma de um modelo típico de simulação microscópica	12
Figura 10 — Curvas dos limites do modelo de <i>car following</i> de Wiedemann 74.....	15
Figura 11 — Perfil de velocidade simulado para um passo de tempo de 1,0 segundos.....	16
Figura 12 — Perfil de velocidade simulado para um passo de tempo de 0,1 segundos.....	16
Figura 13 — Fluxograma do método	19
Figura 14 — Trajetos da linha 8022 (a) e 8012 e 8032 (b) no entorno do P1	21
Figura 15 — Avenida Afrânio Peixoto.....	22
Figura 16 — Avenida da Universidade	22
Figura 17 — Fotografia da Avenida Professor Mello Moraes	23
Figura 18 — Praça Dr. Reynaldo Porchat	23
Figura 19 — Praça do Relógio Solar.....	24
Figura 20 — Avenida Professor Lineu Prestes	24
Figura 21 — Movimentos relevantes na rotatória do P1	26
Figura 22 — Disposição dos contadores na rotatória do P1.....	27
Figura 23 — Seções de cronometragem de tempos de ônibus	30
Figura 24 — Nova sede da Guarda Universitária da USP	34
Figura 25 — Composição de movimentos e seções de contagem no CEPEUSP.....	35
Figura 26 — Sala de treinamento da Guarda Universitária da USP	37
Figura 27 — Contador mecânico utilizado em 23/08.....	38
Figura 28 — Seções de contagem por vídeo no P1	39
Figura 29 — Seções de cronometragem no P1.....	41
Figura 30 — Fila 1(a), Fila 2(b), Fila 3 (c) e Fila 4 (d) no P1 da CUASO	42
Figura 31 — Visão da câmera na rotatória do CEPEUSP.....	43
Figura 32 — Disposição da equipe e seções de contagem no CEPEUSP	44

Figura 33 — Seções de cronometragem no CEPEUSP.....	46
Figura 34 — Rotatória modelada no VISSIM.....	56
Figura 35 — Posicionamento da seção de contagem de filas no modelo.....	59
Figura 36 — Conector entre a rotatória e a Av. Afrânio Peixoto antes (à direita) e depois (à esquerda) da alteração	60
Figura 37 — Conector de acesso da Av. da Universidade à rotatória do P1.....	60
Figura 38 — Conectores de acesso da Av. da Universidade e Av. Lineu Prestes à rotatória do CEPEUSP	61
Figura 39 — Conector e seção de tomada de decisão de rotas alterados no P1	62
Figura 40 — Conectores e seções de tomada de decisão de rotas alterados no CEPEUSP	62
Figura 41 — Configuração do link da Av. Afrânio Peixoto (sentido Butantã) após alteração	64
Figura 42 — Nova seção de tomada de decisão de rota para os ônibus do movimento M4	65
Figura 43 — Seções de medição de tempos de viagem para o P1 no VISSIM.....	66
Figura 44 — Seção de coleta de dados no VISSIM	66
Figura 45 — Seções de medição de tempos de viagem para o CEPEUSP no VISSIM	68
Figura 46 — Rotatória com acesso livre	70
Figura 47 — Rotatória com acesso bloqueado em destaque (vermelho)	72
Figura 48 — Intervenção com três faixas (à esquerda) e quatro faixas (à direita).....	79
Figura 49 — Seções para análise de tempos de viagem.....	80
Figura 50 — Folha de registro de tempos semafóricos	94
Figura 51 — Folha de contagem de veículos (Ivan)	95
Figura 52 — Folha de contagem de veículos (Ayrton)	95
Figura 53 — Folha de registro de tempos de ônibus.....	96
Figura 54 — Tempos de viagem no P1	97
Figura 55 — Folha para contagem de veículos na seção SC3	98
Figura 56 — Seção de coleta no ponto da EF destacado em marrom.....	104
Figura 57 — Seção de coleta no ponto da Polícia destacado em marrom.....	104
Figura 58 — Seção de coleta próximo ao P1 destacado em marrom	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Medidas de calibração no VISSIM.....	18
Tabela 2 — Exemplo da planilha de contagem (Ayrton)	28
Tabela 3 — Exemplo de planilha de contagem (Ivan)	28
Tabela 4 — Tempos semafóricos coletados	30
Tabela 5 — Tempos semafóricos estimados	31
Tabela 6 — Tabela consolidada de contagem de veículos	31
Tabela 7 — Porcentagem de veículos comerciais e de reboque em relação aos carros de passeio	32
Tabela 8 — Veículos de passeio equivalentes.....	32
Tabela 9 — VP equivalente por movimento	32
Tabela 10 — Tempos de viagem dos circulares 1 e 3 na região do P1	33
Tabela 11 — Volumes por seção.....	39
Tabela 12 — Tempos de viagem dos Circulares 1 e 3 no P1	41
Tabela 13 — Estimativas de comprimentos de fila.....	43
Tabela 14 — Volumes contados no CEPEUSP por seção e por gravação.....	44
Tabela 15 — Volumes observados por seção/movimento	45
Tabela 16 — Tempos de viagem de automóveis e ônibus no CEPEUSP	47
Tabela 17 — Volumes observados no P1 por tipologia de veículo.....	48
Tabela 18 — Volumes observados no CEPEUSP por tipologia de veículo.....	48
Tabela 19 — Estimativa de tempo de viagem do ponto de partida até a entrada no modelo...	50
Tabela 20 — Horários de partida e <i>headways</i> dos circulares.....	50
Tabela 21 — Valores de entrada para as linhas de ônibus circulares no modelo.....	51
Tabela 22 — Volumes observados dos termos da Equação (1)	51
Tabela 23 — Volumes totais observados após correção pela Equação (1)	52
Tabela 24 — Volumes observados dos termos da Equação (2)	52
Tabela 25 — Volumes observados após correção pela Equação (2).....	53
Tabela 26 — Volumes dos termos das Equações (1) e (2) após correções	53
Tabela 27 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico	53
Tabela 28 — Composições de veículos para o modelo microscópico	54
Tabela 29 — Escolha de rotas inseridas no modelo microscópico	54
Tabela 30 — Tempos de viagem obtidos da simulação	56
Tabela 31 — Comparação entre médias dos tempos reais e resultantes da simulação	57

Tabela 32 — Resultados iniciais da simulação para indicadores de filas	63
Tabela 33 — Parâmetros estatísticos dos comprimentos de fila na realidade e na simulação ..	65
Tabela 34 — Resultados de velocidade, atraso em fila e tempos de viagem na simulação, para o Circular 1	67
Tabela 35 — Média dos tempos de viagem na realidade e na simulação	68
Tabela 36 — Resultados da simulação para tempos de viagem de automóveis no CEPEUSP ..	69
Tabela 37 — Média dos tempos de viagem de automóveis na rotatória do CEPEUSP na simulação	69
Tabela 38 — Resultados da simulação do cenário base	71
Tabela 39 — Tempos de viagem obtidos da simulação para o cenário especial.....	73
Tabela 40 — Médias e desvio padrão amostral para os tempos do cenário especial	74
Tabela 41 — Dados coletados para o cenário especial	74
Tabela 42 — Volumes por movimento no Cenário Crítico.....	77
Tabela 43 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico no Cenário Crítico.....	77
Tabela 44 — Escolha de rotas para o cenário crítico	78
Tabela 45 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico no Cenário Crítico com volumes acrescidos de 10%	78
Tabela 46 — Modificações simuladas.....	81
Tabela 47 — Parâmetros de simulação do modelo base	99
Tabela 48 — Indicadores de fila após primeira mudança de parâmetros.....	102
Tabela 49 — Indicadores de fila após a segunda mudança de parâmetros	103
Tabela 50 — Comprimentos de fila para o Cenário Base	106
Tabela 51 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico sem fechamento.....	107
Tabela 52 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento	108
Tabela 53 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento +10%.....	109
Tabela 54 — Tempos de viagem para as linhas 1 e 3 no Cenário Base	110
Tabela 55 — Tempos de viagem para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico sem fechamento...	111
Tabela 56 — Tempos de viagem para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico com fechamento ..	112
Tabela 57 — Tempos de viagem para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico com fechamento +10%	113
Tabela 58 — Tempos de viagem para a linha 2 no Cenário Base	114
Tabela 59 — Tempos de viagem para a linha 2 no Cenário Crítico sem fechamento	115
Tabela 60 — Tempos de viagem para a linha 2 no Cenário Crítico com fechamento	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Tempos de Viagem da EF até Polícia	58
Gráfico 2 — Tempos de Viagem da Polícia até P1	58
Gráfico 3 — Comparação de tempos de espera em fila dos veículos totais na seção do P1	75
Gráfico 4 — Comparação de tempos de espera em fila dos ônibus na seção do P1	76
Gráfico 5 — Comprimentos de fila para o Cenário Base	81
Gráfico 6 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico sem fechamento	82
Gráfico 7 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento	83
Gráfico 8 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento +10%	84
Gráfico 9 — Tempos de viagem dos circulares 8012 e 8032 para o Cenário Base	84
Gráfico 10 — Tempos de viagem dos circulares 8012 e 8032 para o Cenário Crítico com fechamento.....	85
Gráfico 11 — Tempos de viagem do circular 8022 para o Cenário Base	86
Gráfico 12 — Tempos de viagem do circular 8022 para o Cenário Crítico com fechamento .	86

LISTA DE SIGLAS

ASCE	American Society of Civil Engineers
CEPEUSP	Centro de Práticas Esportivas da USP
CO	Veículo Comercial
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CUASO	Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EF	Educação Física
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FHWA	Federal Highway Administration
ITS	Intelligent Transport Systems
P1	Portão 1
P3	Portão 3
PUSP-C	Prefeitura do Campus USP da Capital
RE	Veículo de Reboque
SPTrans	São Paulo Transporte S/A
SR	Veículo de Semi-Reboque
USP	Universidade de São Paulo
VDOT	Virginia Department of Transportation
VP	Veículo de Passeio
VUC	Veículo Urbano de Carga

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Classificação Funcional das Vias Urbanas	4
2.2	Variáveis de Tráfego.....	5
2.3	Controle de tráfego	6
2.4	Modelos Microscópicos	11
2.5	Uso de Softwares de Simulação Microscópica.....	13
2.5.1	Simulação Microscópica.....	13
2.5.2	Visão Geral do VISSIM.....	13
2.5.3	Calibração e Validação	17
3	MÉTODO.....	19
4	COLETA E TRATAMENTO DE DADOS	21
4.1	Área de Estudo.....	21
4.1.1	Caracterização das vias	21
4.1.2	Visita à área de estudo	25
4.2	Contagens no pico noturno	25
4.2.1	Planejamento de contagem	26
4.2.2	Visitas de contagem	29
4.2.3	Tratamento dos dados	30
4.3	Contagem no pico matutino	33
4.3.1	Planejamento de contagem	34
4.3.2	Visitas de contagem em Agosto/2023.....	37
4.3.3	Compatibilização do modelo	47
5	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	54

5.1	Modelo Básico	54
5.2	Modelo Expandido.....	59
5.2.1	Calibração a partir dos dados de filas no P1	59
5.2.2	Calibração a partir de tempos de viagem no P1	65
5.2.3	Calibração a partir de tempos de viagem no CEPEUSP.....	68
6	RESULTADOS	70
6.1	Modelo Básico	70
6.1.1	Cenário base.....	70
6.1.2	Cenário com operação especial.....	72
6.1.3	Comparação entre cenário base e de operação especial.....	75
6.2	Modelo Expandido.....	76
6.2.1	Cenário Base	76
6.2.2	Cenário Crítico sem fechamento.....	76
6.2.3	Cenário Crítico com fechamento e com fechamento +10% de fluxo	78
6.2.4	Propostas de intervenção.....	79
6.2.5	Medidas de desempenho	80
6.2.6	Modificações simuladas	80
6.2.7	Resultados de comprimentos de fila	81
6.2.8	Resultados de tempos de viagem	84
7	CONCLUSÕES.....	88
8	REFERÊNCIAS	92
9	APÊNDICE	94
	APÊNDICE A – Registro de tempos semaforicos no dia 23/06	94
	APÊNDICE B – Planilhas de contagem volumétrica preenchidas.....	95
	APÊNDICE C – Registro de tempos cronometrados na visita do dia 30/06.....	96
	APÊNDICE D – Registro de tempos cronometrados na visita de 23/08.....	97
	APÊNDICE E – Registo de veículos contados na visita do dia 30/08	98

APÊNDICE F – Tabela de parâmetros do modelo no VISSIM	99
APÊNDICE G – Resultados das simulações para calibração de filas no P1	102
APÊNDICE H – Seções de <i>Data Collections Results</i> para o modelo básico.....	104
APÊNDICE I — Resultados das simulações para comprimentos de fila.....	106
APÊNDICE J — Resultados das simulações para tempos de viagem	110

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia de Tráfego é a subdisciplina da Engenharia de Transportes responsável por atender às necessidades de planejamento, projeto e operação de vias urbanas e rodovias, suas redes, áreas adjacentes e interação com outros modos de transporte (aéreo, aquaviário e ferroviário), e seus terminais (WOLSHON; PANDE, 2016). É nesse cenário que surgem desafios de como proporcionar sistemas de transportes de maior capacidade e mais seguros.

As problemáticas da Engenharia de Tráfego se fazem bastante presentes na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), que abriga 20 das 42 unidades de ensino, pesquisa e extensão da Universidade de São Paulo (USP). Com uma área de mais 3,6 milhões de m², sendo frequentado diariamente por até 100 mil pessoas e até 50 mil veículos (PUSP-C, 2016), existem desafios para proporcionar sistemas de transporte de qualidade à comunidade uspiana, composta por seus alunos, professores e funcionários.

As linhas de ônibus circulares, implantadas pela primeira vez em fevereiro de 2012 com as linhas 8012 e 8022, foram pensadas para atender a essa demanda por mais fácil locomoção da comunidade universitária, bem como dos visitantes. Em 2019 também houve a criação da linha 8032 que, juntamente com as outras linhas, tem itinerários que consistem em sair das proximidades da Estação do Metrô Butantã, inaugurada em março de 2011, e realizar um trajeto no interior da CUASO, atendendo às necessidades de locomoção para as diversas instituições de ensino e pesquisa lá localizadas (PUSP-C, 2022).

No momento, 18 veículos divididos em três linhas fazem o trajeto todos os dias, 24 horas por dia; transportando cerca de 28 mil passageiros diários. Todavia, é nos horários de pico da manhã e da tarde que o sistema é mais carregado e surgem os maiores problemas. No período matutino, por exemplo, mais de 2.700 pessoas desembarcam na Estação Butantã por hora, com aproximadamente 80% delas tendo como destino a Cidade Universitária (YAMAMOTO, 2022). Os ônibus circulares têm restrições para absorver essa demanda, o que causa filas e demoras no embarque, prejudicando os usuários.

Além da alta demanda, outro fator fundamental que influi negativamente nos tempos de ciclo dos ônibus são alguns trechos dos trajetos que, a depender do horário, apresentam filas e congestionamentos, deteriorando severamente a qualidade do serviço. Um dos principais gargalos para a mobilidade na CUASO se encontra na região no entorno do Portão 1 (P1) que dá acesso ou saída do campus por meio de uma rotatória, oficialmente chamada de Praça

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho de formatura é propor soluções que abrangem alterações na infraestrutura viária e/ou no controle de tráfego na região estudada, tendo em vista o aumento da qualidade do serviço ofertado das linhas de ônibus circulares.

Para atingir o objetivo principal são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os gargalos de circulação de veículos na região do P1 da CUASO, com enfoque no percurso realizado pelas linhas de ônibus circulares no caminho de volta (saindo da CUASO);
- Conceber e calibrar um modelo microscópico que seja representativo do tráfego observado na realidade;
- Propor possíveis soluções para a circulação de veículos na região tendo como base as observações feitas em campo e a bibliografia disponível sobre o tema estudado;
- Analisar diferentes cenários com as propostas de solução implementadas nos modelos de simulação;
- Avaliar e propor melhorias, tendo como critério os indicadores de desempenho de tráfego.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

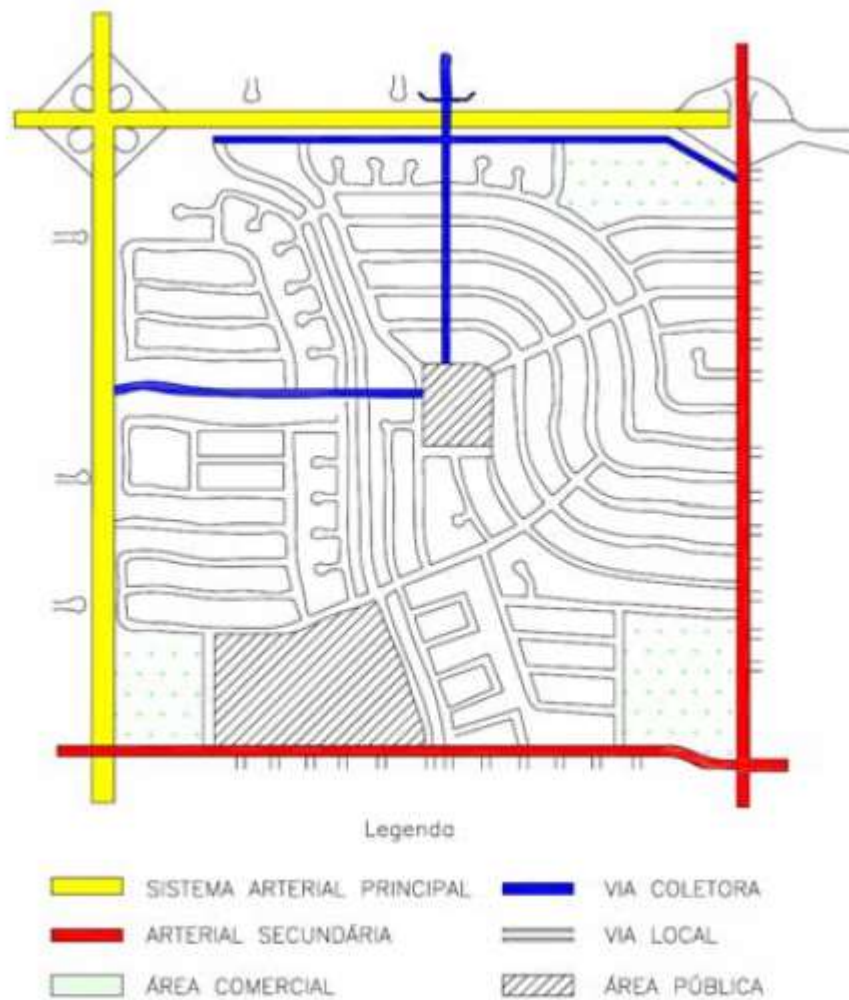
2.1 Classificação Funcional das Vias Urbanas

A classificação funcional das vias urbanas tem o objetivo de canalizar o tráfego, determinando a função específica de cada via no fluxo de veículos. Isso é feito considerando a mobilidade do trânsito, ou seja, a facilidade de deslocamento, e a acessibilidade, que é a facilidade de conectar a origem e o destino de uma viagem (DNIT, 2009). Existem vários sistemas de classificação funcional para fins de planejamento, neste trabalho o método utilizado é o apresentado no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2009) que divide as vias urbanas em quatro sistemas básicos, cada um com características e funções distintas:

- Sistema arterial principal: composto por vias de grande capacidade e velocidade, destinadas a transportar um volume significativo de tráfego entre regiões distintas da cidade;
- Sistema arterial secundário: formado por vias de capacidade e velocidade intermediárias, conectando áreas menores dentro de uma região;
- Sistema coletor: consiste em vias que coletam o tráfego de áreas locais e o direcionam para as vias arteriais, aliviando a carga nas ruas residenciais;
- Sistema local: engloba vias de baixa capacidade e velocidade, geralmente encontradas em áreas residenciais e comerciais, onde o acesso direto a propriedades é prioritário.

Essa classificação funcional ajuda no planejamento e no projeto de infraestrutura viária, contribuindo para a eficiência e a organização do tráfego urbano. A Figura 2 mostra uma representação visual da classificação funcional das vias urbanas segundo o DNIT (2009).

Figura 2 — Hierarquia funcional das vias urbanas



Fonte: Manual de projeto geométrico de travessias urbanas DNIT (2009).

2.2 Variáveis de Tráfego

Variáveis de tráfego são características e parâmetros utilizados para descrever e analisar o fluxo e o comportamento dos veículos em determinada via ou sistema viário. Elas fornecem informações importantes para o planejamento, projeto e gerenciamento de redes viárias. De acordo com Roess, Prassas e McShane (2011, p. 96):

“As variáveis de tráfego se enquadram em duas grandes categorias, variáveis macroscópicas descrevem o fluxo de tráfego como um todo; variáveis microscópicas descrevem o comportamento individual de veículos ou pares de veículos em uma corrente de tráfego.”

As variáveis macroscópicas são:

- Volume: quantidade de veículos que passam por uma determinada seção da via durante um período específico de tempo, geralmente medido em veículos por hora (veic/h) ou veículos por dia (veic/d);
- Densidade: refere-se ao número de veículos presentes em um trecho específico da via em um determinado momento, geralmente medido em veículos por quilômetro;
- Velocidade: velocidade média ou instantânea dos veículos em movimento, medida em quilômetros por hora. A velocidade é uma variável importante para avaliar a fluidez do tráfego e o nível de serviço da via;
- Fluxo: taxa de veículos que passam por um ponto específico da via em um determinado período de tempo, normalmente expresso em veículos por hora;
- Capacidade da via: representa o máximo fluxo de tráfego que uma determinada via pode acomodar de forma eficiente e segura, geralmente medido em termos de veículos por hora.

As variáveis microscópicas são:

- Headway: tempo entre veículos sucessivos que passam por um ponto numa faixa de via ou via, medido pelo mesmo ponto em cada veículo (ex., para-choque dianteiro, eixo dianteiro).
- Espaçamento: refere-se à distância entre veículos sucessivos em um fluxo de tráfego observada em um dado instante. Também medido pelo mesmo ponto em cada veículo.

As informações acerca das variáveis de tráfego podem ser adquiridas por meio de diversos métodos, abrangendo desde técnicas manuais de contagem de veículos, emprego de sensores, até a utilização de sistemas de monitoramento de tráfego, como câmeras, e análise de imagens aéreas, dentre outras abordagens. Com base nessas informações, os engenheiros de tráfego podem avaliar o desempenho da rede viária, identificar problemas e propor soluções para melhorar a eficiência, a segurança e a fluidez do tráfego.

2.3 Controle de tráfego

O controle de tráfego no Brasil é feito a partir das regras estabelecidas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) que são divulgadas no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito.

Este Manual é elaborado pela Câmara Temática de Engenharia de Tráfego, de Sinalização e da Via e abrange todas as sinalizações, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica e sinalização de obras, e, para a data deste trabalho, é composto pelos seguintes volumes: Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação; Volume II – Sinalização Vertical de Advertência; Volume III – Sinalização Vertical de Indicação; Volume IV – Sinalização Horizontal; Volume V – Sinalização Semafórica; Volume VI – Dispositivos Auxiliares; Volume VII – Sinalização Temporária; Volume VIII – Sinalização Cicloviária; Volume IX – Cruzamentos Rodoferroviários.

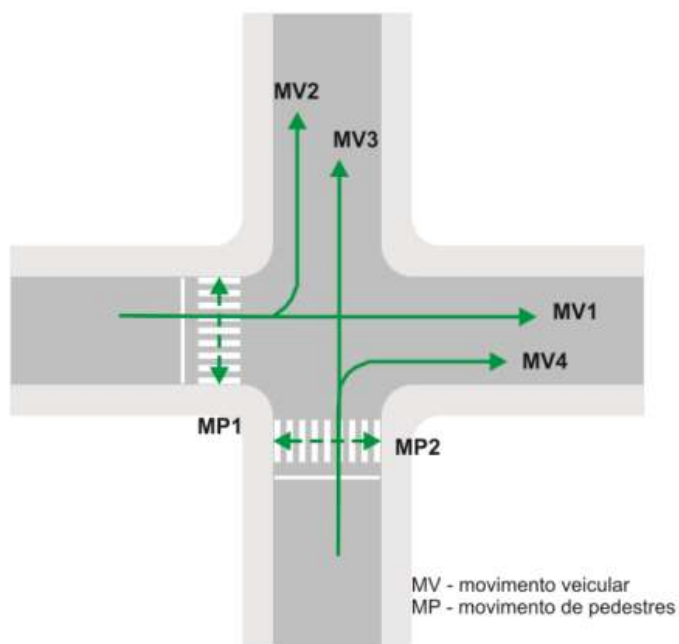
De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V: Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2022), a sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária e pode assumir as funções de regulamentação do direito de passagem de veículos (motorizados ou não motorizados) e/ou pedestres numa interseção ou seção de via e de advertir condutores de veículos motorizados (ou não motorizados), e/ou pedestres da existência de obstáculo ou situação perigosa na via.

A sua operação não deve apresentar interrupções. Além disso, a sua utilização deve ser feita com base em critérios que definem a real necessidade de implantação e o tipo de programação mais adequada a situação. Dessa forma, a escolha por utilização de sinalização semafórica deve também levar em conta a análise do uso de outras formas de controle de tráfego, tais como: adequação do usuário com relação as normas de circulação e conduta presentes no Código de Trânsito Brasileiro (CTB); uso de sinalização vertical e horizontal; implantação de rotatórias ou outros meios de canalização de tráfego em interseções.

A implantação da sinalização semafórica está relacionada com diversos elementos que caracterizam a concepção do controle semafórico. A seguir, conforme estipulado pelo CONTRAN (2022), esses elementos fundamentais são apresentados.

Movimento: usado para designar o fluxo de veículos que fazem o mesmo trajeto, ou seja, que possuem o mesmo ponto de origem e de destino. Quando usado para se referir a pedestres não necessariamente o fluxo tem o mesmo sentido. Um movimento é representado graficamente por traço e seta, onde o traço se refere a direção do fluxo e a seta se refere ao sentido do fluxo. A Figura 3 ilustra graficamente movimentos numa interseção de duas vias de mão única de modo que movimentos veiculares possuem iniciais MV e movimentos de pedestres possuem iniciais MP.

Figura 3 — Movimentos numa interseção de duas vias de mão única

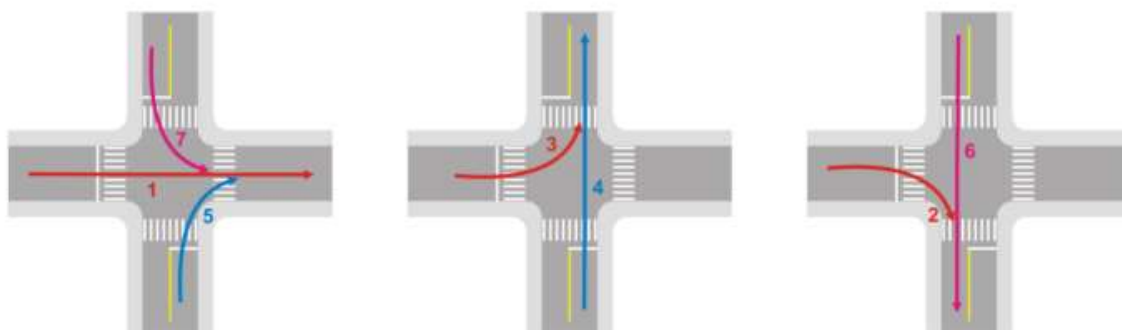


Fonte: CONTRAN (2022).

Esses movimentos podem ser classificados com relação as suas interações com outros movimentos:

Movimentos convergentes: movimentos que possuem origens diferentes, porém mesmo destino (ver Figura 4).

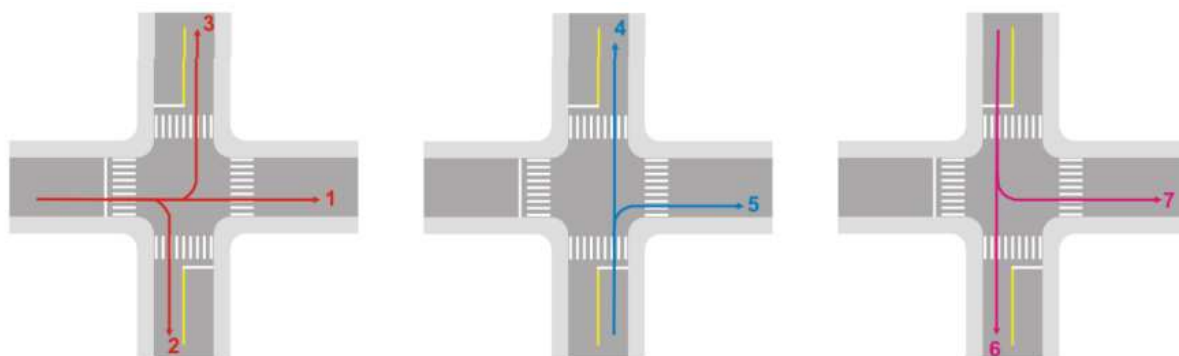
Figura 4 — Movimentos convergentes



Fonte: CONTRAN (2022).

Movimentos divergentes: movimentos que possuem a mesma origem, porém com destinos diferentes. (ver Figura 5).

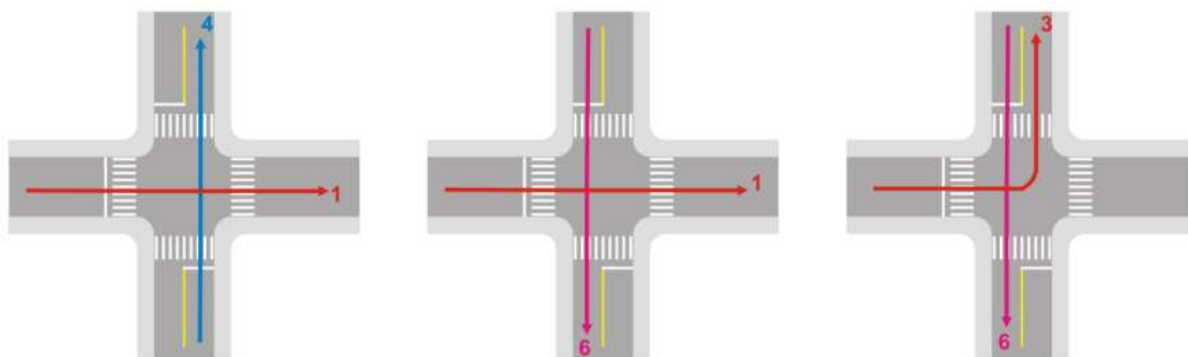
Figura 5 — Movimentos divergentes



Fonte: CONTRAN (2022).

Movimentos interceptantes: movimentos que possuem origens diferentes e que se cruzam em algum ponto de suas trajetórias. (ver Figura 6).

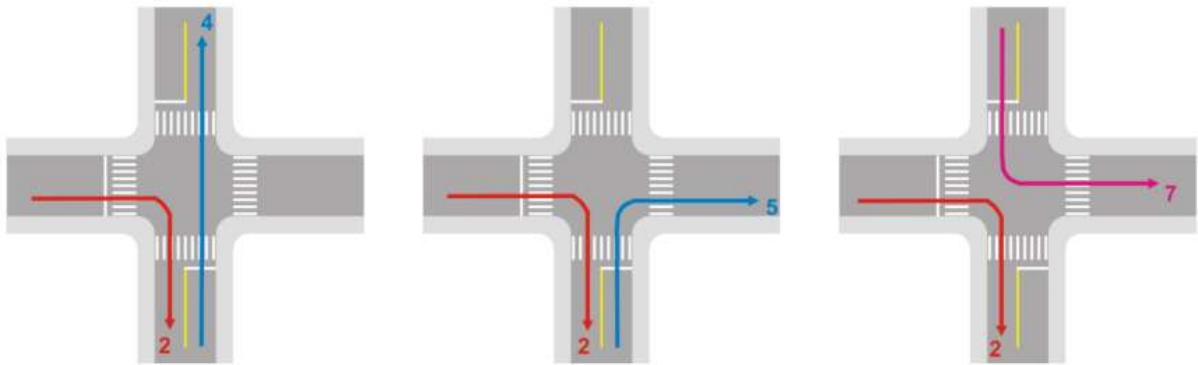
Figura 6 — Movimentos interceptantes



Fonte: CONTRAN (2022).

Movimentos não-interceptantes: movimentos que possuem origens diferentes e que não se cruzam em qualquer ponto de suas trajetórias (ver Figura 7).

Figura 7 — Movimentos não-interceptantes



Fonte: CONTRAN (2022).

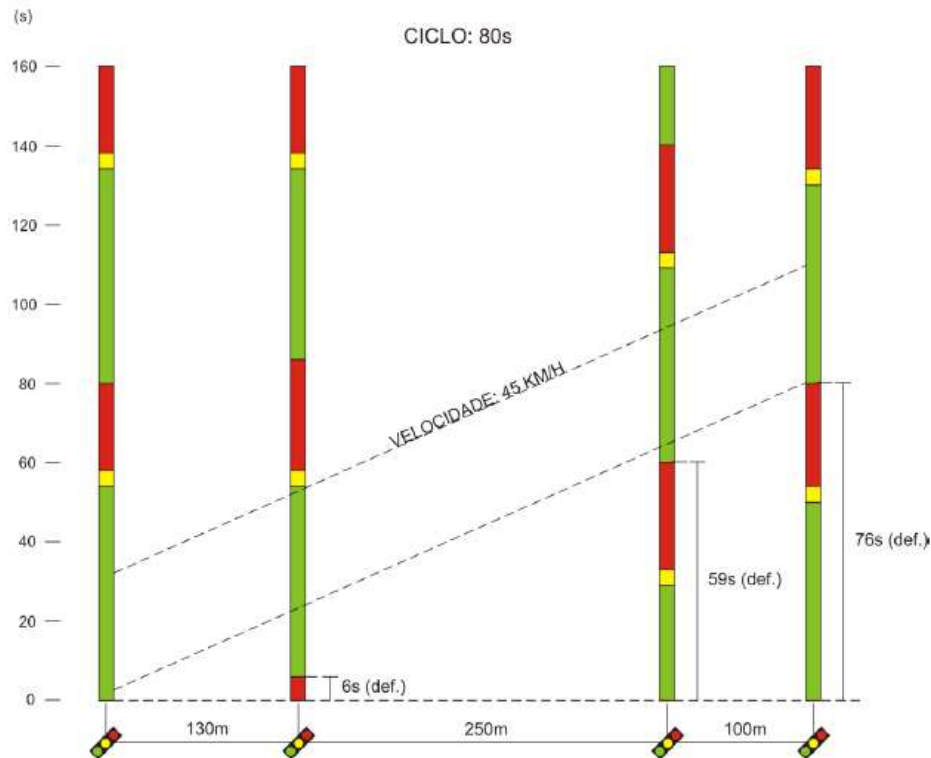
Aproximação: trecho de via por onde os veículos chegam à interseção.

Área de conflito: região onde há a interferência entre movimentos veiculares provenientes de diferentes aproximações.

Ciclo: refere-se à sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica. A extensão do ciclo, também conhecida como "tempo de ciclo", em uma interseção ou trecho viário, é determinada pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego na respectiva localidade.

Defasagem: Em uma análise de uma corrente de tráfego que atravessa dois pontos controlados por semáforos pertencentes à mesma rede, referindo-se ao intervalo de tempo entre o início dos sinais verdes recebido por essa corrente nos dois locais em questão. É imperativo que dois pontos situados na mesma rede operem com um ciclo, salvo em situações particulares em que o período de um ponto seja um submúltiplo do ciclo temporal do outro. A Figura 8 exibe um diagrama espaço-tempo, o qual delinea a defasagem entre as sinalizações semafóricas ao longo de uma via arterial, tomando como ponto de referência o início do sinal verde no cruzamento mais à esquerda.

Figura 8 — Diagrama de defasagem semafórica



Fonte: CONTRAN (2022).

A revisão e a otimização temporal do sinal sincronizam conjuntos de semáforos com o propósito de permitir que veículos percorram diversos cruzamentos sem a necessidade de parada, quando transitando em uma rota principal. Ademais, tal procedimento pode ser empregado para minimizar o tempo de espera dos veículos em interseções específicas, mediante o ajuste da duração dos semáforos verdes, a fim de atender à demanda circunstancial (FHWA, 2015).

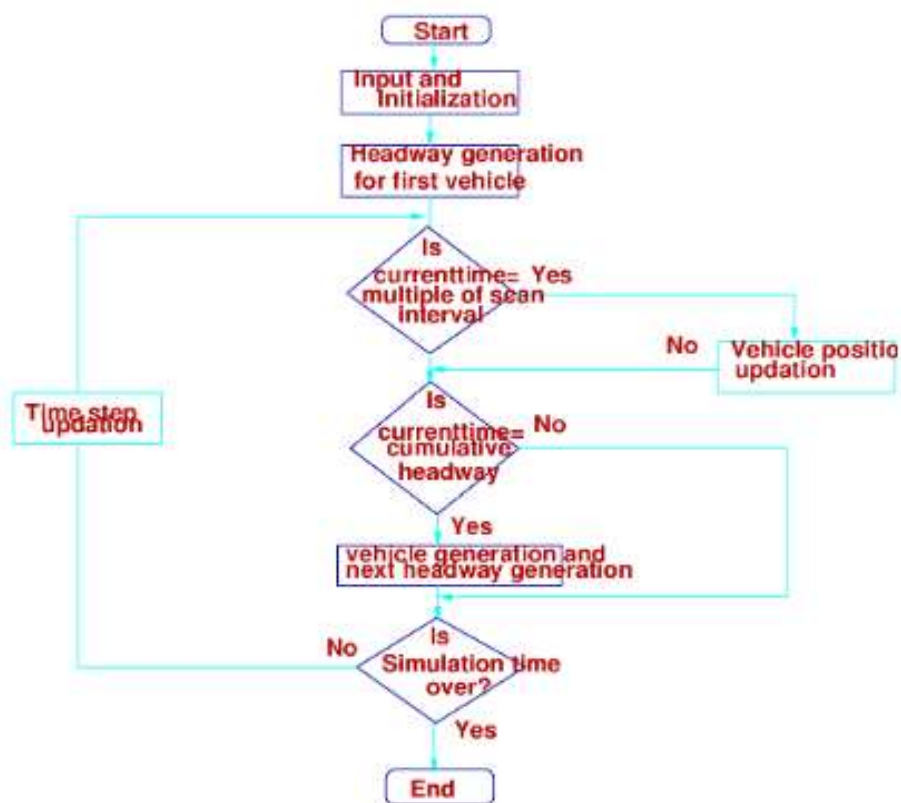
2.4 Modelos Microscópicos

Modelos microscópicos descrevem o comportamento individual de elementos motorista-veículo que juntos formam um fluxo de tráfego (TREIBER; KESTING, 2013). Entre os comportamentos abordados nesses modelos estão as acelerações, frenagens e mudanças de faixa de cada motorista, incluindo também o efeito do ambiente. Situações em que a modelagem microscópica pode ser muito útil são: quando o comportamento individual causa grande impacto num fluxo de tráfego; quando a heterogeneidade do tráfego tem grande papel no seu funcionamento, como por exemplo ao simular os efeitos da implantação de limites de velocidade e proibições de passagem para caminhões; para visualização da interação entre os

diversos tipos usuários dos sistemas de tráfego (carros, ônibus, ciclistas, pedestres, caminhões, motos, etc.); para verificar, como estilos de condução diferentes afetam a capacidade e estabilidade do tráfego a partir de modelos que simulam o comportamento dos motoristas quanto ao tempo de reação, antecipação e desatenção; geração de ambientes de tráfego para serem usados em simuladores de condução científicos que estudam a parte fisiopsicológica dos motoristas ou até mesmo para jogos de simulação. Diversos estudos foram feitos para analisar o comportamento dos motoristas em diferentes situações, como quando encontra obstáculos estáticos ou dinâmicos; subsidiando o desenvolvimento dos primeiros modelos que descrevem o comportamento de um veículo ao seguir outro veículo, a partir das décadas de 1950 e 1960 (MATHEW, 2023).

A estrutura de um modelo de simulação microscópica é definida por Mathew (2023) a partir de três processos sequenciais: geração de veículos, atualização da posição de veículos e análise. O diagrama da Figura 9 esquematiza estes processos e suas interações:

Figura 9 — Fluxograma de um modelo típico de simulação microscópica



Fonte: Mathew, 2023.

2.5 Uso de Softwares de Simulação Microscópica

2.5.1 Simulação Microscópica

Yang *et al.* (2018) afirmam que as simulações são importantes ferramentas para o estudo de problemas complexos de tráfego. Estabelecendo-se um modelo de simulação de tráfego, pode-se analisar e prever de forma clara os locais e as causas dos congestionamentos, possibilitando avaliar, comparar e revisar planos e propostas de planejamento urbano, engenharia e operação de tráfego ao identificar os problemas antes que se tornem realidade.

Os modelos matemáticos construídos para caracterizar e solucionar os problemas de Engenharia de Tráfego são dotados de alta complexidade, possuindo inúmeras variáveis que interagem de forma dinâmica. Nesse contexto, Portugal (2005) afirma que

“Diante da complexidade do sistema de tráfego e transporte público, cuja oferta e demanda envolvem inúmeras variáveis, a técnica de simulação tem-se consolidado como importante ferramenta de análise de desempenho e impacto das diversas políticas e estratégias de controle de tráfego e planejamento de transportes.”

Os modelos de simulação de tráfego podem ser divididos em micro, meso e macro, a depender do nível de detalhamento do sistema de tráfego que se deseja estudar. As simulações microscópicas — que são a principal ferramenta de análise deste trabalho de formatura —, consideram cada veículo como um ente individual enquanto objeto de pesquisa, permitindo que se descreva o comportamento dos motoristas e as interações entre cada veículo a cada momento no sistema de tráfego em um elevado nível de detalhes (YANG *et al.*, 2018).

Considerando as necessidades do trabalho e a disponibilidade de softwares de simulação microscópica aos alunos de graduação da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), o software utilizado neste trabalho é o VISSIM, desenvolvido pela companhia alemã PTV.

2.5.2 Visão Geral do VISSIM

Yang *et al.* (2018) descreve o VISSIM como um software de simulação microscópica discreta e randomizada que leva 1/10 de segundo como passo de tempo. A movimentação longitudinal dos veículos adota um modelo psicofísico de *car following* (que pode ser traduzido

livremente como seguimento de carro), enquanto a movimentação lateral (mudança de faixa) adota um algoritmo baseado em regras. Seus principais usos são:

- Projeto, avaliação e ajuste da lógica de controle semafórico para a prioridade de ônibus;
- Avaliação e otimização do controle de tráfego em redes rodoviárias de controle semafórico coordenado;
- Avaliação da viabilidade e impacto da implementação de veículos leves sobre trilhos na rede rodoviária urbana;
- Análise do comportamento lento do tráfego em áreas onde ocorre entrelaçamento;
- Comparação e análise de projeto de esquemas de tráfego, incluindo intersecções controladas por semáforo ou sinais de parada, e rotatórias e intersecções em nível;
- Avaliação de capacidade e da gestão de terminais para veículos leves sobre trilhos e ônibus;
- Avaliação de soluções de priorização de veículos (como por exemplo, pulo de fila, extensão da parada de ônibus e faixas exclusivas para ônibus);
- Alocação dinâmica de tráfego, podendo resolver problemas de seleção de rotas e a possibilidade de desvio de tráfego para áreas adjacentes;
- Modelagem e simulação de pedestres.

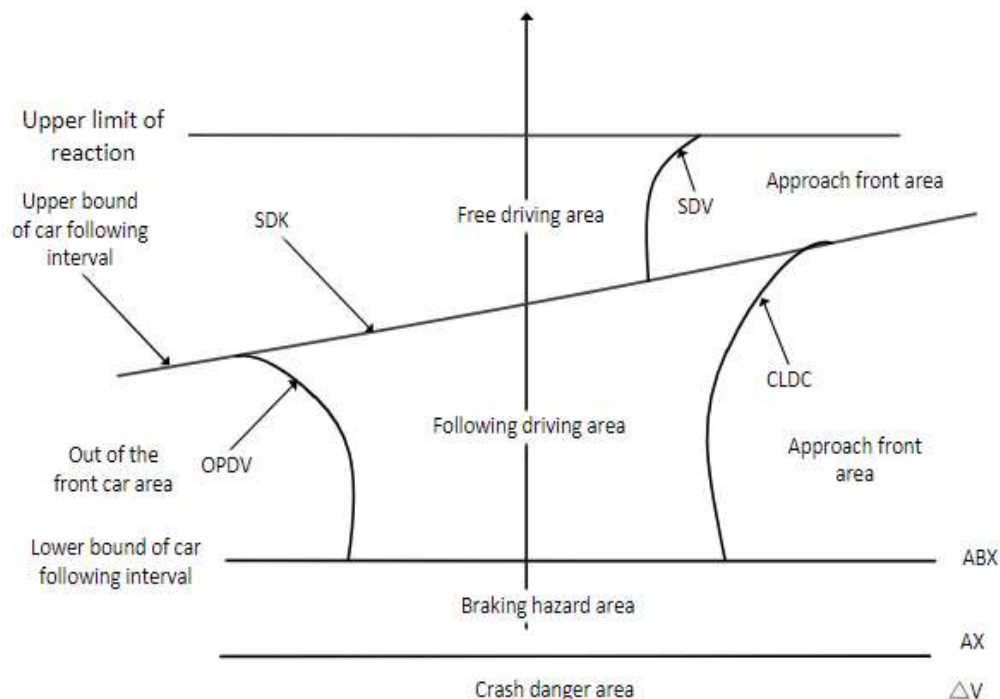
O modelo de *car following* aplicado no VISSIM é baseado nos estudos publicados por Wiedemann em 1974, que parte da premissa de que um motorista pode estar em um de quatro modos de condução de veículo; cada qual com uma aceleração descrita como um resultado da velocidade, diferença de velocidade e as características individuais do motorista e veículo (FELLENDORF; VORTISCH, 2001). Os quatro modos de direção são:

- **Direção livre:** não há influência dos veículos que estejam à frente, e, portanto, o motorista busca atingir e manter uma velocidade desejada;
- **Aproximação:** é o modo no qual o motorista adapta sua velocidade — desacelerando — de modo a compatibilizar sua velocidade com o veículo mais lento à sua frente. A desaceleração ocorre até que a diferença de velocidade entre os dois seja nula no momento em que o motorista em aproximação chegue à sua distância de segurança desejada;

- **Perseguição:** o motorista segue o veículo à frente, com pequenas acelerações ou desacelerações, de modo a manter a distância de segurança mais ou menos constante;
- **Frenagem:** neste modo, o motorista aplica taxas mais elevadas de desaceleração se a distância em relação ao veículo da dianteira ficar menor do que a distância de segurança desejada. Isso acontece comumente se o veículo da frente frear de forma brusca.

A Figura 10 mostra o gráfico que caracteriza os modos de direção do condutor e os seus respectivos limites:

Figura 10 — Curvas dos limites do modelo de *car following* de Wiedemann 74



Fonte: Yang et al (2018).

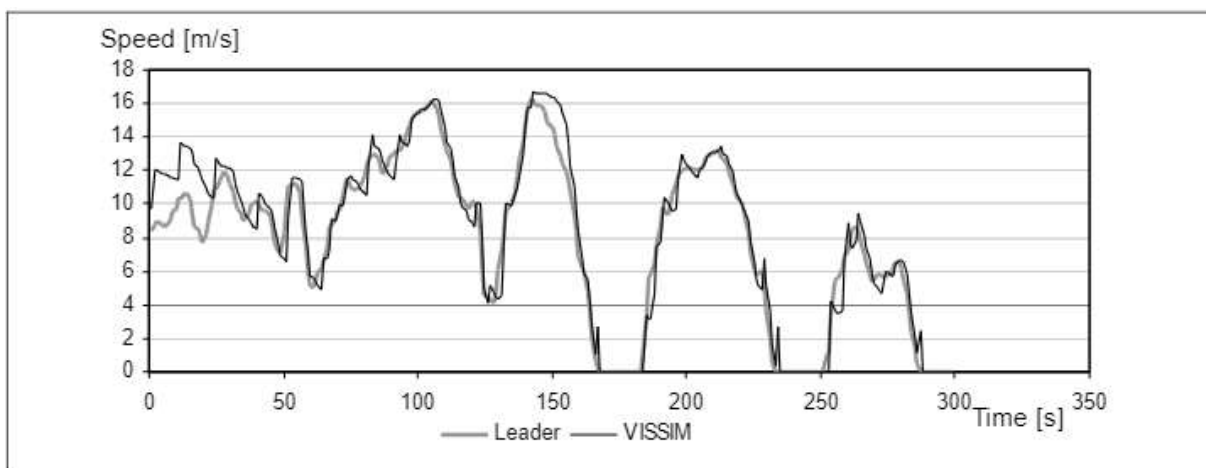
Fellendorf e Vortisch (2001) afirmam que, para rodovias de múltiplas faixas, é estabelecida uma ordem hierárquica de regras para modelar mudanças de faixa. Um motorista deseja mudar de faixa caso esteja dirigindo abaixo de sua velocidade desejada devido ao veículo da frente estar mais lento ou se for necessário preparar-se para sair da via por uma faixa de desaceleração.

Outra característica importante, segundo Fellendorf e Vortisch (2001), é que o VISSIM oferece ao usuário a possibilidade de escolha do passo de tempo das simulações entre 0,1 e 1,0

segundos; sendo que o passo de tempo influencia no comportamento de motorista, uma vez que passos de tempo menores permitem reações mais imediatas e, portanto, mais suaves, às ações perpetradas pelo veículo da frente.

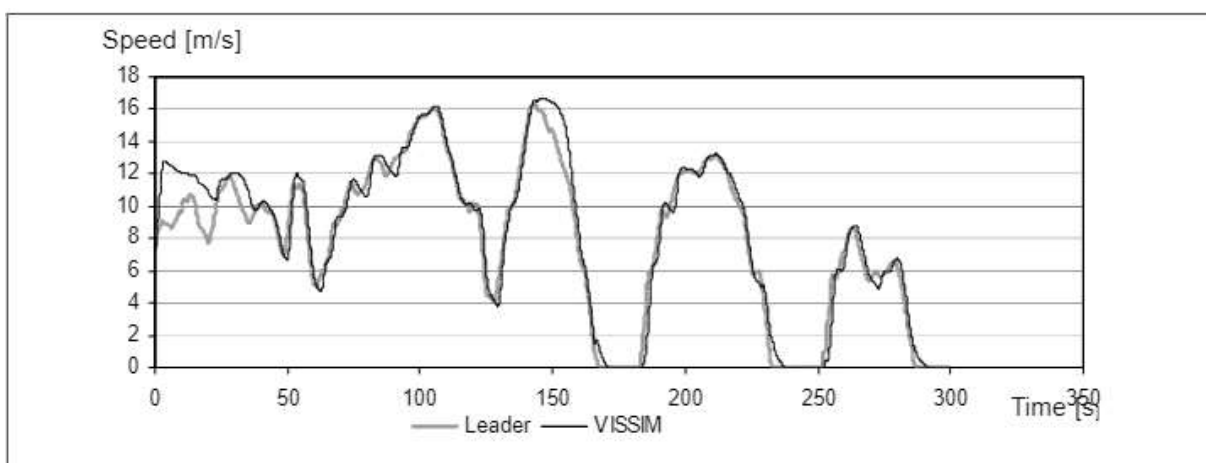
A Figura 11 e Figura 12 mostram o perfil de velocidades de um veículo líder, registrado em uma viagem experimental no tráfego urbano, em comparação com os resultados da simulação no VISSIM para os passos de tempo de 1,0 e 0,1 segundos, respectivamente. Observa-se que o modelo cujo passo de tempo é menor oferece resultados mais realistas. Todavia, esse ganho representa também um proporcional aumento de esforço computacional; o que é relevante, pois, para muitas aplicações, a perda de qualidade da simulação com o uso de um passo de tempo mais elevado pode ser considerada irrelevante (FELLENDORF; VORTISCH, 2001).

Figura 11 — Perfil de velocidade simulado para um passo de tempo de 1,0 segundos



Fonte: Fellendorf e Vortisch (2001)

Figura 12 — Perfil de velocidade simulado para um passo de tempo de 0,1 segundos



2.5.3 Calibração e Validação

Modelos de microsimulação de tráfego incluem diversos parâmetros que precisam ser calibrados para que o modelo possa ser usado como uma ferramenta de predição (HOLLANDER; LIU, 2008). Assim, todo modelo criado no VISSIM deve ser calibrado para que represente suficientemente bem as condições de tráfego observadas em campo, ajustando os valores *default* de parâmetros até que o erro entre a medição real e simulada — de fluxos ou tempos de viagem, por exemplo — seja menor do que um certo limite estabelecido (SIDDHARTH; RAMADURAI, 2013).

Hollander e Liu (2008) observam que um modelo de microsimulação tipicamente consiste em vários submodelos, cada um com o objetivo de reproduzir o mecanismo de uma única decisão tomada pelo motorista enquanto indivíduo, como as decisões de mudar de faixa ou aproveitar brechas no sentido oposto da via para adentrar uma intersecção. Cada submodelo contém diversos parâmetros cuja medida é, na prática, de obtenção muito complicada, seja porque representam fatores difíceis de se isolar ou porque requerem uma coleta extensiva de dados. Por esse motivo, é comum que os modelos sejam ajustados com base no uso de dados agregados, como tempos de viagem, fluxos de veículos, velocidades e comprimentos de fila.

No manual de utilização do VISSIM desenvolvido pelo *Virginia Department of Transportation* (VDOT) são estabelecidas diretrizes a serem seguidas no processo de calibração, partindo desde a etapa de coleta de dados. A Tabela 1 apresenta medidas que podem ser utilizadas para calibração, os segmentos (vias) em que são usadas, as potenciais fontes de informação em campo e resultados do VISSIM para a medida em questão.

Tabela 1 — Medidas de calibração no VISSIM

Calibration Measure	Segments Used for Calibration	Potential Field Data Sources for Calibration	Potential Vissim Output Files
Volume (Throughput)	Freeway/Ramps	Machine (tube) counts or counts from Video recordings	Link evaluation Data collection points
	Arterials (by approach or movement)	Manual or Video collection of turning movement counts	Node evaluation Data collection points
Travel Times	Freeways/Arterials	Field Travel Time Runs or Probe Vehicle Data	Travel time segments
Speed/Congestion	Freeways/Arterials	Spot-Speed Data collection or Probe Vehicle Data	Data collection points Travel time segments
Bottleneck Locations	Freeways/Arterials	Field photographs/videos/notes or Peak period aerial imagery (if available)	Visual inspection of model
Queue Lengths	Freeways/Arterials/Ramps	Field photographs/videos/notes or Peak period aerial imagery (if available)	Node evaluation Queue counters Visual inspection of model

Fonte: VDOT, 2020.

É importante, segundo VDOT (2020), o desenvolvimento de um plano de calibração que deve envolver todas as premissas críticas para a modelagem, critérios de calibração, dados usados para calibração e quaisquer outros tópicos específicos ao projeto que sejam importantes para a validação do modelo calibrado. Alguns detalhes a serem considerados no plano incluem extensão da área de estudo; descrição das condições de tráfego; premissas específicas ao projeto; período admitido no modelo; protocolo de calibração; critérios de calibração; determinação do tamanho das amostras.

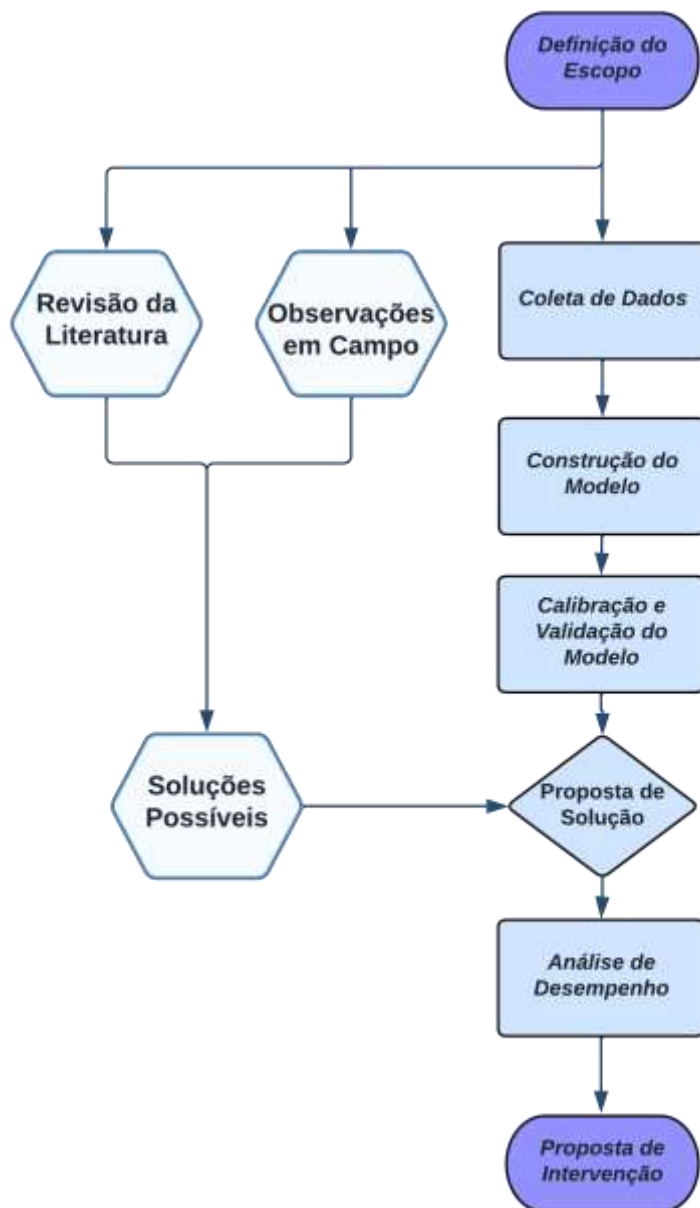
Conforme exposto por Zipoli *et al* (2021, p. 7) no roteiro para validação de uma rede de simulação, elaborado para a disciplina de Engenharia de Tráfego (PTR 3531), a semelhança entre os resultados da simulação e os dados reais pode ser verificado a partir do erro percentual relativo entre as medidas comparadas,

Além disso, Zipoli *et al.* (2021, p 9) admitem que é aceitável que a margem de erro fique até em 10% para as velocidades e volumes. Limite que, neste trabalho de formatura, considera-se como adequado para todos os outros indicadores, tais quais tempos de viagem e comprimentos de fila.

3 MÉTODO

Na Figura 13 é apresentado o fluxograma correspondente ao método concebido para que os objetivos do trabalho sejam alcançados.

Figura 13 — Fluxograma do método



Fonte: Elaboração própria.

Para a realização deste trabalho foram abordados métodos de pesquisa, investigação e projeto com o intuito de sustentar todas as ações tomadas durante o seu desenvolvimento, além de garantir sua adequação e aproximação à realidade de um trabalho de Engenharia de Tráfego.

Primeiramente, foi delimitado o escopo do projeto, considerando sua extensão espacial (CUASO, áreas próximas ao P1), área de estudo (Engenharia de Tráfego, tópicos específicos), métodos de pesquisa e objetivos a serem alcançados.

Foi feita uma revisão bibliográfica sobre informações de trabalhos publicados envolvendo monografias, teses, dissertações, artigos científicos, manuais de projeto, dados de órgãos públicos, entre outros. Com isso, foi possível construir uma base teórica para embasar e contextualizar o trabalho a ser desenvolvido.

O trabalho contou com uma coleta inicial de dados relacionados à Engenharia de Tráfego (variáveis de tráfego, tempos de semáforo, itinerários, características das vias, horários de operação, entre outros) em trabalhos publicados (monografias, estudos de órgãos públicos etc.) como também em campo.

Em seguida, os dados coletados foram inseridos em um software de simulação de tráfego (VISSIM) com o objetivo de construir, calibrar e validar um modelo que simulasse a situação real de tráfego na região de estudo, para então, assim, permitir a proposição e verificação de intervenções.

Preliminarmente, as propostas de intervenção no tráfego envolveram intervenções na geometria viária (aumento do número de faixas, modificação de conexões etc.), na sinalização da via (vertical e horizontal, em decorrência de novas geometrias), em dispositivos de controle de tráfego e também analisando as soluções previamente adotadas.

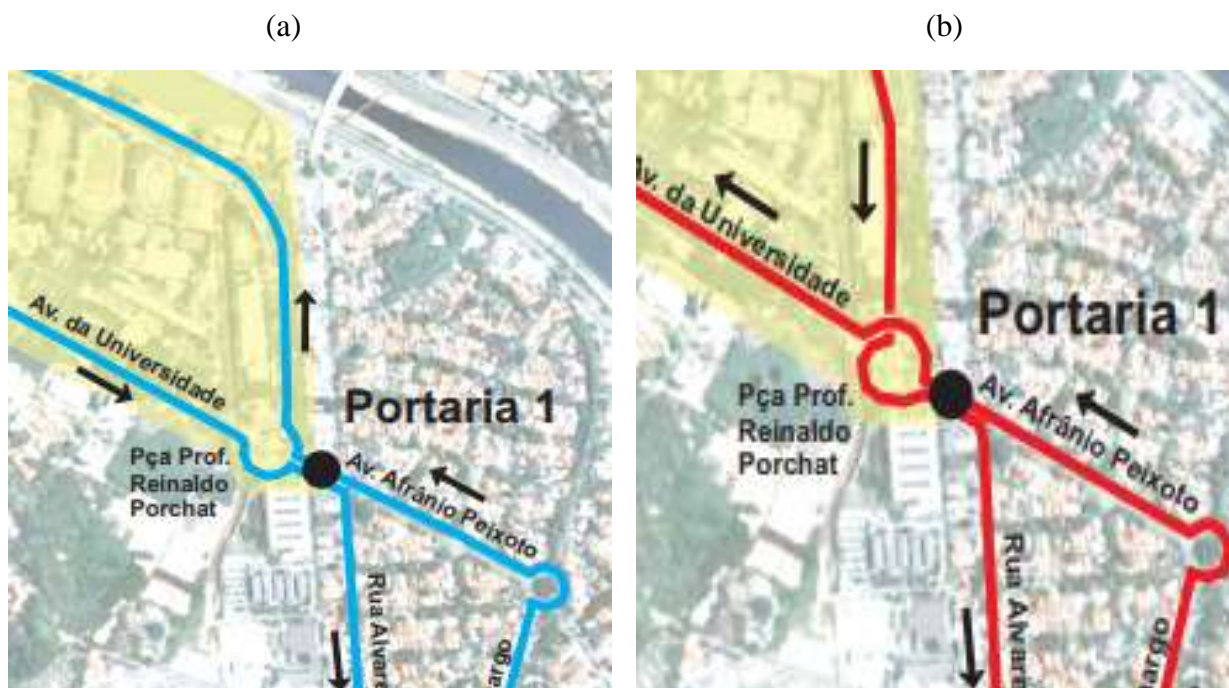
Com o modelo devidamente validado, foi investigado o impacto no desempenho operacional do sistema das possíveis opções de melhoria, analisando os aspectos positivos e negativos de cada solução adotada individualmente e em combinação com outras soluções, a fim de definir as melhores propostas de intervenção.

4 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

4.1 Área de Estudo

A área de estudo abordada neste trabalho compreende a região no entorno do P1, onde ocorre a conexão das vias Avenida Afrânio Peixoto, Avenida da Universidade e Avenida Professor Mello Moraes por meio da rotatória denominada Praça Professor Reynaldo Porchat (ver Figura 1). As três linhas de ônibus circulares acessam ou deixam a CUASO a partir do P1, sendo que, na volta, a linha 8022 chega à intersecção por meio da Av. da Universidade, enquanto as linhas 8012 e 8032 chegam por meio da Av. Professor Mello Moraes. O trajeto realizado pelas linhas 8022, 8012 e 8032 na região do P1 é destacado na Figura 14.

Figura 14 — Trajetos da linha 8022 (a) e 8012 e 8032 (b) no entorno do P1



Fonte: PUSP-C.

4.1.1 Caracterização das vias

Avenida Afrânio Peixoto (Figura 15): no trecho analisado a via possui dois sentidos, quatro faixas no sentido Butantã (uma exclusiva para ônibus) e duas faixas no sentido CUASO. É a principal via de integração da CUASO ao bairro do Butantã. Possui intersecção em nível com a Rua Alvarenga, onde há a presença de semáforo de tempo fixo. Há canteiro central.

Figura 15 — Avenida Afrânio Peixoto



Fonte: Google Street View (2023).

Avenida da Universidade (Figura 16): no trecho analisado a via possui dois sentidos com três faixas cada (sendo uma exclusiva para ônibus). Há presença de ciclofaixas em ambos os sentidos, localizadas entre a faixa exclusiva de ônibus e o meio fio. Há canteiro central.

Figura 16 — Avenida da Universidade



Fonte: Fotografia própria.

Avenida Professor Mello Moraes (Figura 17): no trecho analisado a via possui dois sentidos e duas faixas utilizáveis para cada, não há faixa exclusiva para ônibus, porém ela possui uma ciclofaixa adjacente ao meio fio no sentido de entrada na rotatória. Há canteiro central.

Figura 17 — Fotografia da Avenida Professor Mello Moraes



Fonte: Fotografia própria.

Praça Professor Reynaldo Porchat (Figura 18): possui duas faixas de circulação, sendo nenhuma exclusiva para ônibus. Possui ciclofaixa adjacente ao meio-fio.

Figura 18 — Praça Dr. Reynaldo Porchat



Fonte: Google Street View (2023).

Praça do Relógio Solar (Figura 19): no trecho analisado é possível observar a presença de duas vias distintas, cada uma delas acomodando dois sentidos de tráfego e dispondo de duas faixas utilizáveis para cada direção. Importante ressaltar que não se verifica a existência de uma

faixa segregada destinada exclusivamente ao tráfego de ônibus. Contudo, é notável a inclusão de uma ciclofaixa que se encontra adjacente ao meio-fio nos dois sentidos. Além disso, deve ser mencionada a presença de um canteiro central na configuração viária.

Figura 19 — Praça do Relógio Solar



Fonte: Fotografia própria.

Avenida Professor Lineu Prestes (Figura 20): No segmento viário analisado, constata-se que a via se caracteriza por possuir dois sentidos de circulação, cada qual composto por três faixas de tráfego, notando-se que uma das faixas é destinada exclusivamente ao uso de ônibus. Além disso, observa-se a existência de ciclofaixas, dispostas em ambos os sentidos da via, posicionadas entre a faixa exclusiva para ônibus e o meio-fio. É relevante destacar a presença de um canteiro central na configuração viária.

Figura 20 — Avenida Professor Lineu Prestes



Fonte: Fotografia própria.

4.1.2 Visita à área de estudo

Foi feita uma visita preliminar à Praça Prof. Reynaldo Porchat com o intuito de observar e investigar as vias, os fluxos e principais movimentos que fossem fundamentais na obtenção de dados de contagem volumétrica. A visita ocorreu no dia 20/06/2023 das 17h30 às 18h30 e contou com entrevistas com um dos seguranças presentes na guarita do P1 e com o agente Ricardo da Guarda Universitária da USP, presente nas imediações da rotatória.

A informação mais importante obtida com a segurança privada do P1 foi de que não lhes cabiam a responsabilidade de efetuar a manobra de interdição do acesso à rotatória — incumbência atribuída à Guarda Universitária — a operação que é realizada quando a rotatória está congestionada. Ademais, era também a Guarda Universitária quem possuía acesso às imagens das câmeras instaladas na região do P1 e da CUASO como um todo.

Na conversa com o agente da Guarda Universitária, além da confirmação das informações transmitidas pelo segurança na guarita do P1, foram feitas elucidações e considerações relevantes para a elaboração do estudo:

- O fechamento parcial da rotatória não ocorre todos os dias;
- No pós-pandemia, os volumes de tráfego diminuíram;
- No período anterior à pandemia os fechamentos eram bem mais frequentes;
- Na atualidade, os fechamentos são mais comuns em situações excepcionais, como de grandes chuvas;
- Há restrições para quais veículos podem acessar o P1. Como, por exemplo, ônibus fretados e guinchos;
- Caminhões VUC são parados na entrada e têm seu conteúdo revistado;
- Das 20h00 até 05h00 a entrada é controlada; o acesso requer que a pessoa tenha algum vínculo com a USP. A exceção se dá para alguns atletas.

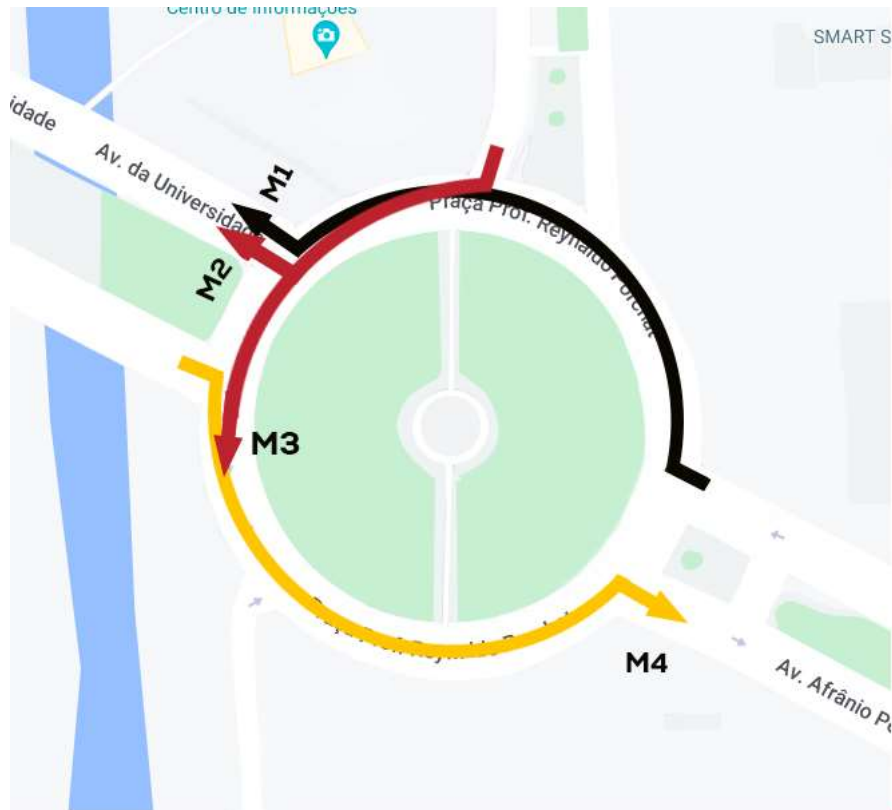
4.2 Contagens no pico noturno

Durante o primeiro semestre de 2023 foi realizada a contagem volumétrica, cronometragem de tempos de viagem de ônibus circulares e coleta dos tempos do semáforo da intersecção entre a Av. Afrânio Peixoto com a Rua Alvarenga; objetivando a construção do micromodelo base do trabalho.

4.2.1 Planejamento de contagem

Com base nas observações da visita do dia 20/06/2023, foram determinados os movimentos cujos fluxos deveriam ser conhecidos para que o modelo base pudesse ser adequadamente concebido e validado no VISSIM. Portanto, apresenta-se na Figura 21 os movimentos considerados relevantes para o estudo:

Figura 21 — Movimentos relevantes na rotatória do P1



Fonte: Elaboração própria, com base no Google Maps.

Os movimentos, conforme a numeração definida, representam:

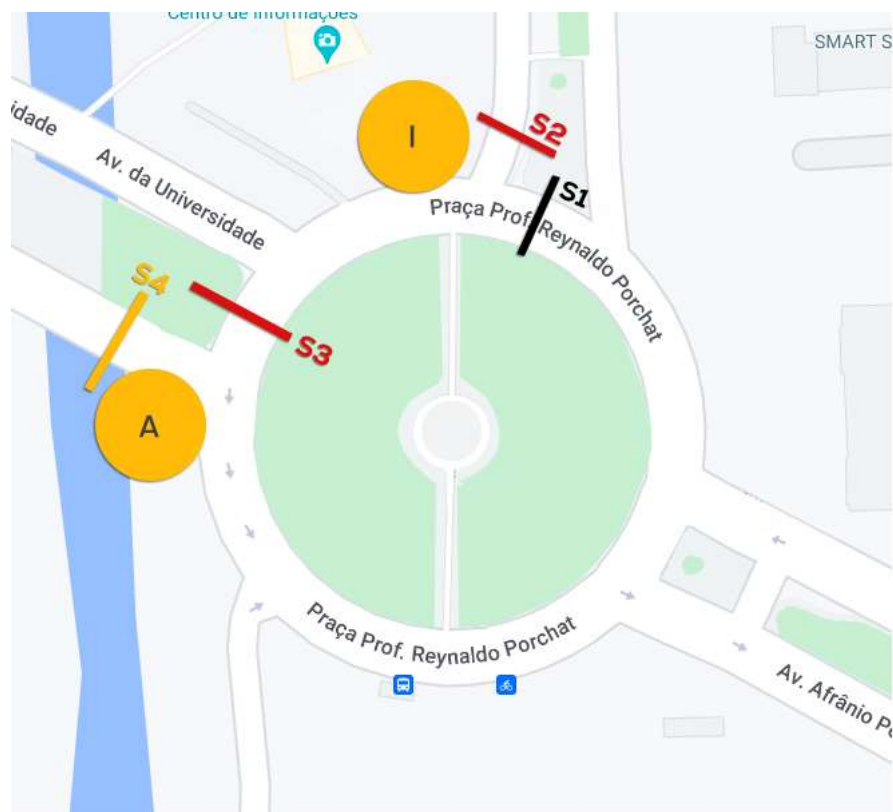
- Movimento 1 (**M1**): Av. Afrânio Peixoto → Av. da Universidade;
- Movimento 2 (**M2**): Av. Professor Mello Moraes → Av. da Universidade;
- Movimento 3 (**M3**): Av. Professor Mello Moraes → Av. Afrânio Peixoto;
- Movimento 4 (**M4**): Av. da Universidade → Av. Afrânio Peixoto.

Foram determinadas alternativas de datas e horários para que fosse feita a contagem, levando em conta a disponibilidade dos integrantes do trabalho. As opções compreendiam dias úteis e os horários compreendiam os picos da manhã (06h00 até 08h00) e da noite (18h00 até 20h00). O cenário base de estudo levou em conta que a rotatória está aberta para todos os

movimentos. Logo, caso no dia da contagem houvesse uma operação de fechamento, a visita teria que ser adiada

Para a realização das contagens foram definidas quatro seções de contagem para compor os volumes de tráfego pretendidos para o estudo. Foram cogitadas algumas alternativas de disposição de contadores e quais seções estes contariam, considerando a possibilidade de que outros colegas conseguissem ajudar. Contudo, no dia da contagem, prevaleceu a disposição mostrada na Figura 22, na qual duas pessoas — Ayrton e Ivan, representados pelos círculos amarelos — ficaram responsáveis pela contagem das quatro seções.

Figura 22 — Disposição dos contadores na rotatória do P1



Fonte: Elaboração própria, com base no Google Maps.

Observadores: Ayrton e Ivan

S1: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **M1**.

S2: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **M2**.

S3: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **M3**.

S4: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **M4**.

Denota-se que o volume de tráfego referente ao retorno na Av. Afrânio Peixoto (acesso pelo P1 e imediata saída no sentido contrário) foi considerado desprezível e que, por motivos operacionais, o volume de tráfego do **M2** foi obtido pela contagem de veículos pela seção **S2** descontado dos veículos contados na seção **S3**.

A contagem de veículos foi registrada a partir do preenchimento de planilhas, segundo um método de contagem específico elaborado pelo pesquisador, com base em suas habilidades, que resultassem na situação mais confortável para execução do procedimento.

Na Tabela 2 e na Tabela 3, apresentam-se, respectivamente, as planilhas construídas por Ayrton e Ivan como parte do protocolo de contagem. Considerando uma visita piloto para testes, foram definidos intervalos de tempos de 5 minutos, de modo que a quantidade de veículos pudesse ser estratificada por tempos na análise dos dados obtidos.

Tabela 2 — Exemplo da planilha de contagem (Ayrton)

Tipos de veículo	VP		CO		RE	
Tempos (marcações a cada 5 min)	S3	S4	S3	S4	S3	S4
	////	20	//	/	-	/
	////	32	///		-	
5 min	////	30			-	/

10 min

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 — Exemplo de planilha de contagem (Ivan)

Horário	S1		S2	
	VP	CO	VP	CO
18h00-18h05				
18h05-18h10				
18h10-18h15				
18h15-18h20				
18h20-18h25				
18h25-18h30				

Fonte: Elaboração própria.

Os veículos de passeio que passam pela seção **S4** onde há o maior fluxo foram registrados a partir de uma contagem e soma mental, enquanto para as demais colunas, cada veículo foi representado com uma marcação (risco). Ao final, os valores de cada coluna são

somados e foi considerada a nomenclatura e cálculo de veículos de passeio equivalentes com base nas normas do DNIT.

Contagem instantânea por riscos foi realizada pela marcação em cada coluna correspondente ao tipo de veículo avistado dentro de um tipo de movimento. Ao final do período de contagem, foram somadas as marcações para chegar no valor total de veículos que passaram no tempo total de contagem.

No dia 23/06/2023 (sexta-feira) foi feita uma visita piloto para avaliação do protocolo que seria aplicado na contagem oficial, a fim de verificar as condições de campo quanto a possíveis dificuldades e imprevistos que pudessem ocorrer. Os métodos de contagem foram testados e ajustados, assim como a localização dos observadores. Aproveitou-se também para colher dados de tempos de verde, amarelo e vermelho referentes ao semáforo localizado na intersecção da Avenida Afrânio Peixoto com a Rua Alvarenga. O registro manual dos tempos semafóricos pode ser visualizado no Apêndice A.

4.2.2 Visitas de contagem

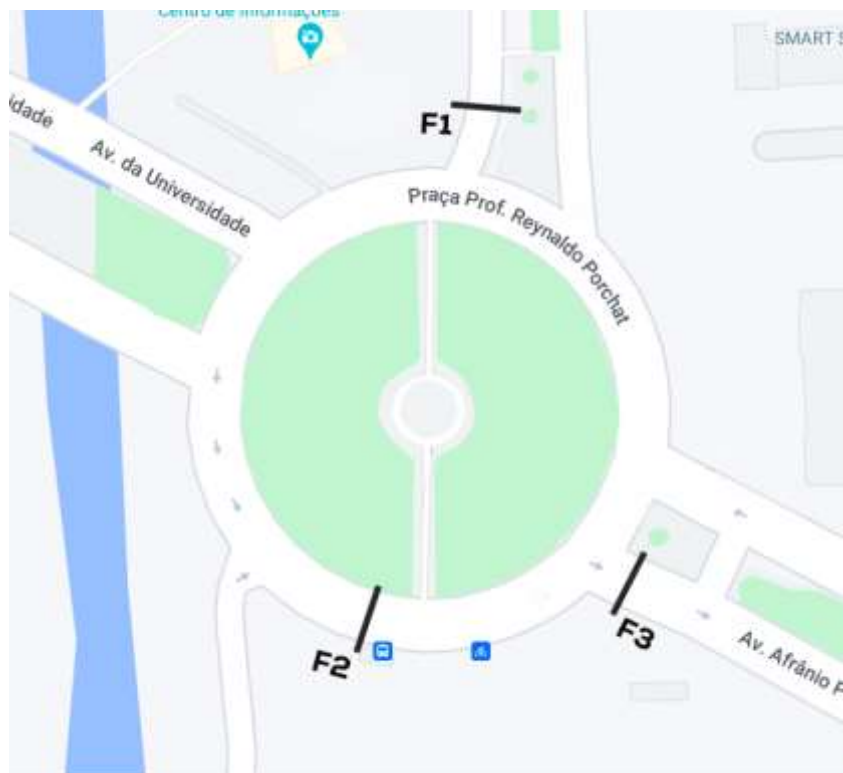
A contagem de veículos aconteceu no dia 26/06/2023, segunda-feira, entre 18h30 e 19h30, conforme os métodos e protocolos propostos e testados na visita piloto, porém, desta vez, com intervalos de tempo de 15 minutos. As planilhas preenchidas em campo pelos observadores Ivan e Ayrton podem ser visualizadas no Apêndice B.

Tendo em vista a validação do modelo gerado no VISSIM, foram também coletados em campo, no dia 30/06/2023, dados referentes ao tempo que os ônibus circulares 8012 e 8032 levavam para ir do ponto da Faculdade de Educação Física até o ponto da Academia de Polícia, e deste até a saída pelo P1. A cronometragem se deu da seguinte forma:

- Início da cronometragem quando a dianteira do ônibus passasse pela faixa de pedestres entre o ponto da Ed. Física e a rotatória (seção **F1**);
- Primeira parada quando a dianteira do ônibus passasse pelo pilar que sustenta a cobertura do ponto de ônibus da Academia de Polícia antes de parar (seção **F2**);
- Fim da cronometragem quando a traseira do ônibus passasse pela guarita (seção **F3**).

As seções de referência para a cronometragem podem ser visualizadas na Figura 23, enquanto a folha usada para o registro manual dos tempos pode ser vista no Apêndice C.

Figura 23 — Seções de cronometragem de tempos de ônibus



Fonte: Elaboração própria, com base no Google Maps.

4.2.3 Tratamento dos dados

Paralelamente à contagem, foi necessário obter os tempos semafóricos referentes ao cruzamento entre a Avenida Afrânio Peixoto e a Rua Alvarenga de forma a subsidiar o modelo construído no VISSIM. Para tanto, a dupla realizou duas medições independentes (cada operador fez a cronometragem em seu próprio smartphone) para três ciclos distintos. A consolidação dessas medições e o cálculo das médias e desvio padrão amostral para cada estágio são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 — Tempos semafóricos coletados

Ciclo	Verde	Amarelo	Vermelho total	Vermelho	Operador
1	24,5	28,2	30,1	121,0	Ayrton
	24,0	28,1	29,4	122,0	Ivan
2	23,5	27,5	29,5	119,0	Ayrton
	24,5	27,9	29,7	120,0	Ivan
3	24,1	28,0	29,9	121,0	Ayrton
	24,2	28,1	30,8	122,0	Ivan
Média Aritmética	24,1	28,0	29,9	120,8	
Desvio Padrão amostral	0,4	0,3	0,5	1,2	

Fonte: Elaboração própria.

Sabendo que o tempo de cada estágio deve ser um número inteiro, foi possível estimar o tempo real de cada uma das cores com uma dada incerteza. Além disso, admitiu-se que o tempo de reação dos operadores não influenciou significativamente na obtenção destes tempos, uma vez que os tempos de reação tendem a se cancelar, pois, iniciou-se e parou-se a cronometragem para cada uma das trocas de cores. Os tempos admitidos para utilização no modelo são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 — Tempos semafóricos estimados

Cor	Tempo Estimado (s)	Incerteza
Verde	24,0	±0.38
Amarelo	4,0	±0.27
Vermelho total	2,0	±0.49
Vermelho	90,0	±1.17

Fonte: Elaboração própria.

Somando todos os valores, obteve-se um tempo total de ciclo de 120 segundos.

Os dados da contagem volumétrica de 26/06/2023 foram transferidos para uma planilha eletrônica (ver Tabela 6), onde foram calculadas as quantidades totais de veículos por tipo e suas porcentagens, assim como a transformação dos valores obtidos em veículos de passeio equivalentes conforme o manual do DNIT (2009).

Tabela 6 — Tabela consolidada de contagem de veículos

	VP				CO				SR			
Tempos (min)	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
0 — 15	130	68	59	142	5	2	2	6	0	0	0	0
15 — 30	173	72	69	160	5	4	4	3	1	0	0	2
30 — 45	193	73	68	149	7	4	4	4	1	0	0	1
45 — 60	166	52	48	158	10	4	4	4	0	0	0	1
Total (60 min)	662	265	244	609	27	14	14	17	2	0	0	4

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 7 foram registradas as quantidades totais de veículos de passeio; comerciais e de reboque, e as suas porcentagens relativas no tráfego, considerando as contagens para cada

um dos movimentos, e já descontado a contagem de veículos do **S3** pela contagem na **S2**, para que se obtivesse o fluxo de **M2**.

Tabela 7 — Porcentagem de veículos comerciais e de reboque em relação aos carros de passeio

Total VP	1780	%VP	95,8%
Total CO/RE	78	%CO/SR	4,2%

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 8, mostra-se a quantidade de veículos de passeio equivalentes estratificados por seção de medição e intervalos de tempos de 15 minutos.

Tabela 8 — Veículos de passeio equivalentes

	VP Equivalente			
Tempos (min)	S1	S2	S3	S4
0 — 15	138	71	62	151
15 — 30	183	78	75	169
30 — 45	206	79	74	157
45 — 60	181	58	54	166
Total (60 min)	708	286	265	643

Fonte: Elaboração própria.

Para a obtenção dos fluxos, em veículos de passeio equivalentes, para cada um dos movimentos relevantes, conforme descrito na seção 4.2.1; bastou subtrair a contagem feita em **S2** pela contagem feita em **S3** para a obtenção do fluxo de **M2**. Os fluxos de **M1**, **M3** e **M4** foram iguais, respectivamente, aos valores em veículos de passeio equivalentes calculados a partir das observações em **S1**, **S3** e **S4**.

Na Tabela 9 apresenta-se os fluxos para cada movimento, que são os dados necessários para a alimentação do micromodelo no VISSIM.

Tabela 9 — VP equivalente por movimento

	VP Equivalente			
Tempos (min)	M1	M2	M3	M4
0 — 15	138	9	62	151
15 — 30	183	3	75	169
30 — 45	206	5	74	157
45 — 60	181	4	54	166
Total (60 min)	708	21	265	643

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 10 são apresentados os tempos de viagem entre os pontos da Educação Física (EF) e da Polícia; e entre o ponto da Polícia e o P1, bem como o cálculo das médias e desvios padrão amostrais. O cálculo dessas estatísticas também foi feito excluindo os *outliers* detectados (linhas marcadas em vermelho e azul) para efeito de comparação.

Tabela 10 — Tempos de viagem dos circulares 1 e 3 na região do P1

	Tempos de viagem (deslocamento + parada) (s)		
Nº de Ciclo	EF até Polícia	Polícia até P1	Linha
1	43,9	12,0	8012-10
2	27,2	36,2	8032-10
3	27,6	25,8	8012-10
4	35,6	24,7	8032-10
5	25,5	33,6	8012-10
6	29,9	22,6	8012-10
7	25,0	34,0	8032-10
8	28,9	13,1	8032-10
9	29,1	28,3	8012-10
10	38,0	68,3	8012-10
Média (total)	31,1	29,9	
Desvio Padrão Amostral (total)	6,1	15,8	
Tempo de ciclo médio (segundos)	60,9		
Média (sem outliers)	28,6	29,3	
Desvio Padrão Amostral (sem outliers)	3,6	5,3	
Tempo de ciclo médio (segundos)	57,9		

Fonte: Elaboração própria.

As linhas marcadas em vermelho indicam ciclos em que o ônibus não parou no ponto da Polícia, enquanto a linha marcada em azul indica que o ônibus ficou mais tempo parado antes de sair pelo P1 devido à fila formada com o fechamento do semáforo. Como estes eventos resultaram em valores muito discrepantes, optou-se por excluí-los da base de dados para a calibração do modelo. Sendo, portanto, usados apenas a média e o desvio padrão sem os *outliers*.

4.3 Contagem no pico matutino

No segundo semestre de 2023 foi dado o prosseguimento ao trabalho com uma nova coleta de dados para a construção de um micromodelo expandido que, além do entorno do P1, representasse a rotatória próxima ao estacionamento do CEPEUSP. O modelo atualizado buscou representar a condição de tráfego num dia útil durante uma hora do pico da manhã

(08h00 até 09h00), verificando se os resultados seriam mais ou menos críticos do que aqueles obtidos para o pico noturno.

4.3.1 Planejamento de contagem

Para a obtenção dos novos fluxos na região do P1, foi aplicado um novo método de coleta de dados, que consistiu na contagem volumétrica a partir da visualização de gravações das câmeras presentes no campus, cortesia da Guarda Universitária da USP. Realizando-se o contato com a Guarda Universitária por via de e-mails, telefonemas e uma reunião presencial no dia 09/08/2023. Foi combinado que seria liberado o acesso às filmagens na nova Sede da Superintendência de Prevenção e Proteção Universitária, mostrada na Figura 24.

Figura 24 — Nova sede da Guarda Universitária da USP



Fonte: Google Street View (2023).

No dia 16/08/2023 foi feita uma segunda visita à sede com o objetivo de melhor inteirar os integrantes do grupo com a utilização dos softwares que registram as gravações no campus, e pesquisar quais das câmeras disponíveis teriam o posicionamento mais adequado para que se pudesse realizar as contagens. Tal qual na contagem feita no primeiro semestre de 2023, foram considerados, para fins de microsimulação e análise de cenários, os mesmos quatro movimentos relevantes: **M1**, **M2**, **M3** e **M4**.

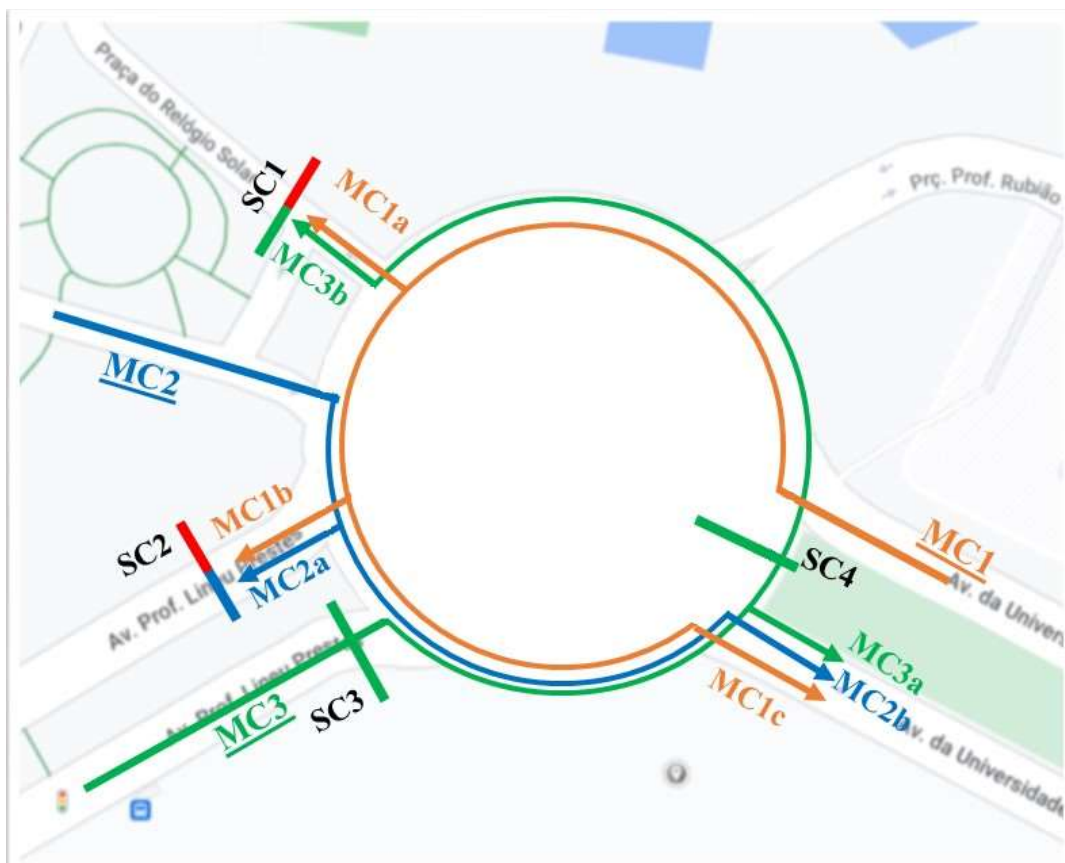
Em 23/08/2023 a dupla retornou à sede da Guarda Universitária para a realização da contagem, na qual, além de Ayrton e Ivan, houve a colaboração de colegas da disciplina de PTR 3514 (Sistemas Inteligentes de Transportes, ou ITS), Pedro e Paula; visto que, conforme

orientação do corpo docente, o Trabalho de Formatura poderia ser aproveitado para fins do projeto temático da disciplina de ITS.

Um dos novos objetivos para a segunda fase da etapa de obtenção de dados foi de realizar contagens volumétricas também na Praça Professor Rubião Moreira (rotatória do CEPEUSP), de modo que o micromodelo pudesse ser expandido para que fossem realizadas simulações que levam em conta o desvio do fluxo de **M3** até a rotatória do CEPEUSP; uma operação feita pela Guarda Universitária em situações críticas, quando há intenso congestionamento na rotatória do P1.

A condição de tráfego nas redondezas do CEPEUSP é notavelmente mais complexa do que o observado no P1, uma vez que há mais movimentos relevantes a serem considerados, e alguns desses movimentos, por sua vez, estão intrinsicamente ligados aos movimentos observados na região do P1. Na Figura 25 apresenta-se os movimentos considerados relevantes para o estudo obtidos, bem como as seções de interesse para a contagem volumétrica.

Figura 25 — Composição de movimentos e seções de contagem no CEPEUSP



Fonte: Elaboração própria.

Os movimentos mostrados representam:

- **MC1**: Veículos que acessam a rotatória a partir da Av. da Universidade;
- **MC2**: Veículos que acessam a rotatória a partir da Praça do Relógio Solar;
- **MC3**: Veículos que acessam a rotatória a partir da Av. Prof Lineu Prestes.

Cada movimento se divide em partes quando os veículos deixam a rotatória, de modo que representam:

- **MC1a**: Parte de MC1 que segue para a Praça do Relógio Solar;
- **MC1b**: Parte de MC1 que segue para a Av. Prof Lineu Prestes;
- **MC1c**: Parte de MC1 que faz o retorno para a Av. da Universidade;
- **MC2a**: Parte de MC2 que segue para a Av. Prof Lineu Prestes;
- **MC2b**: Parte de MC2 que segue para a Av. da Universidade;
- **MC3a**: Parte de MC3 que segue para a Av. da Universidade;
- **MC3b**: Parte de MC3 que segue para a Praça do Relógio Solar;

As seções de contagem representadas são:

SC1: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **MC1a** e **MC3b**.

SC2: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **MC1b** e **MC2a**.

SC3: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **MC3**.

SC4: Seção admitida para a contagem de veículos que fazem o **MC3b**.

Ademais, duas relações de compatibilidade entre os fluxos no P1 e no CEPEUSP podem ser definidas:

$$M1 + M2 = MC1;$$

$$M4 = MC1c + MC2b + MC3a.$$

Tanto a definição dos fluxos relevantes quanto as equações de compatibilidade foram construídas com base nas premissas de que:

- Fluxos referentes a movimentos de retorno são desprezíveis, com exceção de **MC1c**;
- O tráfego na rotatória do P1 está em condições normais, isto é, não há bloqueio de passagem de veículos que realizam o **M3**;

- Os fluxos de entrada e saída do estacionamento do CEPEUSP bem como de outros institutos presentes na Av. da Universidade é desprezível.

A intenção original do grupo era de realizar as contagens volumétricas para a rotatória do CEPEUSP no mesmo dia em que foi feita a visita para a obtenção das contagens do P1 (23/08/2023); todavia, verificou-se que não havia câmeras disponíveis cujo posicionamento permitissem a contagem nas seções de estudo. Logo, os integrantes do grupo decidiram por fazer as contagens em uma visita à campo na semana seguinte, 30/08/2023, no mesmo período de estudo de 08h00 até 09h00.

4.3.2 Visitas de contagem em Agosto/2023

As contagens em vídeo foram possíveis através do acesso às imagens fornecidas pela Guarda Universitária da USP. Conforme acordado, foi liberado o uso da sala onde ocorre o treinamento de novos monitores. A Figura 26 mostra uma visão ampla da sala de treinamento, que consiste em uma mesa central comprida, cadeiras dispostas ao redor e três computadores com acesso ao software de monitoramento das câmeras instaladas na CUASO.

Figura 26 — Sala de treinamento da Guarda Universitária da USP



Fonte: Fotografia própria.

As contagens em vídeo ocorreram no dia 23/08/2023, quarta-feira, iniciando-se aproximadamente às 19 horas. Durante todo o processo de busca pelas gravações houve o auxílio e supervisão do técnico Jair, da Guarda Universitária. Foram encontradas gravações referentes à rotatória do P1 na mesma data da visita (23/08), no período da manhã, das 08h00 às 09h00. As contagens foram feitas a partir do mesmo protocolo aplicado para as contagens do primeiro semestre.

Os métodos de contagem foram semelhantes aos empregados anteriormente, porém, dessa vez o grupo se utilizou também de contador manual mecânico mostrado na Figura 27, de modo a facilitar o registro dos volumes dos automóveis que representam a maior parte dos veículos observados.

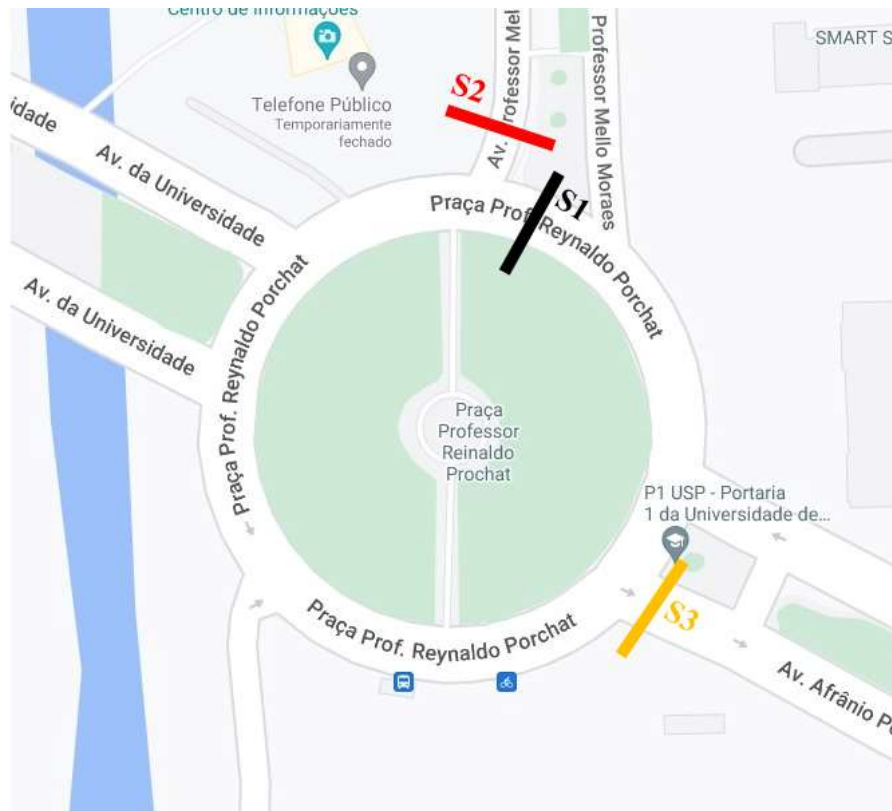
Figura 27 — Contador mecânico utilizado em 23/08



Fonte: Fotografia própria.

Os três monitores da sala foram utilizados na contagem, de forma a agilizar a coleta de dados. Conforme mostrado na Figura 28, as seções de contagem foram **S1** (verificada por Pedro), **S2** (verificada por Ivan), e **S3** (verificada por Ayrton e Paula). Como não havia nenhuma câmera disponível que mostrasse claramente o movimento representado por **M3**, foram consideradas apenas três seções, ao invés de quatro que teria sido o ideal.

Figura 28 — Seções de contagem por vídeo no P1



Fonte: Elaboração própria, com base em imagens do Google Maps.

A Tabela 11 apresenta os dados coletados que, assim como na contagem realizada em junho, considera a classificação dos veículos pelos critérios do DNIT com contagem em intervalos de 15 minutos.

Tabela 11 — Volumes por seção

	VP			CO			RE		
Tempos (min)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
0 — 15	213	91	275	9	4	10	0	0	2
15 — 30	200	87	295	11	3	11	1	0	1
30 — 45	203	95	311	5	4	11	0	0	1
45 — 60	172	104	264	8	3	9	0	0	2
Total (60 min)	788	377	1145	33	14	41	1	0	6

Fonte: Elaboração própria.

Devido ao posicionamento das seções, os fluxos registrados em cada seção são:

- S1: Registra apenas o fluxo de M1;
- S2: Registra os fluxos de M2 e M3;
- S3: Registra os fluxos de M3 e M4.

A solução adotada para obter **M3** separadamente foi admitir que a proporção de veículos que passam por **S2** e realizam o **M3** é muito semelhante quando o período analisado é o de pico, seja da manhã ou da tarde. Sendo assim, é possível inferir, a partir da Tabela 6, que **M3** é aproximadamente igual a 92% do volume registrado em **S2**. A partir dessa proporção, todos os fluxos podem ser calculados:

- **M1** = Volume em **S1**;
- **M2** = 8% do volume de **S2**;
- **M3** = 92% do volume de **S2**;
- **M4** = Volume em **S3** – **M3**.

No mesmo dia, foram coletados dados de tempos de viagem dos ônibus circulares e fotografias das gravações em momentos em que houve formação de fila na rotatória, com o objetivo de validar o modelo.

Os tempos de viagem foram obtidos diretamente da marcação do horário presente no vídeo, de forma que a gravação era pausada quando os ônibus circulares passavam por uma seção de interesse. A obtenção dos tempos de viagem ocorreu conforme o seguinte processo:

- Pausa do vídeo e tomada do horário quando a dianteira do ônibus entra na rotatória (seção **G1**);
- Caso o ônibus pare no ponto da Academia de Polícia, o vídeo é pausado e o horário registrado quando o veículo sai do repouso, deixando o ponto de ônibus (seção **G2**);
- Pausa do vídeo e tomada do horário quando a dianteira do ônibus passa pela guarita (seção **G3**).

As seções de interesse podem ser visualizadas na Figura 29, enquanto a folha usada para o registro manual dos tempos pode ser vista no Apêndice D.

Figura 29 — Seções de cronometragem no P1



Fonte: Elaboração própria, com base em imagens do Google Maps.

Os dados coletados na visita foram consolidados na Tabela 12:

Tabela 12 — Tempos de viagem dos Circulares 1 e 3 no P1

	Tempos de viagem (deslocamento + parada) (segundos)	
Nº de Ciclo	EF até Polícia	EF até P1
1	0	33
2	24	83
3	32	83
4	0	28
5	26	70
Média (sem fila)	0	31
Média (com fila)	27	79
Desvio Padrão Amostral (sem fila)	0	4
Desvio Padrão Amostral (com fila)	4	8
Legenda		Sem parada no ponto da Polícia
		Ocorrência de filas

Fonte: Elaboração própria, com base nas gravações disponibilizadas pela Guarda Universitária.

As fotografias utilizadas para a contagem dos comprimentos de filas são apresentadas na Figura 30.

Figura 30 — Fila 1 (a), Fila 2 (b), Fila 3 (c) e Fila 4 (d) no P1 da CUASO



Fonte: Fotografias próprias, a partir de gravação fornecida pela Guarda Universitária.

As filas foram estimadas tendo como seção inicial a faixa de pedestres próxima à guarita. Como há certo grau de subjetividade na decisão da exata seção onde a fila termina (onde houvesse o último veículo parado), optou-se pela realização de estimativas individuais, a partir da percepção de três dos membros do grupo da disciplina de Sistemas Inteligentes de Transportes, com cada um usando a ferramenta computacional de sua preferência para a medição. Na Tabela 13 apresenta-se o resultado das estimativas.

Tabela 13 — Estimativas de comprimentos de fila

	Método	Fila 1 - Comprimento (m)	Fila 2 - Comprimento (m)	Fila 3 - Comprimento (m)	Fila 4 - Comprimento (m)
Ayrton	QGIS	44,3	106,0	30,8	28,2
Ivan	Google Maps	46,0	111,0	27,0	26,0
Paula	Google Earth	41,6	105,0	28,4	17,7

Fonte: Elaboração própria, a partir de gravação fornecida pela Guarda Universitária.

A partir destes valores, foi possível calcular a média aritmética e o desvio padrão para as filas observadas na gravação, que resultaram, respectivamente, em 36,2 m e 35,0 m.

As contagens referentes aos fluxos da rotatória do CEPEUSP, feitas em campo, ocorreram no dia 30/08/2023, na quarta-feira da semana seguinte à contagem feita na sede da Guarda Universitária. A contagem ocorreu no entorno da Praça Prof. Rubião Meira entre 08h e 09h contou com o auxílio de um smartphone colocado num tripé que possibilitou a gravação de um trecho da rotatória. A Figura 31 mostra a visão registrada pela câmera do smartphone.

Figura 31 — Visão da câmera na rotatória do CEPEUSP



Fonte: Fotografia própria.

A disposição dos membros do grupo no sítio pode ser vista na Figura 32, onde Pedro, Ayrton, Ivan e Paula são representados, respectivamente, pelos símbolos de **PE**, **A**, **I** e **PA**, ficando responsáveis pelas contagens nas seções **SC1**, **SC2**, **SC3** e **SC4**. Destaca-se ainda o posicionamento da câmera e seu ângulo de visão.

Figura 32 — Disposição da equipe e seções de contagem no CEPEUSP



Fonte: Elaboração própria, com base em imagens do Google Maps.

Em acordo com as premissas adotadas no planejamento da visita à campo, apresenta-se na Tabela 14 quais volumes poderiam ser contados em cada uma das seções, bem como os volumes obtidos a partir da análise posterior da gravação.

Tabela 14 — Volumes contados no CEPEUSP por seção e por gravação

Seção de Contagem	Volumes registrados
SC1	MC1a e MC3b
SC2	MC1b e MC2a
SC3	MC3
SC4	MC3b
Câmera	MC1b, MC1c e MC2b

Fonte: Elaboração própria.

Os métodos de contagem empregados foram os mesmos da contagem anterior no P1, pelo uso de contadores mecânicos bem como observação direta dos fluxos, de modo a preencher manualmente as folhas trazidas a campo, conforme mostrado no Apêndice E.

As contagens em campo e pela gravação foram consolidadas na Tabela 15, mantendo-se intervalos de 15 minutos e classificação dos veículos de acordo com o manual do DNIT. Os

volumes obtidos pela observação nas seções de estudo foram destacados em azul, enquanto os volumes dos fluxos, obtidos diretamente pelos vídeos, são destacados em amarelo

Tabela 15 — Volumes observados por seção/movimento

VP							
	SC1	SC2	SC3	SC4	MC1b	MC1c	MC2b
0-15 min	40	224	222	30	215	11	46
15 - 30 min	30	166	252	27	162	19	48
30 - 45 min	28	130	192	26	124	78	56
45 - 60 min	18	148	154	32	146	74	66
CO							
	SC1	SC2	SC3	SC4	MC1b	MC1c	MC2b
0-15 min	6	7	8	1	1	0	0
15 - 30 min	5	6	5	0	2	0	0
30 - 45 min	7	8	9	2	3	4	1
45 - 60 min	6	9	6	1	4	5	1
SR							
	SC1	SC2	SC3	SC4	MC1b	MC1c	MC2b
0-15 min	1	1	2	0	0	0	0
15 - 30 min	1	1	1	0	0	0	0
30 - 45 min	1	1	3	0	0	0	0
45 - 60 min	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria.

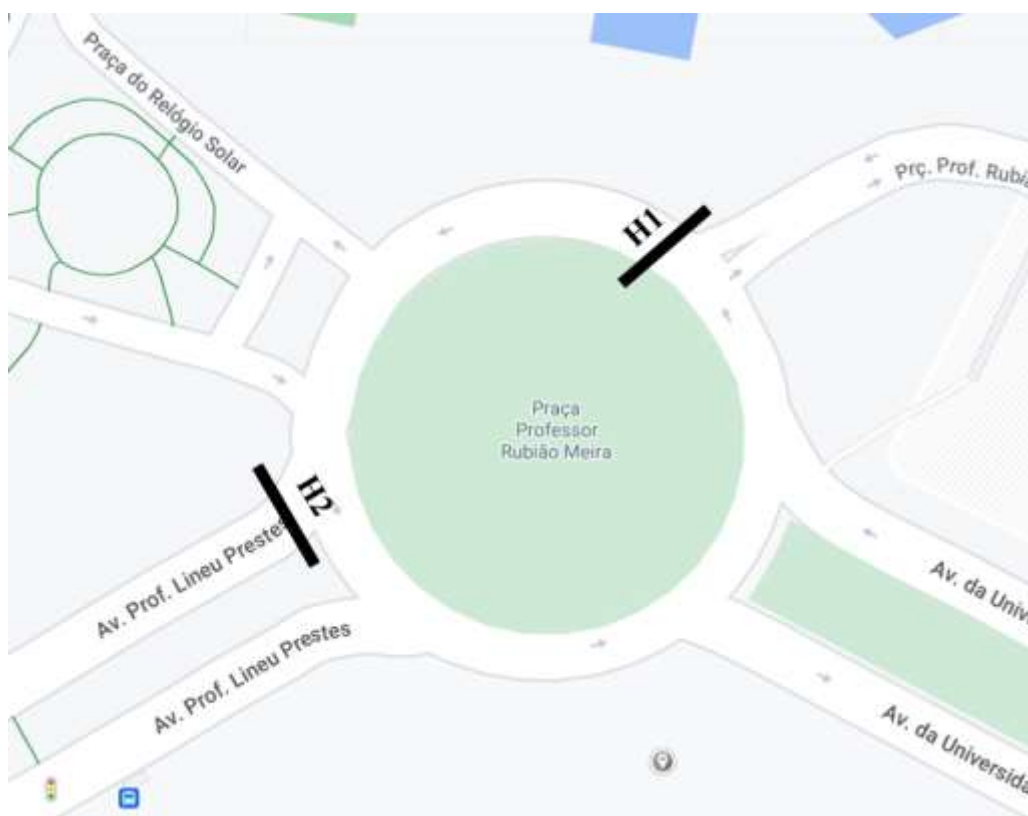
Alguns fluxos puderam ser obtidos de forma direta, como os que foram observados a partir da gravação ou o que foi contado em campo na seção **SC3**, registrando-se apenas os volumes associados ao **MC3b**. Os outros fluxos foram calculados de forma indireta, a partir de equações que estabelecem as relações lógicas de correspondência entre os volumes observados nas seções e os movimentos que passam por elas. As equações, em sua forma explícita, são:

1. **MC1a** = Volume em **SC1** – **MC3b**;
2. **MC2a** = Volume em **SC2** – **MC1b**;
3. **MC3a** = Volume em **SC3** – **MC3b**;
4. **MC3b** = Volume em **SC4**.

Como resultado da primeira equação, o fluxo referente de **MC1a** no intervalo de 45 a 60 minutos resultou, originalmente, em um número negativo — o que é fisicamente impossível. A explicação mais provável para a inconsistência é a entrada de veículos no estacionamento do CEPEUSP que foi desconsiderada. A solução adotada foi de arbitrar esse volume como sendo 0, uma vez que os fluxos de **MC1a** são relativamente pequenos e de menor influência num possível cenário de congestionamento na rotatória.

Também foram coletados tempos de viagens na rotatória do CEPEUSP na visita feita no dia 30/08/2023 a partir da visualização da gravação feita em campo. A Figura 33 mostra as seções de interesse utilizadas para a cronometragem.

Figura 33 — Seções de cronometragem no CEPEUSP



Fonte: Elaboração própria, com base em imagens do Google Maps.

As medidas foram feitas tanto para automóveis (dez contagens distintas), quanto ônibus não articulados — podendo ou não ser um circular —, com cinco contagens distintas. Os resultados são apresentados na Tabela 16. Ressalta-se que a contagem 3 dos ônibus foi desconsiderada para cálculo de parâmetros estatísticos por ter apresentado um desvio muito grande em relação aos outros valores.

Tabela 16 — Tempos de viagem de automóveis e ônibus no CEPEUSP

	Tempos de viagem - CEPEUSP até Av. Prof. Lineu Prestes (s)	
Contagem	Automóveis	Ônibus
1	11	18
2	13	14
3	13	26*
4	14	14
5	10	14
6	11	-
7	14	-
8	12	-
9	11	-
10	14	-
Média	12,3	15,0
Desvio Padrão Amostral	1,49	5,22

Fonte: Elaboração própria, com base na gravação realizada pelo grupo.

*Valor não considerado para cálculo de média aritmética e desvio padrão.

4.3.3 Compatibilização do modelo

Com o propósito de criar o micromodelo a partir dos volumes obtidos nas contagens realizadas em agosto, tornou-se imperativo realizar uma compatibilização dos valores obtidos entre as contagens efetuadas no P1 e no CEPEUSP. Devido à discrepância temporal entre as datas de execução das contagens (23/08/2023 no P1 e 30/08/2023 no CEPEUSP), os valores obtidos não conformaram às equações de compatibilidade apresentadas:

$$\text{Equação 1: } M1 + M2 = MC1 \quad (1)$$

$$\text{Equação 2: } M4 = MC1c + MC2b + MC3a \quad (2)$$

Em primeiro momento foi feita a compatibilização com o objetivo de obter fluxos representativos da visita do dia 23/08/2023, em que os fluxos e filas observadas foram moderadas. Os dados de entrada calculados ao final deste processo foram usados para a construção do cenário base a ser calibrado e validado. Em segundo momento, após a validação do modelo, foi feita a compatibilização visando representar os fluxos verificados no dia

30/03/2023, mais elevados assim como as filas observadas. Os dados resultantes foram utilizados para a simulação de cenários críticos quando há o fechamento da rotatória.

Uma série de passos, descritos a seguir, foram sistematicamente adotados para alcançar a compatibilização das contagens, realizando-se sucessivas simplificações até que as equações de compatibilidade fossem satisfeitas. Nesta etapa, os volumes contados foram categorizados por tipologia de veículo, ao invés de serem expressos em veículos de passeio equivalentes, refinando o modelo previamente construído.

A Tabela 17 e a Tabela 18 apresentam os valores das contagens feitas em agosto por tipologia de veículo.

Tabela 17 — Volumes observados no P1 por tipologia de veículo

Contagens P1	M1			M2			M3			M4		
	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR
0-15 min	213	9	0	7	0	0	84	4	0	191	6	2
15-30 min	200	11	1	7	0	0	80	3	0	215	8	1
30-45 min	203	5	0	8	0	0	87	4	0	224	7	1
45-60 min	172	8	0	8	0	0	96	3	0	168	6	2
Total (60 min)	788	33	1	30	0	0	347	14	0	798	27	6

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 — Volumes observados no CEPEUSP por tipologia de veículo

CEPEUSP	MC1a			MC1b			MC1c			MC2a			MC2b			MC3a			MC3b		
	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR	VP	CO	SR
0-15 min	10	5	1	215	1	0	11	0	0	9	6	1	46	0	0	192	7	2	30	1	0
15-30 min	3	5	1	162	2	0	19	0	0	4	4	1	48	0	0	225	5	1	27	0	0
30-45 min	2	5	1	124	3	0	78	4	0	6	5	1	56	1	0	166	7	3	26	2	0
45-60 min	0	5	0	146	4	0	74	5	0	2	5	0	66	1	0	122	5	0	32	1	0
Total (60 min)	15	20	3	647	10	0	182	9	0	21	20	3	216	2	0	705	24	6	115	4	0

Fonte: Elaboração própria.

1. Primeiro passo

Inicialmente, foram combinados os valores de contagem de veículos da tipologia SR com os valores correspondentes a CO. A justificativa para essa simplificação reside na observação de um baixo número de veículos da tipologia SR nas contagens realizadas tanto no

P1 quanto no CEPEUSP, bem como na sua utilidade para facilitar a integração desses valores no modelo

A partir disso, procedeu-se com a agregação das contagens horárias de todos os movimentos, com exceção de **MC1c**, uma vez que a segunda metade da hora se refere ao cenário de fechamento. Para estimar o volume total de **MC1c** em uma hora, o valor obtido nos primeiros 30 minutos de contagem, resultando num volume de 60 VP e 0 CO/SR.

2. Segundo passo

Os ônibus circulares foram inseridos separadamente no modelo microscópico com o uso da ferramenta de *Public Transport Lines* (Linhas de Transporte Público em tradução livre), o que requer a subtração dos valores correspondentes às categorias CO/SR nas respectivas colunas, a fim de levar em conta a passagem dos ônibus circulares durante o período total de observação — em 08h e 09h. Para realizar essa tarefa, foi fundamental estimar a quantidade de ônibus circulares que operam em cada linha durante o período mencionado.

A SPTrans disponibiliza informações em seu site, incluindo os itinerários e os tempos estimados de viagem para as três linhas de ônibus circulares que atendem à CUASO. No entanto, para a integração dessas informações ao modelo foi necessário determinar o número de ônibus circulares que passam durante o período de observação. É importante destacar que a SPTrans oferece apenas os horários de partida desses ônibus a partir do terminal do P3 (para as linhas 8012 e 8022) e do metrô Butantã (para a linha 8032). Para suprir essa lacuna, foi necessário estimar o tempo de viagem que os ônibus circulares levam desde o ponto de partida até o ponto de entrada no modelo, adicionando esse tempo aos horários de partida. Para realizar tal estimativa, foi utilizado o serviço Google Maps para calcular o tempo de deslocamento dos ônibus circulares ao longo do trajeto entre o ponto de entrada no modelo e o ponto final, na estação de Metrô Butantã. O tempo estimado foi subtraído do tempo de viagem entre o Terminal do P3 e o Metrô (para as linhas 8012 e 8022) e do tempo de viagem do ônibus circular 8032 (ida e volta). Esse processo resultou no tempo total estimado que as três linhas necessitam para ingressar na área de estudo do modelo microscópico. Os valores correspondentes a esses tempos são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 — Estimativa de tempo de viagem do ponto de partida até a entrada no modelo

Linha	Tempo de viagem (ponto de partida até o metrô)	Tempo de viagem (entrada no modelo até o metrô)	Tempo estimado (ponto de partida até o circular entrar no modelo)
8012	32	6	26
8022	32	8	24
8032	35	6	29

Fonte: Elaboração própria. Com base em dados da SPTrans e Google Maps.

Na Tabela 20 apresenta-se os horários de partida dos ônibus circulares entre 07h e 09h a partir de seus respectivos pontos de partida, assim como seus respectivos *headways*.

Tabela 20 — Horários de partida e *headways* dos circulares

Linha	Faixa Horária (07h até 09h)												
8012	07:01	07:10	07:19	07:27	07:36	07:45	07:54	08:03	08:12	08:21	08:32	08:43	08:54
8022	07:11	07:21	07:31	07:41	07:50	07:58	08:13	08:21	08:29	08:36	08:44	08:50	08:54
8032	07:05	07:17	07:29	07:41	07:53	08:08	08:23	08:38	08:53				
Headway 8012	9	9	8	9	9	9	9	9	9	9	11	11	
Headway 8022	10	10	10	9	8	5	8	8	7	8	6	4	
Headway 8032	12	12	12	12	15	15	15	15					

Fonte: Adaptado de SPTrans.

Os horários de partida assinalados em cor laranja correspondem aos horários de partida que, quando somados ao tempo de viagem estimado desde o ponto de partida até o momento em que o ônibus circular adentra o modelo, situam-se dentro da faixa horária do período de contagem. A título de exemplo, considera-se o primeiro horário de partida da linha 8012, que é às 07h36; ao adicionar o tempo estimado de viagem, que neste caso é de 26 minutos, obtém-se o horário de entrada no modelo, que é às 08h02, situando-se, portanto, no intervalo de tempo das contagens. Os *headways* observados para os ônibus que ingressam na área de estudo durante o período de contagem estão indicados na cor verde

A Tabela 21 apresenta os valores utilizados para a modelagem das linhas dos ônibus circulares no modelo microscópico.

Tabela 21 — Valores de entrada para as linhas de ônibus circulares no modelo

Linha	horário de partida estimado	Headway médio (min)	Headway médio (s)	Início (min) VISSIM	Início (s) VISSIM
8012	08:02	9	540	2	120
8022	08:05	8	480	5	300
8032	08:10	14	840	10	600

Fonte: Elaboração própria.

3. Terceiro passo

Nesta etapa foram feitas as compatibilizações entre as contagens no P1 e no CEPEUSP a partir das equações de compatibilidade. É importante salientar que foram adotadas as seguintes premissas:

- Os volumes observados nos movimentos **M3** e **M4** foram mantidos, uma vez que se entende que estes movimentos são fundamentais para a formação de filas no P1 e que dados de comprimento de filas e tempos de viagem foram coletados na contagem feita no P1, gerando assim a necessidade de manter esses valores pela sua importância para o escopo do trabalho e para a calibração e validação do modelo;
- As proporções entre veículos das tipologias VP e CO/SR observadas para cada movimento foi mantida igual na compatibilização, entendendo que a contagem feita no CEPEUSP é representativa dos fluxos observados para esse dia da semana (quarta-feira) e para o período de observação (das 08h00 às 09:00);
- A proporção global entre veículos das tipologias VP e CO/SR não foi necessariamente mantida, para fins de simplificação.

A compatibilização iniciou-se pela Equação (1). A Tabela 22 apresenta os valores de volumes relacionados pela equação e a razão entre seus dois termos.

Tabela 22 — Volumes observados dos termos da Equação (1)

Equação 1	VP	CO/SR
M4	798	26
MC1c + MC2b + MC3a	981	25
Proporção	81,3%	104,0%

Fonte: Elaboração própria.

Assim, os volumes de VP e CO/SR obtidos na rotatória do CEPEUSP foram corrigidos proporcionalmente, ou seja, os volumes de VP tiveram uma redução de 18,7% enquanto os de CO/SR aumentaram em 4,0%. A Tabela 23 apresenta os volumes observados no P1 e no CEPEUSP após a correção feita pela Equação (1).

Tabela 23 — Volumes totais observados após correção pela Equação (1)

P1	M1		M2		M3		M4	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	788	34	30	0	347	3	798	26
CEPEUSP	MC1a		MC1b		MC1c			
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR		
Total (60 min)	12	24	526	10	49	0		
CEPEUSP	MC2a		MC2b		MC3a		MC3b	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	17	24	176	2	573	24	94	4

Fonte: Elaboração própria.

Dando continuidade à compatibilização pela Equação (2), a Tabela 24 apresenta os volumes relacionados pela equação e a razão de proporcionalidade.

Tabela 24 — Volumes observados dos termos da Equação (2)

Equação 2	VP	CO/SR
MC1	587	34
M1 + M2	818	34
Proporção	71,8%	100,0%

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez que os volumes dos movimentos do CEPEUSP já foram fixados, os volumes que devem ser corrigidos foram os obtidos na rotatória do P1 (movimentos M1 e M2), novamente de forma proporcional à sua tipologia. Ou seja, os volumes de VP no P1 tiveram uma redução de 28,2% enquanto os de CO/SR permaneceram os mesmos. A Tabela 25 apresenta os volumes observados no P1 e no CEPEUSP após a correção feita pela Equação (2).

Tabela 25 — Volumes observados após correção pela Equação (2)

P1	M1		M2		M3		M4	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	565	34	22	0	347	3	798	26
CEPEUSP	MC1a		MC1b		MC1c			
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR		
Total (60 min)	12	24	526	10	49	0		
CEPEUSP	MC2a		MC2b		MC3a		MC3b	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	17	24	176	2	573	24	94	4

Fonte: Elaboração própria.

Após esse processo, verificou-se que as duas equações foram atendidas após a correção. A Tabela 26 apresenta os volumes relacionados nas Equações (1) e (2).

Tabela 26 — Volumes dos termos das Equações (1) e (2) após correções

Equação 1	VP	CO/SR	Equação 2	VP	CO/SR
M4	798	26	MC1	587	34
MC1c + MC2b + MC3a	798	26	M1 + M2	587	34
Proporção	100,0%	100,0%	Proporção	100,0%	100,0%

Fonte: Elaboração própria.

Com os volumes corrigidos, foi possível obter os valores de entrada (*Vehicle inputs*) a serem inseridos no modelo conforme apresentado na Tabela 27. Os valores foram arredondados com o critério de que valores de dois algarismos foram arredondados para o múltiplo de cinco mais próximo, enquanto valores de três algarismos foram arredondados para o múltiplo de dez mais próximo.

Tabela 27 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico

Movimento	Fluxos de entrada finais		
	VP	CO	Total (arredondado)
M1	565	34	600
M2 + M3	369	3	380
MC2	193	26	220
MC3	667	28	700
Total	1794	91	1900

Fonte: Elaboração própria.

O modelo microscópico considera o valor total de entrada para veículos sem distinção de tipologia. No entanto, é possível estabelecer a quantidade de veículos de cada tipo a partir da criação de *Vehicle Compositions* (Composições de Veículos, em tradução livre). A Tabela 28 apresenta as composições criadas para cada fluxo de entrada estabelecido na Tabela 27.

Tabela 28 — Composições de veículos para o modelo microscópico

Movimento	Composição	
	VP	CO
M1	94%	6%
M2 + M3	99%	1%
MC2	88%	12%
MC3	96%	4%

Fonte: Elaboração própria.

No modelo, para que os demais movimentos fossem atendidos, foram criadas rotas com valores percentuais por movimento apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 — Escolha de rotas inseridas no modelo microscópico

Movimento	Escolha de rotas	
	VP	CO
MC1a	2%	71%
MC1b	90%	29%
MC1c	8%	0%
MC2a	9%	92%
MC2b	91%	8%
MC3a	86%	86%
MC3b	14%	14%
M2	6%	0%
M3	94%	100%

Fonte: Elaboração própria.

5 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

5.1 Modelo Básico

Preliminarmente, foi construído um micromodelo no VISSIM que simulou o tráfego na rotatória do P1 em um dia útil típico, no horário do pico da noite (18h até 20h). Para este

primeiro modelo, o enfoque dado foi de calibrar e validar um cenário base — onde não ocorre operação de interdição na rotatória — a partir dos dados obtidos em campo e dos resultados das simulações referentes ao deslocamento dos ônibus circulares 8012 e 8032 entre os pontos da Educação Física e da Academia de Polícia. Destaca-se que, tal qual ocorre na realidade, a faixa mais à direita das vias — com exceção da rotatória — foi definida como faixa exclusiva para ônibus.

As instruções para a montagem da rede foram obtidas principalmente da orientação dos professores nas atividades práticas da disciplina de Engenharia de Tráfego (PTR3531), oferecida no primeiro semestre de 2023 pela EPUSP, e o roteiro de construção de uma rede de simulação do laboratório 02 da mesma disciplina elaborada e revisada por Zipoli *et al* (2023).

Os parâmetros que fornecem as informações necessárias para a construção da rede de simulação foram definidos a partir de:

- Coleta de dados em campo dos fluxos veiculares, tempos semafóricos;
- Imagem de fundo, com escala, a partir da camada de imagens de satélite do Google Maps;
- Geometria da via, a partir de observações de campo, fotografias próprias e imagens do Google Street View e Google Maps;
- Itinerário das linhas circulares 8012 e 8032 com base nos dados disponibilizados pela SPTrans e PUSP-C;
- Parâmetros de comportamento do motorista na direção, áreas de redução de velocidade e velocidades desejadas com base no roteiro do laboratório 02.

No Apêndice F são elencados os parâmetros de simulação do modelo básico, com os valores utilizados, observações e fontes utilizadas para sua definição.

Para validar o modelo foram coletados dados de campo referentes aos tempos de viagem das linhas 8012 e 8032. A calibração foi feita principalmente com ajustes na geometria das vias, particularmente na baia de ônibus da Academia de Polícia, conforme pode ser visualizado na Figura 34, destacada na cor azul; e pelo ajuste nos tempos de paradas dos ônibus também nesse mesmo ponto, arbitrando que estes tempos seguem uma distribuição normal com 5,0 de média e 1,0 de desvio padrão, o que trouxe bons resultados. Como em nenhuma das observações em campo os ônibus circulares pararam no ponto da EF, admitiu-se no cenário base que isso também não ocorre.

Figura 34 — Rotatória modelada no VISSIM



Fonte: Elaboração própria, construído no VISSIM.

Na Tabela 30, podem ser visualizados os tempos de viagem dos ônibus circulares 8012 e 8032 resultantes da simulação em cada um dos dois trechos de medição após a calibração. Mostra-se ainda quantos ônibus foram observados nos intervalos.

Tabela 30 — Tempos de viagem obtidos da simulação

Intervalo de tempos (s)	Trecho de medição	Ônibus avaliados no intervalo	Tempo de viagem (s)
0-200	EF até Polícia	1	28,6
0-200	Polícia até P1	1	28,6
200-400	EF até Polícia	1	28,2
200-400	Polícia até P1	1	25,8
400-600	EF até Polícia	0	
400-600	Polícia até P1	0	
600-800	EF até Polícia	1	29,2
600-800	Polícia até P1	1	28,4
800-1000	EF até Polícia	1	35,6
800-1000	Polícia até P1	1	26,3
1000-1200	EF até Polícia	0	

1000-1200	Polícia até P1	0	
1200-1400	EF até Polícia	1	31,3
1200-1400	Polícia até P1	1	27,7
1400-1600	EF até Polícia	1	27,2
1400-1600	Polícia até P1	1	26,3
1600-1800	EF até Polícia	0	
1600-1800	Polícia até P1	0	
1800-2000	EF até Polícia	1	27,4
1800-2000	Polícia até P1	1	26,3
2000-2200	EF até Polícia	1	29,1
2000-2200	Polícia até P1	1	28,1
2200-2400	EF até Polícia	0	
2200-2400	Polícia até P1	0	
2400-2600	EF até Polícia	1	30,1
2400-2600	Polícia até P1	1	27,3
2600-2800	EF até Polícia	1	28,5
2600-2800	Polícia até P1	1	26,2
2800-3000	EF até Polícia	0	
2800-3000	Polícia até P1	0	
3000-3200	EF até Polícia	1	30,4
3000-3200	Polícia até P1	1	29,4
3200-3400	EF até Polícia	1	27,9
3200-3400	Polícia até P1	1	27,8
3400-3600	EF até Polícia	0	
3400-3600	Polícia até P1	0	

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 31 são comparadas as médias tempos de viagem reais aos obtidos da simulação depois da calibração.

Tabela 31 — Comparação entre médias dos tempos reais e resultantes da simulação

	Tempos reais (s)			Tempos resultantes da simulação (s)			Erro relativo		
	EF até Polícia	Polícia até P1	Ciclo Total	EF até Polícia	Polícia até P1	Ciclo Total	EF até Polícia	Polícia até P1	Ciclo Total
Média	28,6	29,3	57,9	29,4	27,3	56,8	2,7%	7,3%	1,9%

Fonte: Autoria própria.

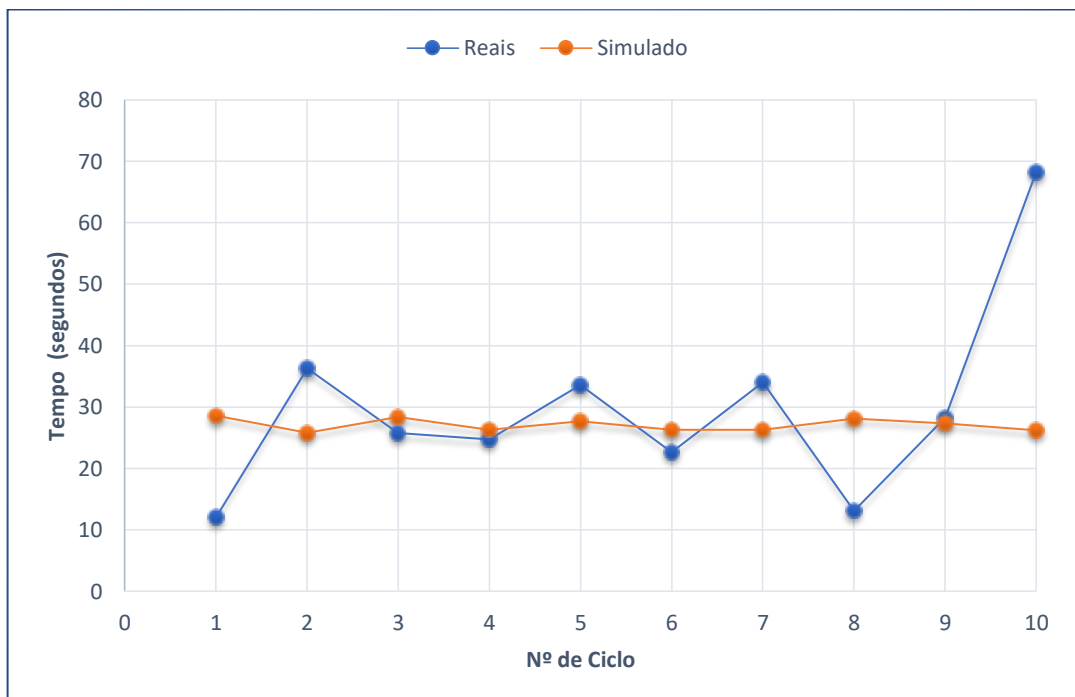
No Gráfico 1 e Gráfico 2, são comparados, respectivamente, os tempos de viagem reais e simulados para os trechos de EF até Polícia e Polícia até P1, considerando os dez ciclos medidos em campo e os dez primeiros obtidos da simulação no VISSIM.

Gráfico 1 — Tempos de Viagem da EF até Polícia



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 2 — Tempos de Viagem da Polícia até P1



Fonte: Elaboração própria.

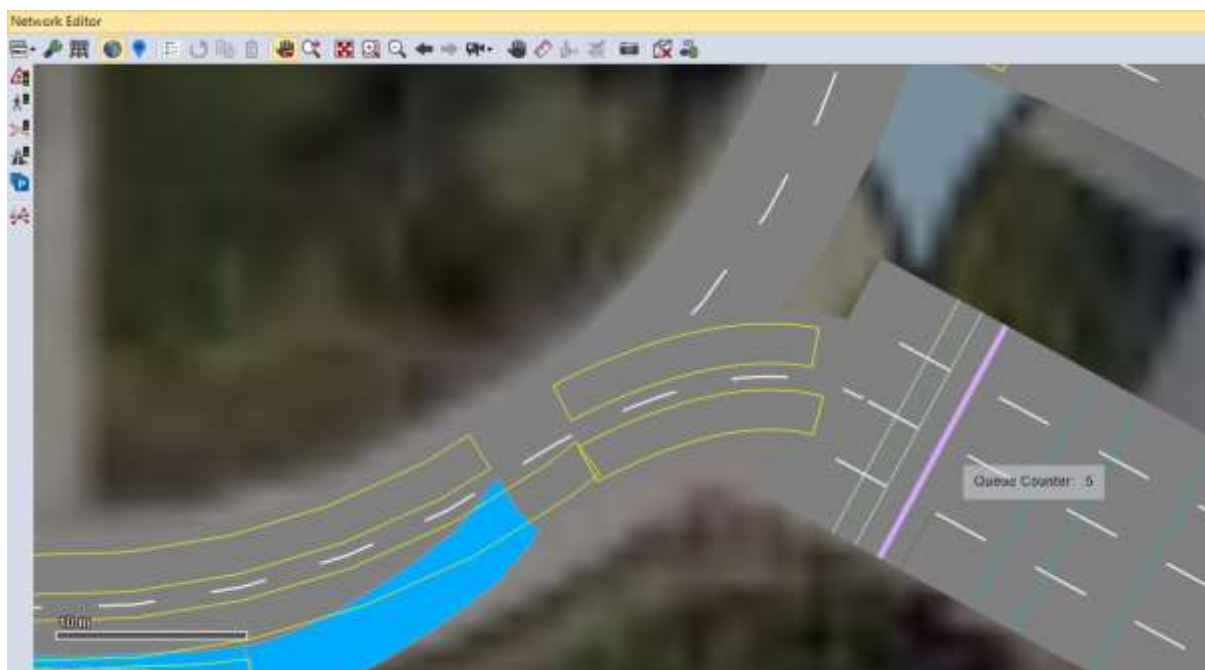
Conforme esperado, a dispersão é maior para os tempos de viagens reais. Contudo, os valores médios são satisfatoriamente próximos, permitindo que o modelo básico pudesse ser usado para a análise de diferentes cenários.

5.2 Modelo Expandido

5.2.1 Calibração a partir dos dados de filas no P1

Com o modelo construído e expandido a partir daquele feito para o período noturno, e seguindo as mesmas diretrizes, foram inseridos os dados de entrada. O principal parâmetro de calibração e validação adotado foi o de comprimento de filas que, no VISSIM pode ser medido a partir da colocação de *Queue Counters* (contadores de fila, em tradução livre) nas seções de interesse. Pode-se observar na Figura 35 o posicionamento do *Queue Counter* no modelo (destacado na cor rosa), que corresponde aproximadamente à altura da faixa de pedestre.

Figura 35 — Posicionamento da seção de contagem de filas no modelo

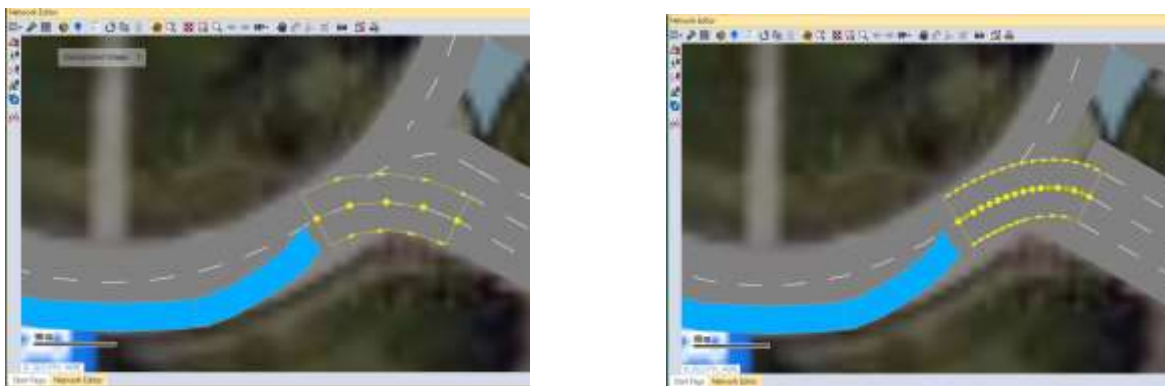


Fonte: Modelo no VISSIM.

Nos primeiros testes da simulação — ainda sem mudar nenhum parâmetro para fins de calibração — foi constatado que não se formavam filas antes da faixa de pedestre, o que fora observado na realidade. A mudança feita no modelo para solucionar esse problema consistiu numa mudança na geometria dos links. Antes da alteração, as duas faixas de saída da rotatória davam acesso às faixas 1 e 2 da Avenida Afrânio Peixoto; depois da mudança, os veículos advindos da rotatória passaram a acessar a Avenida a partir das faixas 2 e 3, o que corresponde

melhor à realidade. Na Figura 36 são apresentadas as configurações dos links antes e depois da alteração. O conector alterado foi destacado no próprio modelo, em cor amarela.

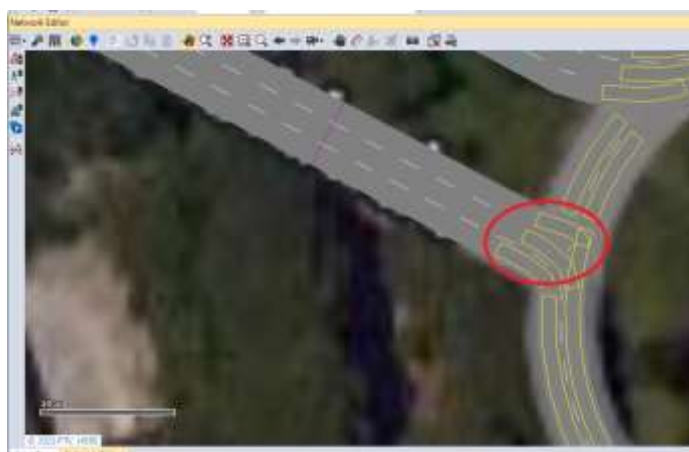
Figura 36 — Conector entre a rotatória e a Av. Afrânio Peixoto antes (à direita) e depois (à esquerda) da alteração



Fonte: Modelo no VISSIM.

Seguindo o processo de refinamento do modelo, foram identificados três conectores cuja diferença de geometria em relação à realidade poderia acarretar resultados incoerentes — que podem ser visualizados na Figura 37 e Figura 38, com destaque em vermelho. Para todos esses casos, foi julgado que o afunilamento decorrente da falta de um conector que ligasse a faixa 3 das avenidas às rotatórias acessadas era um problema a ser corrigido. É importante destacar que, para o conector de acesso da Av. da Universidade para a rotatória do P1, o conector já existia. Contudo, não era utilizado pelos veículos devido à forma como foi configurada a rota dos veículos correspondentes ao movimento **M4**.

Figura 37 — Conector de acesso da Av. da Universidade à rotatória do P1



Fonte: Modelo no VISSIM.

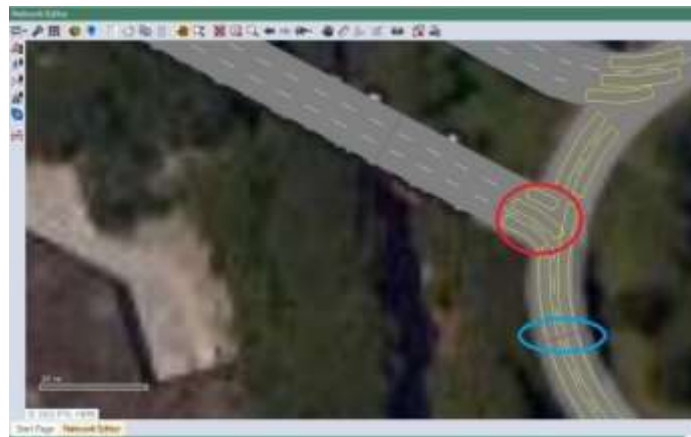
Figura 38 — Conectores de acesso da Av. da Universidade e Av. Lineu Prestes à rotatória do CEPEUSP



Fonte: Modelo no VISSIM.

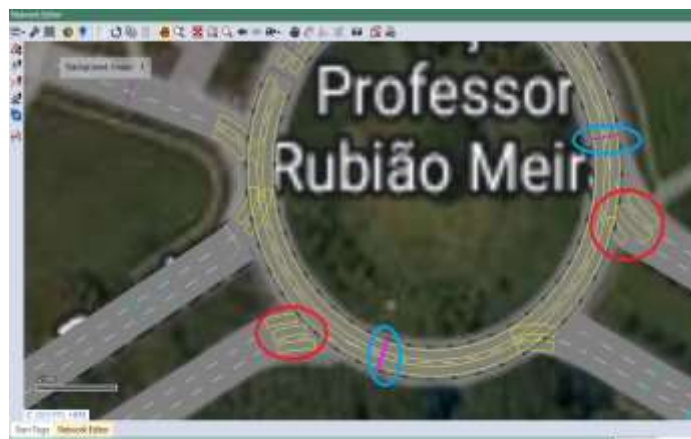
Além da inserção dos conectores adicionais na rotatória do CEPEUSP, foi necessário, para todos os casos, mover as seções identificadas em magenta de *Static Vehicle Routing Decisions* (Decisões estáticas de tomada de rota pelos veículos, em tradução livre), que são utilizadas para definir o percentual do fluxo de veículos que segue para cada uma das rotas disponíveis. Essa modificação advém da necessidade de fazer com que os veículos utilizem o novo conector, uma vez que à jusante da seção de tomada de decisão não poderiam acessar links ou conectores diferentes que compartilhassem a mesma seção transversal. Também foi utilizada a ferramenta de geração de *splines* nos conectores de modo a suavizar as curvas. O resultado das alterações pode ser visualizado na Figura 39 e Figura 40, com destaque em vermelho para os conectores alterados, e em azul para as seções de tomada de decisão reposicionadas.

Figura 39 — Conector e seção de tomada de decisão de rotas alterados no P1



Fonte: Modelo no VISSIM.

Figura 40 — Conectores e seções de tomada de decisão de rotas alterados no CEPEUSP



Fonte: Modelo no VISSIM.

Para a coleta dos dados das simulações foram considerados intervalos de medição de filas de 120 segundos de modo a sincronizar com o tempo de ciclo do semáforo da Avenida Afrânio Peixoto. Foi fundamental adotar um intervalo igual ao do semáforo porque buscou-se tirar fotografias das maiores filas observadas na rotatória em momentos aleatórios pouco antes ou depois do início do verde do semáforo. Os resultados da simulação são apresentados na Tabela 32. A simulação foi feita para um período de 1 hora (3600 segundos), mas os 720 segundos iniciais foram desconsiderados, pois admitiu-se que o modelo ainda não havia atingido sua estabilidade.

Tabela 32 — Resultados iniciais da simulação para indicadores de filas

Intervalo de tempo (s)	Comprimento de fila médio (m)	Comprimento de fila máximo (m)	Veículos parados em fila
720-840	0,0	0,0	0,0
840-960	0,0	0,0	0,0
960-1080	0,0	0,0	0,0
1080-1200	2,4	22,0	5,0
1200-1320	0,0	0,0	0,0
1320-1440	1,8	23,6	8,0
1440-1560	10,0	52,1	17,0
1560-1680	17,1	63,3	18,0
1680-1800	17,5	61,2	16,0
1800-1920	24,2	85,8	28,0
1920-2040	22,8	81,4	21,0
2040-2160	16,0	64,6	17,0
2160-2280	7,8	45,8	11,0
2280-2400	10,2	60,3	17,0
2400-2520	9,2	41,9	18,0
2520-2640	30,2	99,5	27,0
2640-2760	10,9	55,4	8,0
2760-2880	1,9	22,3	5,0
2880-3000	1,9	26,8	10,0
3000-3120	9,0	37,2	17,0
3120-3240	15,1	68,8	19,0
3240-3360	8,5	53,4	6,0
3360-3480	2,1	16,5	3,0
3480-3600	2,3	22,7	5,0

Fonte: Elaboração própria, com dados da simulação no VISSIM.

A média do comprimento de fila máxima resultante da primeira iteração foi de 58,7 m, distante do valor real usado para comparação, de 36,2 m, sendo o erro relativo de 38%. Portanto, fez-se necessário a mudança de outros parâmetros do modelo para que pudesse ser validado.

A primeira tentativa de calibração veio a partir da mudança de *Driving Behavior* na faixa 3 do link da Av. Afrânio Peixoto (sentido Butantã) de *Cycle-Track* — que foi adotado em todos os outros links até então — para *Freeway*. Essa alteração teve como objetivo aumentar a fluidez dos veículos na mudança de faixas. Na Figura 41 mostra-se a janela de configuração das propriedades do link alterado.

Figura 41 — Configuração do link da Av. Afrânio Peixoto (sentido Butantã) após alteração

Link

No.: 2 Name: Av. Afrânio Peixoto

Num. of lanes: 4 Link behavior type: 5: Cycle-Track (free overtaking)

Link length: 86.403 m Display type: 1: Road gray

Level: 1: Base

Lanes Meso Pedestrian Area Display Dyn. Assignment Others

Count	Index	Width	LinkBehavType	Blocked...	Display...	Marking...	NoLnCh...	NoLnCh...	NoLnCh...	NoLnCh...
1	1	3.50	5: Cycle-Track (free overt...	10,20,4...		1: Default	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2	3.50	5: Cycle-Track (free overt...			1: Default	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3	3	3.50	3: Freeway (free lane sele...			1: Default	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4	4	3.50	5: Cycle-Track (free overt...			1: Default	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

☐ Has overtaking lane

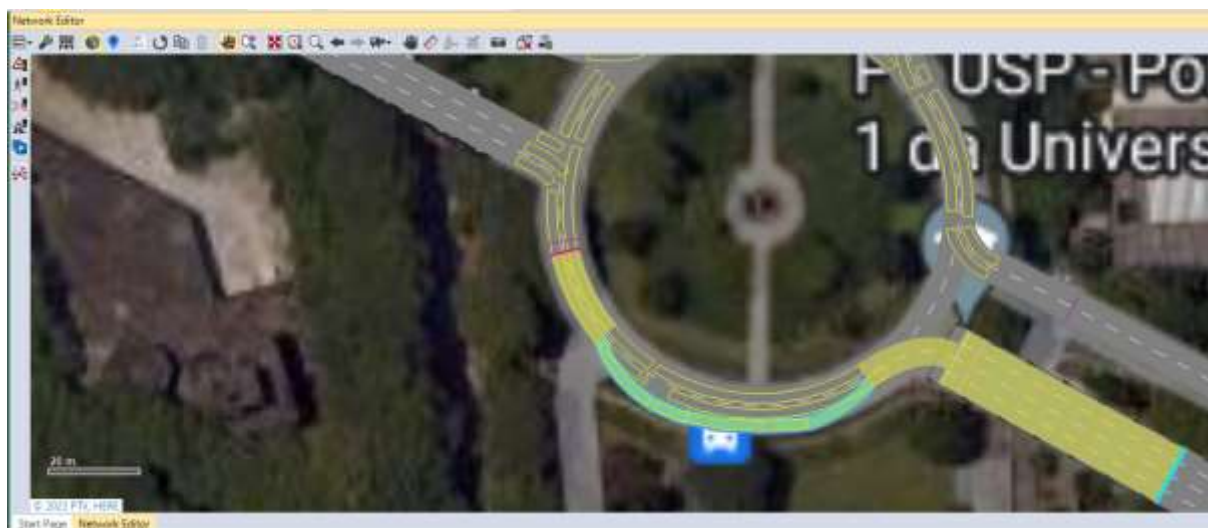
OK Cancel

Fonte: Modelo no VISSIM.

A média do comprimento de fila máxima resultante da primeira mudança foi de 46,9 m, ainda distante do valor real estimado de 36,2 m, sendo o erro relativo de 23%.

Na segunda tentativa de calibração, decidiu-se pela criação de uma nova seção de tomada de decisão de rota para os ônibus que compõem o movimento M4, conforme destacado na Figura 42. Essa mudança veio a partir da constatação visual de que a faixa exclusiva da Av. Afrânio Peixoto estava sendo subutilizada pelos ônibus nos períodos de fechamento do semáforo. Como esses ônibus são, em sua maior parte, pertencentes às linhas da SPTrans ou da EMTU, e logo tendem a passar pelo ponto da Polícia. Admitiu-se a hipótese de que mais ônibus passariam a ocupar a faixa exclusiva e consequentemente o tráfego ficaria mais livre, com filas menores.

Figura 42 — Nova seção de tomada de decisão de rota para os ônibus do movimento M4



Fonte: Modelo no VISSIM.

Na Tabela 33 comparam-se os valores de média aritmética e desvio padrão do comprimento de fila máximo entre o real e o simulado após a segunda alteração, com seus respectivos erros relativos. As tabelas contendo os resultados da simulação nas duas tentativas de calibração podem ser visualizadas no Apêndice G.

Tabela 33 — Parâmetros estatísticos dos comprimentos de fila na realidade e na simulação

	Real	Simulação	Erro relativo
Média (s)	36,2	35,1	3%
Desvio Padrão Amostral (s)	35,0	27,1	29%

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados do modelo no VISSIM

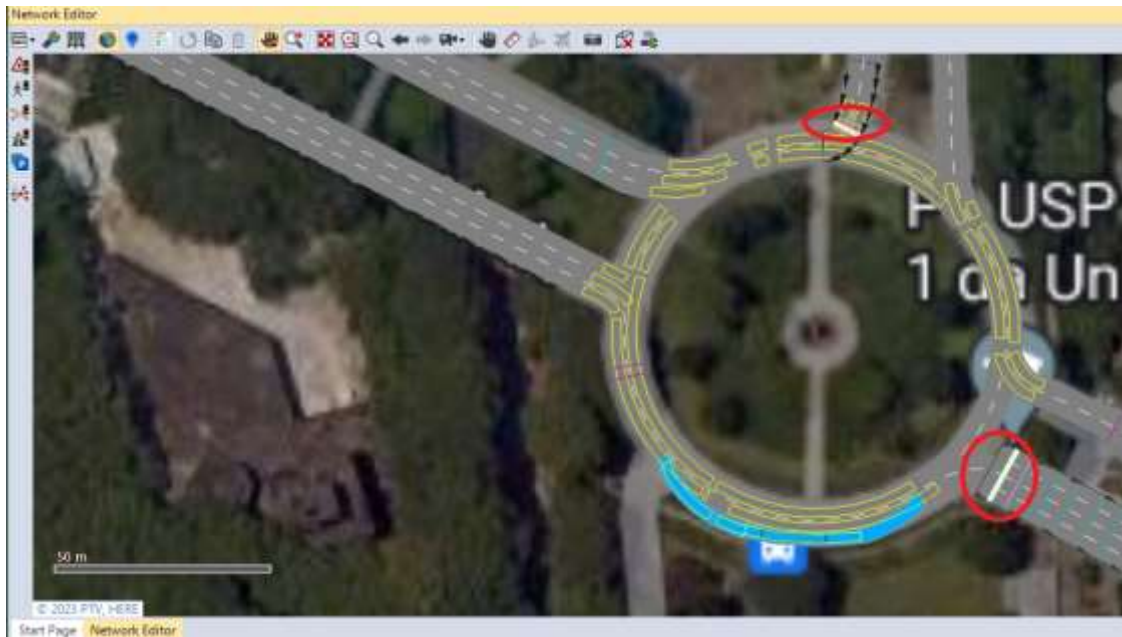
Como o erro relativo da média foi de 3% — considerado aceitável para limite de até 10% — admite-se que o modelo representou adequadamente a realidade quanto à formação de filas; que foi o principal indicador usado para fins de validação.

5.2.2 Calibração a partir de tempos de viagem no P1

Assim como no modelo preliminar, também foram considerados os tempos de viagem dos ônibus circulares na rotatória do P1 para a validação. No ambiente do VISSIM foram posicionadas seção de *Vehicle Travel Time Results* (Resultados de Tempos de Viagem de Veículos, em tradução livre) na entrada da rotatória a partir da Av. Prof. Mello Moraes, e outra

na altura da faixa de pedestre na saída do P1. As seções são destacadas em vermelho na Figura 43.

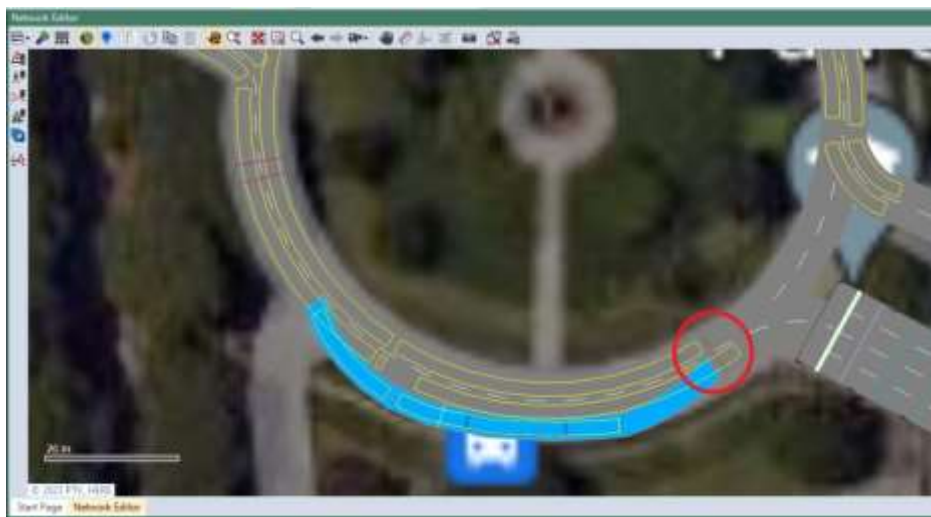
Figura 43 — Seções de medição de tempos de viagem para o P1 no VISSIM



Fonte: Modelo no VISSIM

Além do *Vehicle Travel Time Results*, foram posicionadas seções de *Data Collections Results* (Resultados da coleta de dados, em tradução livre) para a obtenção dos indicadores de velocidade instantânea e tempos de atraso em fila. A seção é destacada em vermelho na Figura 44.

Figura 44 — Seção de coleta de dados no VISSIM



Fonte: Modelo no Vissim.

Na Tabela 34 foram consolidados os resultados de veículos contados no intervalo: velocidade e atraso em fila obtidos do *Data Collections Results*; e tempos de viagem obtidos do *Vehicle Travel Time Results*. Contou-se apenas os ônibus que representam o Circular 8012, no cenário em que este não para no ponto da Polícia. Foram utilizados intervalos de medição de 200,0 segundos. Para fins de calibração e validação só foram considerados os valores marcados na cor vermelha, pois estes representam situações em que o tempo de deslocamento do ônibus não foi influenciado por formações de fila na rotatória. Os critérios para definir quais veículos percorreram o caminho estudado em fluxo livre foram de descartar os casos em que a velocidade medida do ônibus foi menor do que 19,0 km/h ou quando o atraso em fila foi maior do que 6,0 segundos. A observação da simulação em tempo real também corroborou com a aplicação desses critérios.

Tabela 34 — Resultados de velocidade, atraso em fila e tempos de viagem na simulação, para o Circular 1

Intervalo de tempo (s)	Veículos contados	Velocidade (km/h)	Atraso em fila (s)	Tempo de viagem (s)
0-200	1	19,4	5,8	30,9
200-400	0			
400-600	0			
600-800	1	17,4	5,7	37,0
800-1000	0			
1000-1200	0			
1200-1400	1	19,0	5,6	32,5
1400-1600	0			
1600-1800	0			
1800-2000	1	20,4	11,9	44,7
2000-2200	0			
2200-2400	1	19,5	5,7	32,7
2400-2600	0			
2600-2800	0			
2800-3000	1	18,8	5,6	32,9
3000-3200	0			
3200-3400	0			
3400-3600	1	20,4	5,5	31,4

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados do modelo no VISSIM.

Os valores obtidos da simulação podem ser comparados com aqueles calculados a partir da gravação. Na Tabela 35 apresenta-se a comparação entre a realidade e a simulação.

Tabela 35 — Média dos tempos de viagem na realidade e na simulação

	Real	Simulação	Erro relativo
Média (s)	31,0	31,9	3%

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados do modelo no VISSIM

Com erro relativo de apenas 3% na média dos tempos de viagem, admite-se que o modelo representa adequadamente o deslocamento dos ônibus circulares na rotatória do P1.

5.2.3 Calibração a partir de tempos de viagem no CEPEUSP

Para a rotatória do CEPEUSP considerou-se apenas os tempos de deslocamento dos automóveis. A simulação, assim como observado na realidade, resultou em condição de tráfego de fluxo livre. Na Figura 45 destaca-se em vermelho as seções consideradas para a coleta de tempos de viagem.

Figura 45 — Seções de medição de tempos de viagem para o CEPEUSP no VISSIM



Fonte: Modelo no VISSIM.

Os resultados da simulação são mostrados na Tabela 36, enquanto a comparação da média observada na realidade e na simulação é apresentada na Tabela 37.

Tabela 36 — Resultados da simulação para tempos de viagem de automóveis no CEPEUSP

Intervalos de tempo (s)	Tempos de viagem (s)
0-200	10,74
200-400	11,33
400-600	11,71
600-800	10,93
800-1000	11,36
1000-1200	11,55
1200-1400	11,1
1400-1600	11,29
1600-1800	11,45
1800-2000	13,11
2000-2200	11,31
2200-2400	11,29
2400-2600	11,65
2600-2800	11,34
2800-3000	11,18
3000-3200	13,71
3200-3400	11,34
3400-3600	11,26

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados do modelo no VISSIM.

Tabela 37 — Média dos tempos de viagem de automóveis na rotatória do CEPEUSP na simulação

	Real	Simulação	Erro relativo
Média (s)	12,3	11,5	7%

Fonte: Elaboração própria, com base nos resultados do modelo no VISSIM.

Com um erro relativo de 7%, considera-se que o deslocamento de veículos na rotatória do CEPEUSP do modelo representa adequadamente a situação real.

6 RESULTADOS

6.1 Modelo Básico

6.1.1 Cenário base

O cenário base se refere à condição de tráfego que ocorre na região do P1 em dias úteis no período do pico da noite entre 18h e 20h. O objetivo deste cenário foi servir de apoio à calibração e validação do micromodelo na área de estudo. A Figura 46 ilustra o cenário de simulação do cenário base em que não há o fechamento parcial da rotatória.

Figura 46 — Rotatória com acesso livre



Fonte: Elaboração própria, com base no modelo do VISSIM.

Os resultados obtidos na simulação do cenário base, após devidas calibrações, se mostraram próximos da realidade observada em campo. Isso foi possível a partir da modelagem com dados de tráfego coletados na área de estudo e da própria construção do modelo a partir de constatações visuais da geometria das vias e dos parâmetros de comportamento humano usados também nos laboratórios da disciplina de PTR3531.

A Tabela 38 mostra os resultados referentes à quantidade de veículos, tempo de espera em filas e velocidade média para todos os veículos ou apenas ônibus circulares. No Apêndice H apresenta-se o posicionamento das seções de coleta de resultados utilizados na simulação.

Tabela 38 — Resultados da simulação do cenário base

Intervalo de tempos (s)	Seção de coleta (faixa 1)	Veículos avaliados	Ônibus avaliados	Esperas em fila para todos os veículos (s)	Esperas em fila para os ônibus (s)	Velocidade média para todos os veículos (km/h)	Velocidade média para os ônibus (km/h)
0-200	EF	6	1	0,0	0,0	47,7	28,1
0-200	Polícia	7	0	0,0		42,7	
0-200	P1	3	1	1,9	5,7	24,4	24,4
200-400	EF	5	1	0,0	0,0	48,2	27,2
200-400	Polícia	6	0	0,0		43,4	
200-400	P1	3	1	1,8	5,4	32,0	24,3
400-600	EF	7	0	0,0		54,3	
400-600	Polícia	10	0	0,2		40,7	
400-600	P1	9	0	0,3		28,9	
600-800	EF	8	1	0,0	0,0	47,3	26,4
600-800	Polícia	19	0	0,2		43,9	
600-800	P1	10	1	1,6	5,6	22,8	23,9
800-1000	EF	9	1	0,0	0,0	48,5	23,3
800-1000	Polícia	11	0	0,4		42,0	
800-1000	P1	7	1	1,9	9,7	26,9	24,1
1000-1200	EF	12	0	0,0		50,3	
1000-1200	Polícia	17	0	0,0		43,8	
1000-1200	P1	6	0	0,0		27,5	
1200-1400	EF	12	1	0,0	0,0	45,6	25,3
1200-1400	Polícia	15	0	0,2		38,3	
1200-1400	P1	15	1	3,9	8,3	22,8	20,0
1400-1600	EF	9	1	0,0	0,0	48,0	28,9
1400-1600	Polícia	11	0	0,0		44,4	
1400-1600	P1	6	1	0,9	5,3	28,2	25,0
1600-1800	EF	13	0	0,0		50,8	
1600-1800	Polícia	15	0	0,2		41,6	
1600-1800	P1	8	0	0,4		29,0	
1800-2000	EF	5	1	0,0	0,0	48,3	28,3
1800-2000	Polícia	11	0	0,5		42,4	
1800-2000	P1	8	1	0,7	5,4	29,0	24,3
2000-2200	EF	7	1	0,0	0,0	50,2	25,8
2000-2200	Polícia	10	0	0,0		41,4	
2000-2200	P1	5	1	1,0	5,1	28,4	23,9
2200-2400	EF	7	0	0,0		53,6	
2200-2400	Polícia	9	0	0,0		44,3	
2200-2400	P1	5	0	0,0		31,0	
2400-2600	EF	10	1	0,0	0,0	46,7	26,1
2400-2600	Polícia	13	0	0,1		43,0	
2400-2600	P1	5	1	1,5	7,5	28,3	23,8
2600-2800	EF	10	1	0,0	0,0	49,7	24,7
2600-2800	Polícia	18	0	0,2		38,6	
2600-2800	P1	8	1	1,0	5,3	24,4	23,8
2800-3000	EF	11	0	0,0		49,9	
2800-3000	Polícia	12	0	0,7		44,0	
2800-3000	P1	6	0	0,0		28,7	
3000-3200	EF	11	1	0,0	0,0	48,2	24,2
3000-3200	Polícia	13	0	0,0		41,9	
3000-3200	P1	7	1	0,8	5,5	27,9	24,5
3200-3400	EF	10	1	0,0	0,0	47,8	28,0
3200-3400	Polícia	13	0	0,0		45,0	
3200-3400	P1	6	1	1,4	8,2	28,9	24,7

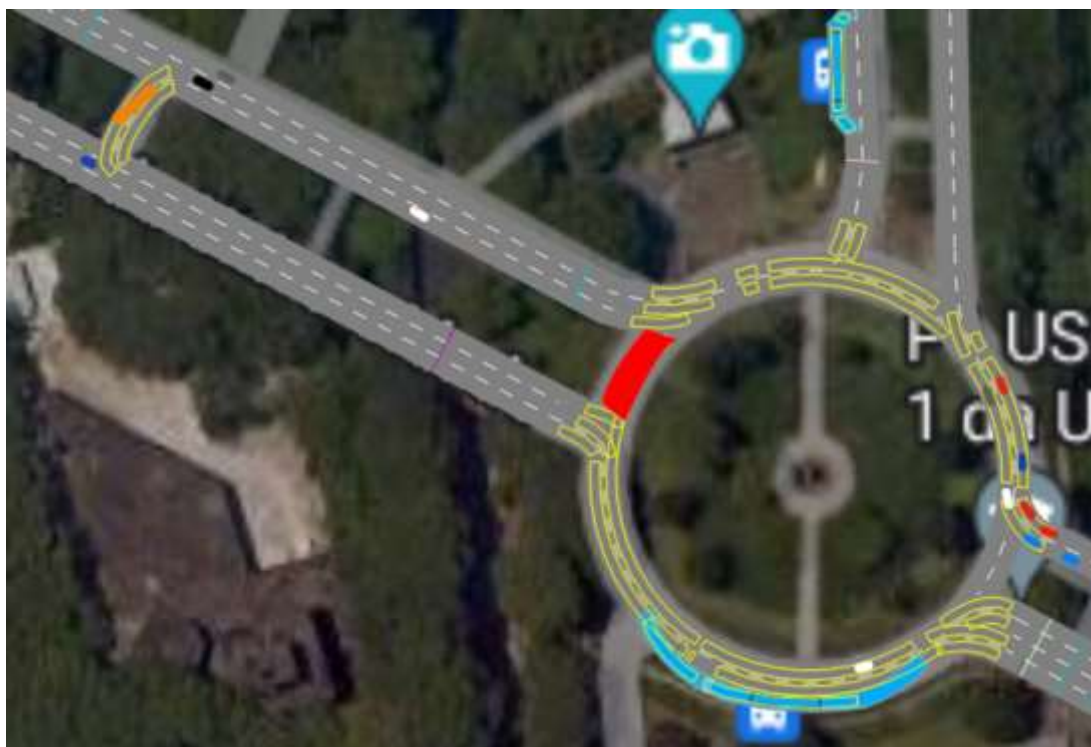
3400-3600	EF	10	0	0,0		50,2	
3400-3600	Polícia	15	0	0,2		40,4	
3400-3600	P1	9	0	0,3		26,1	

Fonte: Elaboração própria.

6.1.2 Cenário com operação especial

O cenário com operação especial se caracteriza pelo bloqueio ao acesso da rotatória pela Guarda Universitária que, neste estudo, permite o Movimento 3 de acesso à rotatória a partir da Av. Prof. Mello Moraes e saída pela Av. Afrânio Peixoto. Dessa forma, as linhas circulares 8012 e 8032 devem fazer o retorno em acesso próximo à Travessa 11 – Butantã, percorrendo assim um trajeto maior até sair da CUASO pelo P1. É importante observar que essa operação ocorre geralmente quando há uma grande formação de filas na região de estudo devido a um aumento substancial de volumes no horário de pico, intensificando os conflitos entre **M3** e **M4**; e **M3** e **M1**. Neste caso crítico, entende-se que com o bloqueio desse acesso e a consequente eliminação do **M3** — e o seu conflito com os outros movimentos —, melhoraria as condições de tráfego na área de estudo especialmente com relação ao fluxo do **M4** diminuindo os tempos de viagem para todos os veículos presentes nesse trecho. Destaca-se em vermelho na Figura 47 o acesso bloqueado no transcorrer da operação especial:

Figura 47 — Rotatória com acesso bloqueado em destaque (vermelho)



Fonte: Elaboração própria, com base no modelo do VISSIM.

Neste cenário os ônibus circulares assim como todos os outros veículos pertencentes ao **M3** são impedidos de utilizar esse acesso, e, portanto, devem fazer o retorno pela Avenida da Universidade próximo à Travessa 11 para que possam deixar a CUASO. Conforme esperado, os tempos de viagem entre os pontos da EF e Polícia crescem consideravelmente. A Tabela 39 mostra os tempos de viagem que foram obtidos para os ônibus circulares em ambos os trechos de medição.

Tabela 39 — Tempos de viagem obtidos da simulação para o cenário especial

Intervalo de tempos (s)	Trecho de medição	Ônibus avaliados	Tempo de viagem (s)
0-200	EF até Polícia	1	81,6
0-200	Polícia até P1	1	23,1
200-400	EF até Polícia	1	81,1
200-400	Polícia até P1	1	35,1
400-600	EF até Polícia	0	
400-600	Polícia até P1	0	
600-800	EF até Polícia	1	84,7
600-800	Polícia até P1	1	23,3
800-1000	EF até Polícia	1	88,1
800-1000	Polícia até P1	1	37,8
1000-1200	EF até Polícia	0	
1000-1200	Polícia até P1	0	
1200-1400	EF até Polícia	1	86,1
1200-1400	Polícia até P1	1	25,3
1400-1600	EF até Polícia	1	79,9
1400-1600	Polícia até P1	1	37,3
1600-1800	EF até Polícia	0	
1600-1800	Polícia até P1	0	
1800-2000	EF até Polícia	1	79,3
1800-2000	Polícia até P1	1	22,2
2000-2200	EF até Polícia	1	83,3
2000-2200	Polícia até P1	1	37,3
2200-2400	EF até Polícia	0	
2200-2400	Polícia até P1	0	
2400-2600	EF até Polícia	1	85,4
2400-2600	Polícia até P1	1	24,0
2600-2800	EF até Polícia	1	81,7
2600-2800	Polícia até P1	1	39,1
2800-3000	EF até Polícia	0	
2800-3000	Polícia até P1	0	
3000-3200	EF até Polícia	1	84,4
3000-3200	Polícia até P1	1	23,3
3200-3400	EF até Polícia	1	82,8
3200-3400	Polícia até P1	1	35,1
3400-3600	EF até Polícia	0	
3400-3600	Polícia até P1	0	

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 40 são mostrados os valores médios e o desvio padrão amostral para os tempos de viagens obtidos pela simulação do modelo no cenário com operação especial.

Tabela 40 — Médias e desvio padrão amostral para os tempos do cenário especial

	Tempos resultantes da simulação (s)		
	EF até Polícia	Polícia até P1	Ciclo Total
Média	83,2	30,2	113,5
Desvio Padrão Amostral	2,6	7,1	4,9

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados referentes às medições de quantidade de veículos, tempo de espera em filas e velocidade média para todos os veículos ou apenas ônibus circulares são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 — Dados coletados para o cenário especial

Intervalo de tempos (s)	Seção de coleta (faixa 1)	Veículos avaliados	Ônibus avaliados	Esperas em fila para todos os veículos (s)	Esperas em fila para os ônibus (s)	Velocidade média para todos os veículos (km/h)	Velocidade média para os ônibus (km/h)
0-200	EF	10	1	0,0	0,0	48,3	28,9
0-200	Polícia	2	0	0,0		33,3	
0-200	P1	3	1	3,4	10,2	24,3	24,3
200-400	EF	6	1	0,0	0,0	49,9	26,9
200-400	Polícia	1	0	0,0		34,2	
200-400	P1	1	1	13,4	13,4	24,3	24,3
400-600	EF	9	0	0,0		51,9	
400-600	Polícia	4	0	1,2		32,7	
400-600	P1	5	0	0,9		24,7	
600-800	EF	16	1	0,0	0,0	49,7	25,9
600-800	Polícia	4	0	1,5		39,0	
600-800	P1	4	1	5,3	21,1	24,4	22,7
800-1000	EF	14	1	0,0	0,0	50,8	24,3
800-1000	Polícia	3	0	1,3		31,3	
800-1000	P1	4	1	6,6	22,6	26,0	24,0
1000-1200	EF	15	0	0,0		52,0	
1000-1200	Polícia	3	0	0,0		38,4	
1000-1200	P1	1	0	0,0		24,1	
1200-1400	EF	13	1	0,0	0,0	49,0	23,1
1200-1400	Polícia	6	0	18,4		35,4	
1200-1400	P1	6	1	14,8	26,8	25,3	22,8
1400-1600	EF	10	1	0,0	0,0	51,1	27,4
1400-1600	Polícia	2	0	0,0		34,5	
1400-1600	P1	5	1	5,0	9,6	28,3	24,9
1600-1800	EF	17	0	0,0		51,8	
1600-1800	Polícia	3	0	0,9		37,0	
1600-1800	P1	3	0	0,9		27,8	
1800-2000	EF	5	1	0,0	0,0	47,8	28,1
1800-2000	Polícia	3	0	0,0		35,0	
1800-2000	P1	4	1	2,4	9,7	27,5	24,2
2000-2200	EF	11	1	0,0	0,0	50,9	25,8
2000-2200	Polícia	2	0	0,0		33,8	
2000-2200	P1	3	1	4,6	13,7	24,4	23,8
2200-2400	EF	10	0	0,0		53,6	
2200-2400	Polícia	1	0	0,0		32,4	

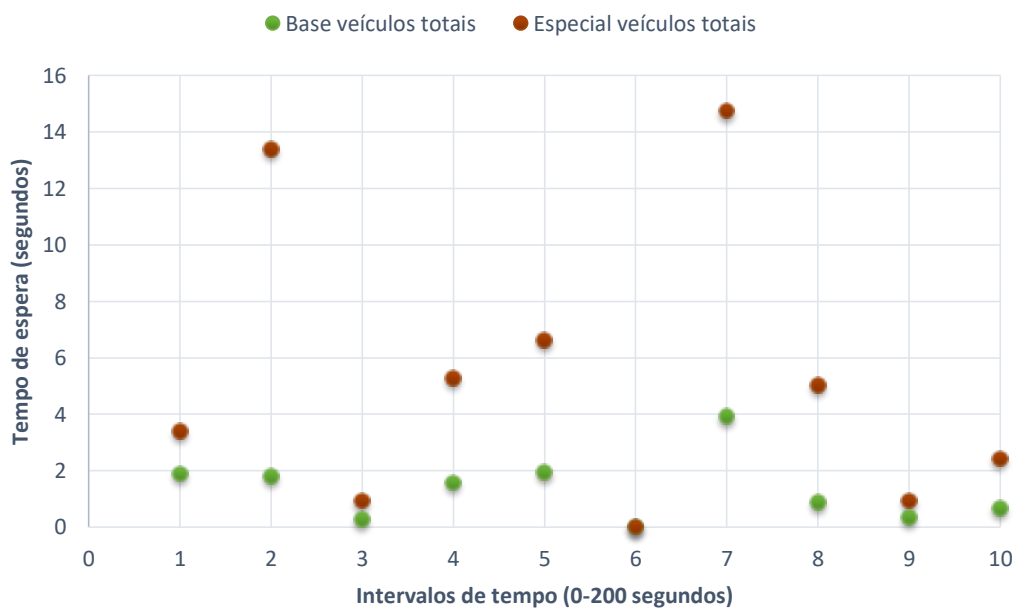
2200-2400	P1	1	0	0,0		22,9	
2400-2600	EF	12	1	0,0	0,0	46,7	25,6
2400-2600	Polícia	2	0	0,0		32,9	
2400-2600	P1	3	1	4,9	14,6	22,1	18,4
2600-2800	EF	13	1	0,0	0,0	50,1	24,6
2600-2800	Polícia	6	0	1,0		34,6	
2600-2800	P1	6	1	2,8	13,7	25,7	23,8
2800-3000	EF	12	0	0,0		51,6	
2800-3000	Polícia	2	0	0,0		35,6	
2800-3000	P1	3	0	0,0		27,2	
3000-3200	EF	13	1	0,0	0,0	49,0	24,2
3000-3200	Polícia	5	0	0,7		36,1	
3000-3200	P1	5	1	3,5	14,1	25,0	23,3
3200-3400	EF	15	1	0,0	0,0	48,9	27,1
3200-3400	Polícia	0	0				
3200-3400	P1	2	1	7,4	9,7	27,9	24,7
3400-3600	EF	14	0	0,0		51,0	
3400-3600	Polícia	4	0	0,7		32,7	
3400-3600	P1	3	0	0,9		23,8	

Fonte: Elaboração própria.

6.1.3 Comparação entre cenário base e de operação especial

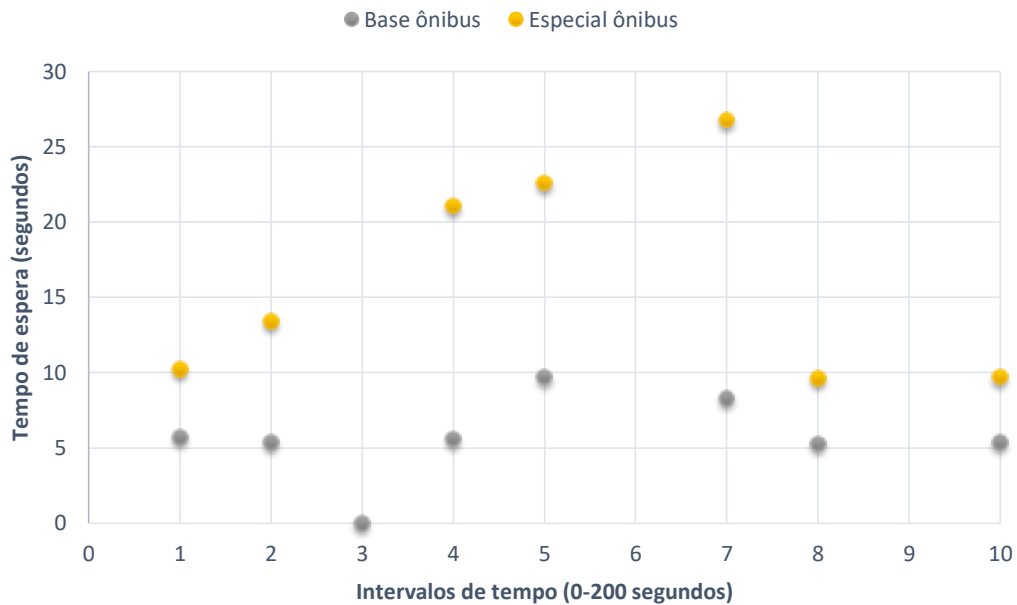
No Gráfico 3 e Gráfico 4 os cenários são comparados considerando as métricas de tempo de espera em fila para veículos totais e apenas ônibus, respectivamente, na seção de medição do P1.

Gráfico 3 — Comparação de tempos de espera em fila dos veículos totais na seção do P1



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 4 — Comparação de tempos de espera em fila dos ônibus na seção do P1



Fonte: Elaboração própria.

6.2 Modelo Expandido

6.2.1 Cenário Base

O Cenário Base se refere à condição de tráfego observada em um dia útil durante o horário de pico matutino compreendido entre 08h e 09h. Os parâmetros de entrada no modelo foram calculados durante a etapa de compatibilização.

6.2.2 Cenário Crítico sem fechamento

O Cenário Crítico sem fechamento caracteriza-se pela situação em que se observam fluxos mais elevados que causam congestionamentos na rotatória do P1, sem que haja a operação de bloqueio na rotatória. Para este caso, foram usados os fluxos observados na visita do dia 30/08 à rotatória do CEPEUSP. Os fluxos referentes ao P1 foram inferidos com base nas equações de compatibilidade e outras premissas:

- **M4** é obtido diretamente da Equação (1), ou seja, $M4 = MC1c + MC2b + MC3a$;
- **M1 + M2** é calculado direto da Equação (2), sabendo que $M1 + M2 = MC1a + MC1b$. Da compatibilização feita na seção 4.3.3, sabe-se que **M1** é

aproximadamente 96% do fluxo combinado de **M1** e **M2** — para veículos do tipo VP —, enquanto 100% dos veículos CO/SR fazem parte de **M1**. Logo, considera-se que a proporção se mantém neste novo cálculo;

- **M3** é igual a **MC1c**, que é calculado a partir da soma dos valores observados de **MC1c** nos 30 últimos minutos da visita, em que se constatou que houve o fechamento na rotatória do P1, e multiplicando o resultado de 30 minutos por 2 para que se obtenha o fluxo associado a **MC1c/M3**.

A consolidação dos fluxos resultantes do processo descrito é apresentada na Tabela 42:

Tabela 42 — Volumes por movimento no Cenário Crítico

P1	Novo M1		Novo M2		Novo M3		Novo M4	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	636	33	26	0	304	0	1225	25
CEPEUSP	MC1a		MC1b		MC1c			
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR		
Total (60 min)	15	23	647	10	304	0		
CEPEUSP	MC2a		MC2b		MC3a		MC3b	
	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR	VP	CO/SR
Total (60 min)	21	23	216	2	705	23	115	4

Fonte: Elaboração própria.

Desta forma, os novos volumes de entrada para o modelo no Cenário Crítico sem fechamento são apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico no Cenário Crítico

	Fluxos de entrada finais		
	VP	CO	TOTAL (arredondado)
M1	636	33	670
M2 + M3	330	0	330
MC2	237	25	270
MC3	820	27	850
Total	2066	88	2120

Fonte: Elaboração própria.

6.2.3 Cenário Crítico com fechamento e com fechamento +10% de fluxo

O Cenário Crítico com fechamento mantém o volume utilizado no cenário crítico sem fechamento. Entretanto, nesse caso, é efetuado o bloqueio do acesso na rotatória do P1, direcionando o percurso dos veículos para a rotatória do CEPEUSP (ver Tabela 44). Cabe ressaltar que essa abordagem não se aplica aos ônibus circulares das linhas 8012 e 8032, permanecendo, assim, em conformidade com a prática atualmente adotada de permitir o uso do acesso na rotatória apenas aos ônibus da SPTrans e EMTU.

Tabela 44 — Escolha de rotas para o Cenário Crítico

	Escolha de rotas	
	VP	CO
MC1a	2%	70%
MC1b	67%	30%
MC1c	31%	0%
MC2a	9%	92%
MC2b	91%	8%
MC3a	86%	85%
MC3b	14%	15%
M2 + M3	100%	100%

Fonte: Elaboração própria.

O Cenário Crítico com fechamento +10% de fluxo resulta de um aumento de 10% em todos os *Vehicle Inputs*. Os fluxos de entrada para este cenário são mostrados na Tabela 45.

Tabela 45 — Fluxos de entrada para o modelo microscópico no Cenário Crítico com volumes acrescidos de 10%

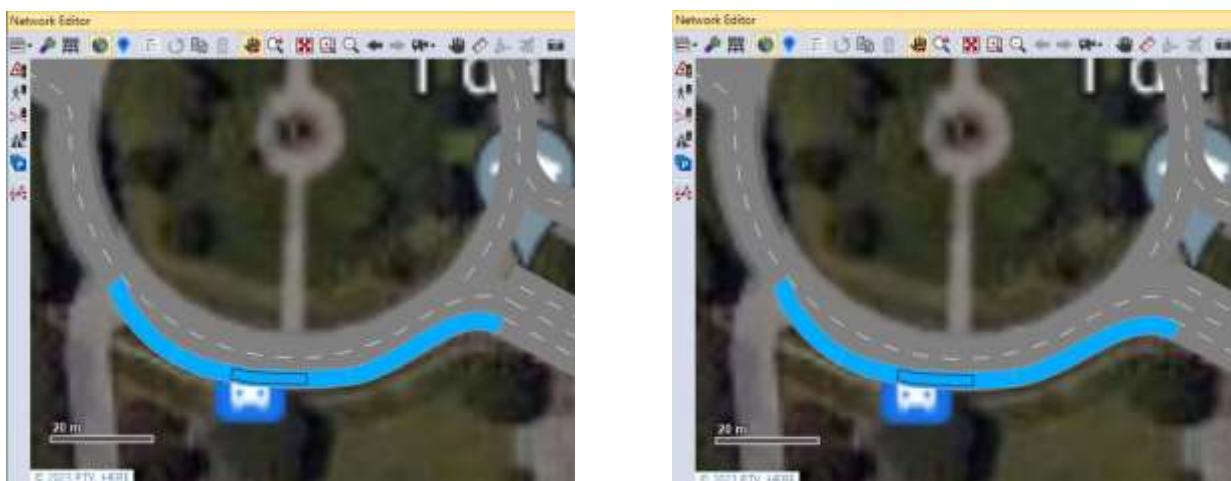
	Fluxos de entrada finais		
	VP	CO	TOTAL (arredondado)
M1	699	36	740
M2 + M3	364	0	370
MC2	261	28	290
MC3	902	30	940
Total	2225	94	2340

Fonte: Elaboração própria.

6.2.4 Propostas de intervenção

Aumento do número de faixas: com a finalidade de mitigar o gargalo identificado na saída do P1, foram propostas intervenções que consistem no incremento do número de faixas no trecho de conexão entre a rotatória da Praça Professor Reynaldo Porchat com a Avenida Afrânio Peixoto. É importante salientar que essa intervenção implica na realocação da ciclofaixa desse trecho para a calçada (calçada compartilhada). Para tal intervenção, foram modelados cenários contemplando acréscimos de 3 e 4 faixas conforme ilustrado na Figura 48. Vale destacar que a nova faixa criada a partir da expansão da baía dos ônibus (demarcada em azul na figura) é exclusiva para passagem de ônibus.

Figura 48 — Intervenção com três faixas (à esquerda) e quatro faixas (à direita)



Fonte: Modelo no VISSIM.

Aumento no tempo de verde: ao realizar a coleta dos tempos de semáforo na Avenida Afrânio Peixoto, constatou-se um significativo favorecimento ao fluxo proveniente da Rua Alvarenga, acompanhado pela escassez de tempo de verde destinado à dissipação das filas na rotatória do P1. Diante dessa observação, optou-se por conceber cenários nos quais há um aumento do tempo de verde para o fluxo da Avenida Afrânio Peixoto. Nesse contexto, foram delineados cenários que incorporam acréscimos nos tempos de verde, estabelecendo variações de 4,0 e 6,0 segundos; números definidos arbitrariamente de modo a não representarem um incremento muito elevado, considerando o atual tempo de verde de 24,0 segundos, mas aumentando o suficiente para que houvesse bons resultados nas simulações.

Semáforo na Avenida da Universidade: com o intuito de analisar o impacto do semáforo localizado na Avenida da Universidade na formação de filas na rotatória do P1, decidiu-se elaborar um cenário no qual esse semáforo é considerado com uma configuração de

tempo fixo ao invés da atual operação de um semáforo com botoeira. O ciclo semaforico definido foi de 120,0 segundos (igual ao semáforo do P1), compreendendo 93,0 segundos de sinal verde, seguidos por 24,0 segundos de vermelho e 3,0 segundos de amarelo, nesta ordem.

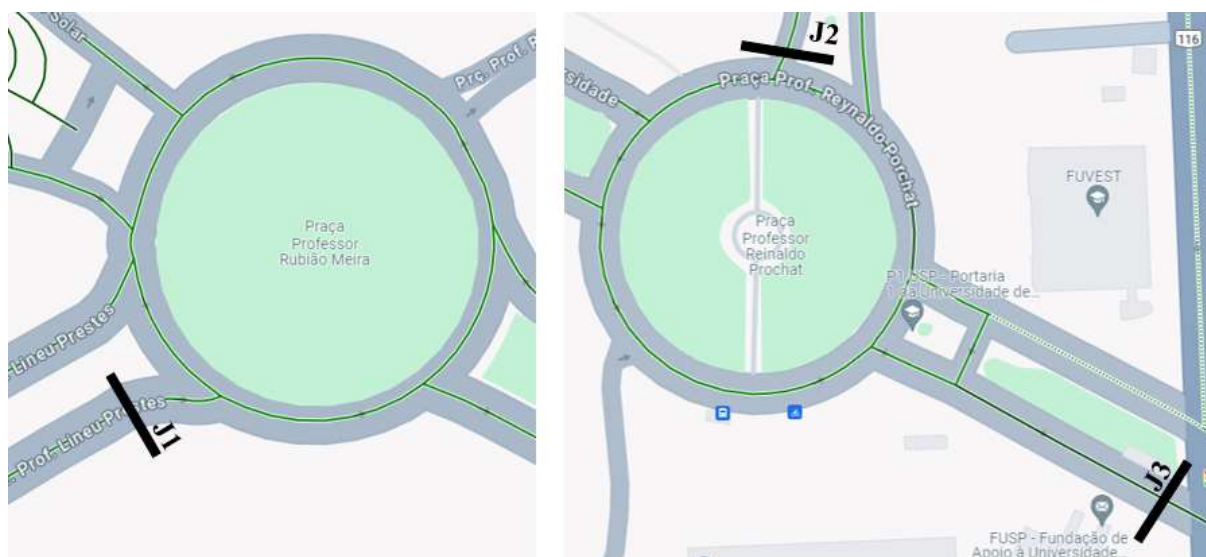
6.2.5 Medidas de desempenho

Com o intuito de avaliar o desempenho do tráfego em cada cenário proposto foram adotados os indicadores de comprimento de fila e tempo de viagem.

O comprimento de fila foi determinado pela média dos máximos comprimentos de filas registrados em intervalos de tempo uniformes, sendo adotado um intervalo de 120 segundos para este propósito. A localização da seção de análise do comprimento de fila é a mesma adotada na etapa de calibração do modelo.

Quanto ao tempo de viagem, a medição ocorreu para os ônibus circulares das linhas 8012 e 8032 a partir das seções **J2** (conexão entre a Av. Prof. Mello Moraes e a Pça. Prof. Reynaldo Porchat) e **J3** (próximo ao semáforo da Av. Afrânio Peixoto) e para a linha 2 a partir das seções **J1** (ligação entre a Av. Prof. Lineu Prestes e a Pça. Prof. Rubião Meira) e **J3** conforme a Figura 49.

Figura 49 — Seções para análise de tempos de viagem



Fonte: Elaboração própria, com base em imagens do Google Maps.

6.2.6 Modificações simuladas

Para cada um dos quatro cenários de tráfego definidos foram conduzidas simulações únicas, sem variação de valor aleatório da semente (*seed*) da simulação em um total de 12

modificações — resultando num total de 48 simulações — distinguidos entre intervenções individuais e suas combinações, conforme apresentado na Tabela 46. As tabelas contendo os resultados de todas as simulações podem ser visualizadas no Apêndice I e no Apêndice J.

Tabela 46 — Modificações simuladas

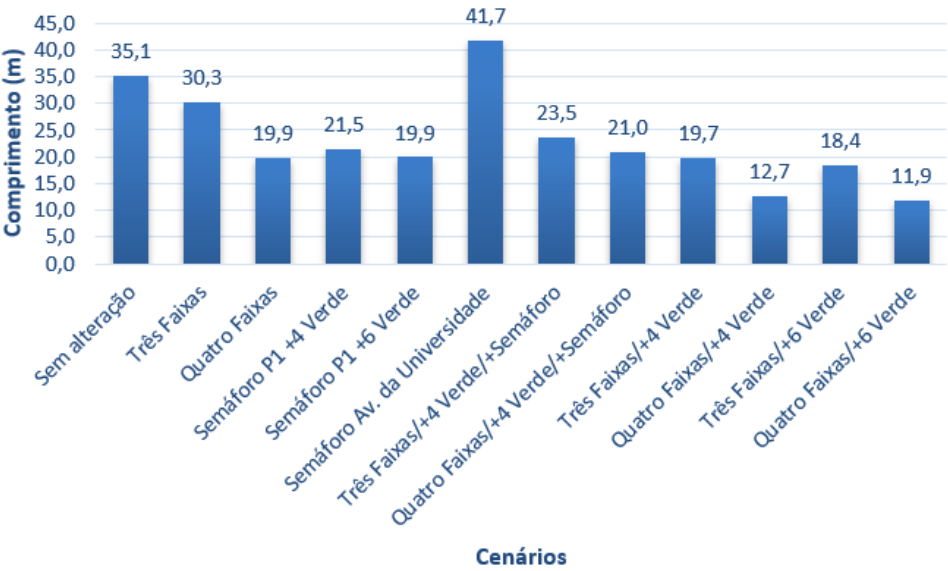
Cenário	Grupo	Intervenção(ões)
1	Intervenções isoladas	Nenhuma
2		Três faixas
3		Quatro faixas
4		+4 segundos de verde
5		+6 segundos de verde
6		Implantação de semáforo
7	Combinações	Três faixas / +4 segundos de verde / Implantação de semáforo
8		Quatro faixas / +4 segundos de verde / Implantação de semáforo
9		Três faixas / +4 segundos de verde
10		Quatro faixas / +4 segundos de verde
11		Três faixas / +6 segundos de verde
12		Quatro faixas / +6 segundos de verde

Fonte: Elaboração própria.

6.2.7 Resultados de comprimentos de fila

As médias de comprimento de fila nas simulações para intervenções isoladas e suas combinações para o cenário base são apresentadas no Gráfico 5 com as medidas em metros.

Gráfico 5 — Comprimentos de fila para o Cenário Base

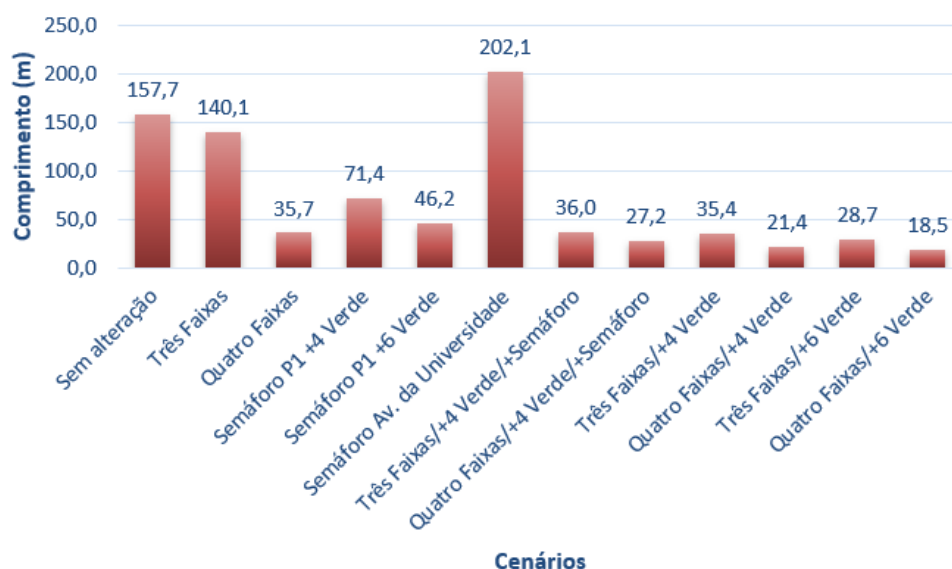


Fonte: Elaboração própria.

Para o cenário base, percebe-se uma redução moderada nos comprimentos de fila com as alterações nas faixas e tempo de verde, mas há pequena piora com a adoção do semáforo da Av. da Universidade. Embora sejam observadas melhoras em geral, é importante ressaltar que a média do comprimento de fila no cenário sem modificações (35,1 m) já era um valor relativamente baixo.

As médias de comprimento de fila nas simulações para intervenções isoladas e suas combinações para o Cenário Crítico sem fechamento são apresentadas no Gráfico 6 com medidas em metros.

Gráfico 6 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico sem fechamento

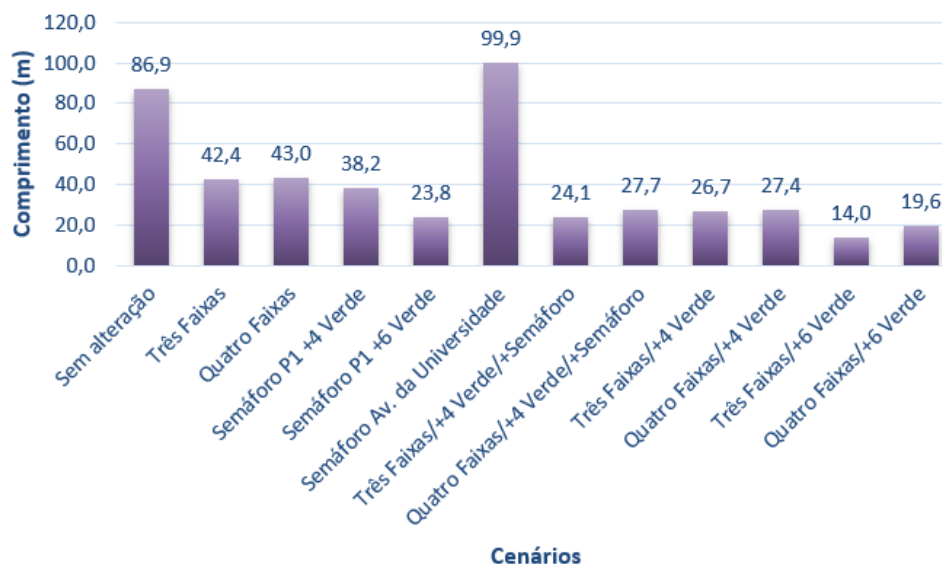


Fonte: Elaboração própria.

É importante destacar nesse cenário a efetividade na maioria das intervenções em relação à redução das filas. Nota-se que nas combinações de solução de quatro faixas, a diminuição da média dos comprimentos de fila é tamanha que os resultados são equivalentes ou até melhores do que aqueles observados para o cenário base sem alterações. Essa constatação permite afirmar que, com a adoção de quatro faixas e acréscimo de tempo de verde de pelo menos 4,0 segundos, a operação de fechamento poderia ser dispensada para esse nível de carregamento.

As médias de comprimento de fila nas simulações para intervenções isoladas e suas combinações para o Cenário Crítico com fechamento são apresentadas no Gráfico 7 com medidas em metros.

Gráfico 7 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento

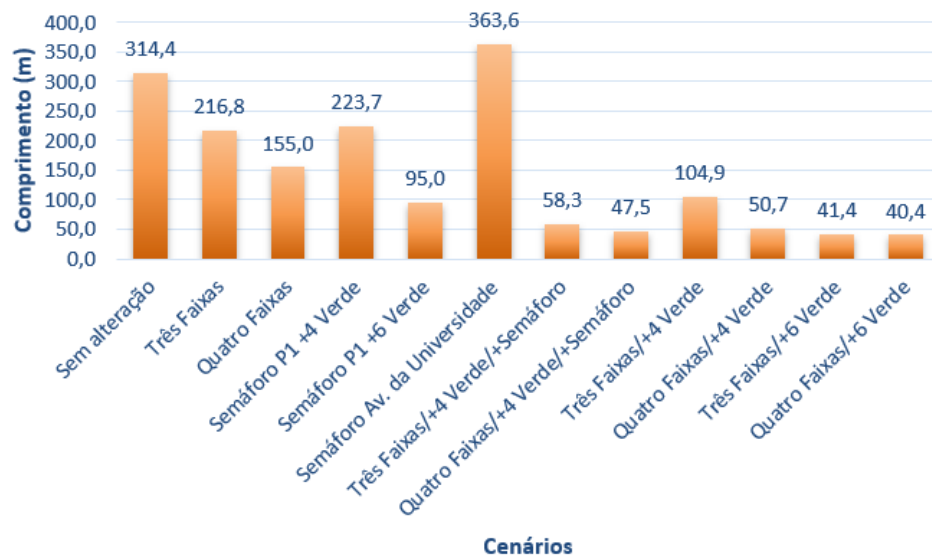


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se nesse cenário que a operação de fechamento é efetiva na redução do congestionamento quando se compara a média da simulação sem alteração com aquela obtida no cenário sem fechamento. A adoção das propostas de intervenção reduz ainda mais as filas, podendo chegar a um nível de desempenho até melhor com relação ao cenário base com as soluções combinadas.

As médias de comprimento de fila nas simulações para intervenções isoladas e suas combinações para o Cenário Crítico com fechamento +10% são apresentadas no Gráfico 8 com medidas em metros.

Gráfico 8 — Comprimentos de fila para o Cenário Crítico com fechamento +10%



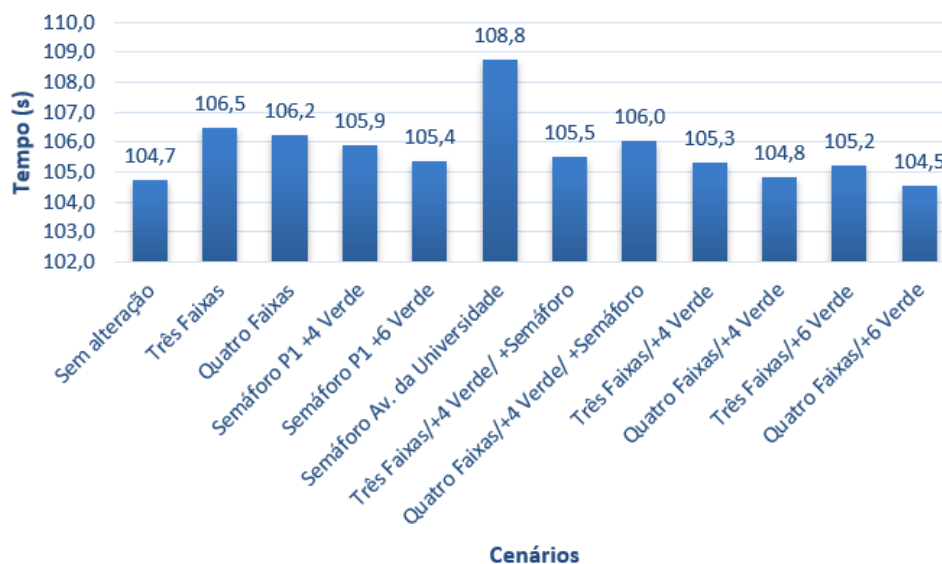
Fonte: Elaboração própria.

Nesse caso, a operação de fechamento não é capaz de evitar congestionamentos quando implementada isoladamente. A adoção das soluções em sua forma isolada melhora a condição das filas, mas seus valores permanecem altos. Quando as soluções são combinadas é possível alcançar níveis de desempenho mais adequados.

6.2.8 Resultados de tempos de viagem

As médias de tempos de viagem, em segundos, obtidos nas simulações para os ônibus circulares das linhas 8012 e 8032 no Cenário Base são apresentadas no Gráfico 9.

Gráfico 9 — Tempos de viagem dos circulares 8012 e 8032 para o Cenário Base

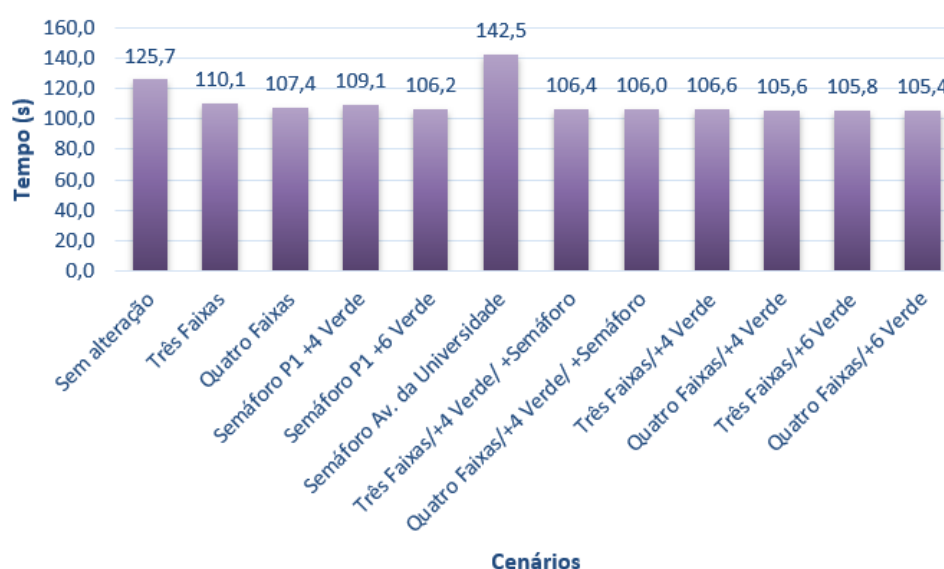


Fonte: Elaboração própria.

Todas as propostas de intervenção são semelhantes, uma vez que a média dos tempos não apresenta variações significativas. Conclui-se ainda que os melhores resultados que podem ser esperados para os cenários estudados estão em faixa de 104,0 a 108,0 segundos, aproximadamente.

As médias de tempos de viagem, em segundos, obtidos nas simulações para os ônibus circulares das linhas 8012 e 8032 no Cenário Crítico com fechamento são apresentadas no Gráfico 10.

Gráfico 10 — Tempos de viagem dos circulares 8012 e 8032 para o Cenário Crítico com fechamento



Fonte: Elaboração própria.

Mesmo com a implementação do bloqueio ainda houve uma piora no desempenho em comparação ao Cenário Base. Todavia, mesmo a adoção isolada das soluções — com exceção do semáforo na Av. da Universidade — já é suficiente para que a média dos tempos de viagem atinja seu nível ótimo.

As médias de tempos de viagem, em segundos, obtidos nas simulações para o ônibus circular da linha 8022 no Cenário Base são apresentadas no Gráfico 11.

Gráfico 11 — Tempos de viagem do circular 8022 para o Cenário Base



Fonte: Elaboração própria.

Com exceção da solução do semáforo da Av. da Universidade, todas as outras propostas de intervenção reduziram os tempos de viagem por volta de 22,0 segundos, chegando a um valor ótimo de aproximadamente 164,0 segundos.

As médias de tempos de viagem, em segundos, obtidos nas simulações para o ônibus circular da linha 8022 no Cenário Crítico com fechamento são apresentadas no Gráfico 12.

Gráfico 12 — Tempos de viagem do circular 8022 para o Cenário Crítico com fechamento



Fonte: Elaboração própria.

Nesse cenário nota-se que a adoção de faixas adicionais — seja três ou quatro faixas — foi suficiente para alcançar tempos de viagem ótimos, mas a solução de 4,0 segundos a mais de verde não conseguiu, apesar da melhora substancial. Novamente os resultados pioraram com a implementação do semáforo na Av. da Universidade, enquanto todas as soluções combinadas atingiram bons resultados.

7 CONCLUSÕES

Segundo a *American Society of Civil Engineers* (ASCE), o propósito do Engenheiro Civil é “projetar, construir e manter a fundação da sociedade moderna — nossos edifícios, estradas e pontes, água potável e sistemas de energia, portos e aeroportos, e a infraestrutura para um ambiente mais sustentável”. Nesse contexto, o Trabalho de Formatura teve como objetivo propor soluções para os problemas de congestionamento no entorno do P1 da CUASO, com o foco no aumento da qualidade do serviço ofertado das linhas circulares de ônibus, fundamentando-se na Engenharia de Tráfego e outras áreas técnico-científicas relevantes para o estudo.

A etapa do trabalho que mais demandou recursos humanos, tempo e esforço intelectual foi a coleta e o tratamento dos dados uma vez que, para a realização do estudo em seu escopo planejado, foi necessário descrever os fluxos de veículos, parâmetros operacionais das linhas de ônibus e semáforos a um nível de detalhamento de informação que não pôde ser facilmente obtido das bases de dados disponibilizadas. Vale salientar a necessidade de realizar simplificações para que fosse possível determinar os dados de entrada necessários à implementação do modelo, considerando as limitações da quantidade de pessoas para realizar a pesquisa *in loco*, do ferramental disponível e do tempo hábil para a execução e finalização do Trabalho.

Entre os diversos percalços encontrados durante as pesquisas em campo, pode-se citar a imprevisibilidade do tráfego e das condições climáticas no dia e horário programado para o estudo, considerando que esperar-se-ia encontrar fluxos representativos de um dia útil, para o período analisado, e que o processo manual de contagem não seria prejudicado por intempéries ou outras situações extraordinárias. No que tange ao tratamento dos dados, é fundamental destacar a adversidade encontrada diante da impossibilidade da obtenção de contagens volumétricas nas rotatórias do P1 e CEPEUSP para o mesmo dia e faixa de horário, o que implicou no desenvolvimento de um modelo matemático que simplificasse a descrição dos fluxos na área de estudo, permitindo a compatibilização de contagens de dias diferentes, ao mesmo tempo em que buscou-se garantir a idoneidade técnica dos métodos empregados.

Na etapa de construção, calibração e validação do modelo foi presumido que os parâmetros adotados para a implementação do modelo de Wiedemann estivessem adequados; o que não é necessariamente verdade, uma vez que os parâmetros em seus valores *default* foram

definidos com base na realidade alemã. Contudo, a calibração feita a partir dos dados reais de filas e tempos de deslocamento na área de estudo permitiu o desenvolvimento de um modelo representativo da realidade observada. Ressalta-se que uma das principais dificuldades do trabalho foi na coleta destes dados; pois, mesmo com acesso às gravações fornecidas pela Guarda Universitária da USP, ainda foi uma tarefa complexa sistematizar os métodos utilizados para a obtenção das medidas de interesse para calibração.

Os primeiros resultados obtidos das simulações vieram a partir da análise de cenários que incluíam apenas a rotatória do P1 e entorno, com e sem a operação de fechamento. Conforme esperado, foi possível verificar que o desvio feito durante o fechamento levou a maiores tempos de deslocamento para os veículos afetados, incluindo os ônibus circulares 8012 e 8032. Destaca-se que para essa etapa foi admitido que, com a rotatória fechada, os veículos poderiam fazer o retorno na Av. da Universidade, próximo à Travessa 11. Entretanto, é comum nessas operações que o desvio se estenda ao longo de toda a avenida, de modo que os veículos precisem fazer o retorno a partir da rotatória do CEPEUSP.

A partir do segundo semestre de 2023 a operação de fechamento na rotatória sofreu uma importante mudança em favor do transporte público: passou a ser permitido que os ônibus da SPTrans e EMTU realizassem o movimento na rotatória enquanto os demais veículos deveriam fazer o desvio. Essa medida justifica-se do ponto de vista da priorização do transporte coletivo em favor do individual, tanto é que esse era um dos cenários de simulação planejados inicialmente para o Trabalho. Como a mudança na operação foi feita ao longo da execução do estudo, sua implementação já foi adotada no cenário base quando foram feitas as simulações na etapa final do Trabalho de Formatura, em novembro de 2023.

As propostas de solução para o problema enfrentado envolveram duas vertentes: readequações geométricas na rotatória do P1 e sua conexão com Av. Afrânio Peixoto; e alterações nas configurações dos semáforos presentes no cruzamento da Av. Afrânio Peixoto com a Rua Alvarenga e do semáforo da Av. da Universidade. As soluções foram testadas individualmente e em conjunto para um modelo expandido, que incluiu a rotatória do CEPEUSP em configurações que representavam o cenário atual, com fluxos moderados e cenários críticos, com fluxos mais elevados — com ou sem a realização da operação de fechamento.

As soluções de mudanças na geometria das vias materializaram-se na adoção de três ou quatro faixas na saída da rotatória do P1, buscando eliminar o gargalo observado naquele trecho.

Individualmente, ambas as soluções apresentaram resultados satisfatórios na redução de comprimento de filas e de tempos de deslocamento dos ônibus circulares. Quanto às soluções de alteração dos semáforos, verificou-se que um aumento do tempo de verde de quatro ou seis segundos do semáforo na saída do P1 também produziu bons resultados. Entretanto, na solução no qual o semáforo da Av. da Universidade foi definido como sendo de tempo fixo, com o ciclo igual ao semáforo do P1, as medidas de desempenho tanto de filas quanto de tempos de deslocamento tiveram uma tendência de piora.

Os melhores resultados foram obtidos na combinação de soluções, particularmente com a adoção de faixas adicionais e aumento de tempo de verde do semáforo do P1. Essas duas soluções em conjunto apresentam uma notável sinergia: a redução no tamanho das filas foi tão expressiva que foi possível chegar à conclusão de que, mesmo em um cenário crítico, não seria necessário implementar a operação de fechamento. Destaca-se ainda que, na comparação dos aumentos de tempo de verde, a solução de seis segundos a mais não apresentou uma melhoria de desempenho significativa em relação à solução de quatro segundos.

A solução do semáforo da Av. da Universidade, em combinação com as outras, apresentou em alguns casos uma pequena piora, em outras, uma pequena melhora. A principal hipótese para explicar os resultados dessa solução é que ela só funciona adequadamente caso o semáforo da Av. da Universidade esteja sincronizado com o semáforo do P1 de tal forma que o pelotão de veículos vindo da avenida, ao chegar no P1, conseguisse aproveitar o verde do semáforo, deslocando-se de forma fluída, sem paradas, aproveitando a total capacidade de vazão de veículos da Av. Afrânio Peixoto. Pode-se notar que a sincronização ideal entre os dois semáforos dependeria — entre outros fatores não contemplados no estudo — dos fluxos que compõem o sistema analisado, de forma que uma determinada configuração do semáforo da Av. da Universidade pode levar tanto a bons quanto maus resultados a depender dos volumes e outras características operacionais.

Os resultados das simulações mostram a efetividade do aumento do número de faixas na rotatória, na saída do P1, e do aumento do tempo de verde no semáforo da intersecção entre a Av. Afrânio Peixoto e Rua Alvarenga, principalmente na combinação entre as soluções. É também importante mencionar que, embora o estudo tenha tido como foco a operação das linhas circulares, os resultados podem ser generalizados para as demais linhas da SPTrans e EMTU cujo trajeto de saída da CUASO é o mesmo que o dos ônibus circulares.

Como prosseguimento às propostas de intervenção, seria necessário avaliar, entre outros fatores, a viabilidade técnica da readequação geométrica na rotatória, e a viabilidade operacional de alterar a configuração do semáforo do P1. Para o aumento do número de faixas, uma das principais considerações é a presença da ciclofaixa alinhada ao meio-fio; uma possível solução seria a implantação de uma calçada compartilhada. Para o aumento de tempo de verde do semáforo seria necessário analisar o impacto de tal medida no fluxo proveniente da Rua Alvarenga; pode ser interessante estudar a alteração da condição do semáforo de tempo fixo para tempo variável. Recomenda-se ainda a realização de mais simulações das propostas consideradas, variando-se a semente de números aleatórios do software, de modo a obter maior representatividade estatística dos resultados.

Por fim, pode-se concluir que os problemas de congestionamento no entorno do P1, particularmente a rotatória, podem ser substancialmente mitigados com a adoção de soluções que contemplem a alteração da geometria das vias de interesse e as características operacionais do semáforo presente no cruzamento entre a Av. Afrânio Peixoto e Rua Alvarenga. A implementação de novas soluções é premente sobretudo no enfrentamento de cenários com fluxos elevados — que podem se tornar mais comuns com o passar dos anos —, pois, nesses casos, a atual medida de fechamento da rotatória passa a não mais ser suficiente no combate aos congestionamentos.

8 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **About civil engineering**. Disponível em: <<https://www.asce.org/about-civil-engineering>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito** – Volume V: Sinalização Semafórica. DENATRAN, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro, 2009.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Traffic Signal Timing Manual**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015.

FELLENDORF, M.; VORTISCH, P. **Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations**. PTV, 2001.

ITE (INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS); WOLSHON, B.; PANDE, A. **Traffic Engineering Handbook**. 7. ed. Nashville, TN: John Wiley & Sons, 2016.

MATHEW, T. V. **Microscopic Traffic Simulation**. Lecture Notes in Transportation Systems Engineering. Indian Institute of Technology Bombay, 2023.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

PREFEITURA DO CAMPUS DA USP. **Mapas das linhas BUSP 2022**. São Paulo: USP, 2022. Disponível em: <<https://puspc.usp.br/wp-content/uploads/sites/159/2016/08/Mapas-das-linhas-BUSP-2022.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2023.

PREFEITURA DO CAMPUS DA USP. **Campus USP da Capital**. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: <<http://www.puspc.usp.br/wp-content/uploads/sites/159/2016/08/Campus-USP-da-Capital.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2023.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; MCSHANE, W. R. **Traffic engineering**. 4. ed. Pearson, 2011.

SÃO PAULO TRANSPORTE S/A (SPTrans). **Busca de Itinerários**. Disponível em: <<https://www.sptrans.com.br/busca-de-itinerarios/>>. Acesso em: 11 out. 2023.

SIDDHARTH, S. M. P.; RAMADURAI, G. **Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions**. Procedia, social and behavioral sciences, v. 104, p. 380–389, 2013.

TREIBER, M.; KESTING, A. **Traffic flow dynamics: Data, models and simulation**. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, 2013.

VIRGINIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **VDOT VISSIM User Guide Version 2.0**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.virginiadot.org/business/resources/VDOT_Vissim_UserGuide_Version2.0_Final_2020-01-10.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

YAMAMOTO, E. **Circulares da Cidade Universitária transportam 28 mil passageiros por dia**. Jornal da USP, 2022. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/universidade/circulares-da-cidade-universitaria-transportam-28-mil-passageiros-por-dia/>> Acesso em: 30 jun. 2023.

YANG, Z.-H. et al. Research on microscopic traffic simulation model in VISSIM. **DEStech transactions on computer science and engineering**, n. ammmms, 2019.

ZIPOLI, L. L. R. *et al.* **ATIVIDADE PRÁTICA 2 (Lab_ITS_02) VISSIM (Construção de uma Rede de Simulação)**. São Paulo, 2023.

ZIPOLI, L. L. R. *et al.* **ATIVIDADE PRÁTICA 6 (Lab_ITS_06) VISSIM (Validação de uma Rede de Simulação)**. São Paulo, 2021.

9 APÊNDICE

APÊNDICE A – Registro de tempos semafóricos no dia 23/06

Figura 50 — Folha de registro de tempos semafóricos

independente

CICLO	VERDE	AMARELO	VERMELHO TOTAL	VERMELHO	
1	24,46	28,22	30,13	2:01	A
	24,01	28,08	29,40	2:00,24	I
2	23,49	27,45	29,51	1:59	A
	24,54	27,84	29,72	1:59,85	I
3	24,08	27,99	29,92	2:00,05	A
	24,23	28,08	30,75*	2:00,17	I

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B – Planilhas de contagem volumétrica preenchidas

Figura 51 — Folha de contagem de veículos (Ivan)

S2		S1	
VP	CO	VP	CO
11		11	5
12	2	12	
13	68	13	130
14		14	6
15	72	15	72
16		16	8
17	73	17	193
18		18	19
19	52	19	166

Figura 52 — Folha de contagem de veículos (Ayrton)

Typus des Versuches Temperatur Dauerzeit (s. 2. Tabelle 7.7.10)	SW		ED	
	SW	SW/ED	SW	SW/ED
5 2	11	11	1	
1 6	1	111	1	
2 4	111	1	1	
4 7	1	111		
11 4	1	111		
11 4	1	111		
4 5	1	111		
2 5	1	111		
1 7	111	1		
10 10	1	111	1	
7 2	111	1	1	1
5 4	111	1		1
2 1	111	1		
12 5	1	111		
2	1	1		

Fonte: Fotografia própria.

APÊNDICE C – Registro de tempos cronometrados na visita do dia 30/06

Figura 53 — Folha de registro de tempos de ônibus

N	ED. FÍSICA	POUCIA M.	
1	43.89	55.92	C1
2	27.24	1:03.48*	C3
3	27.58	53.35*	C1
4	36.63	1:00.36*	C3
5	25.49	59.06*	C1
6	29.87	52.50*	C1
7	25.02	59.04*	C3
8	28.86	41.97	C3
9	29.07	57.34*	C1
10	38.02	1:46.32*	C1
* Foram no ponto da P.M.			48:15 Sempre de abrange Cada a foram p/la.

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D – Registro de tempos cronometrados na visita de 23/08

Figura 54 — Tempos de viagem no P1

EE	PM	P1	
08:07:01		08:09:34	Não parou
08:15:40	08:16:04	08:17:03	fila
08:20:23	08:20:55	08:21:46	fila
08:27:47		08:28:17	Não parou
08:33:07	08:33:33	08:34:17	fila

Fonte: Fotografia própria.

APÊNDICE E – Registro de veículos contados na visita do dia 30/08

Figura 55 — Folha para contagem de veículos na seção SC3

S T Q Q S S D

① 30 / Agosto 8 - 9A

Veículos da Prisão (Carro / Camião / 3ª)

0-15	15-30	30-45	45
(30)	(27)	(25)	(32)

Segunda Prisão → Camião (Carro / Mini Camião)

0-15	15-30	30-45	45 -
1	(0)	11	1
(1)		(2)	(1)

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE F – Tabela de parâmetros do modelo no VISSIM

Tabela 47 — Parâmetros de simulação do modelo base

Network Objects	Modelo/Valores utilizados	Observações	Fontes
Driving Behavior	Cycle-Track (free overtaking) com modelo de car following de Wiedeman 74	Para todos os links, com exceção da 3ª faixa do link da Av. Afrânio Peixoto, onde foi usado Freeway (explicado na etapa de calibração)	Lab 02
Background Images	Imagens de satélite do Google Maps		Google Maps
Links/Lanes	Av. Afrânio Peixoto (entrando na rotatória): 2 faixas de 3,5 m		Google Maps e fotografias tiradas em campo
	Av. Afrânio Peixoto (saindo da rotatória): 4 faixas de 3,5 m	Faixa 1 exclusiva para ônibus	
	Av. Professor Mello Moraes (ambos os sentidos): 2 faixas de 3,5 m	Presença de baia de ônibus entre a faixa 1 e o meio fio nas adjacências do ponto da EF	
	Av. da Universidade (ambos os sentidos): 3 faixas de 3,5 m	Faixa 1 exclusiva para ônibus no sentido de entrada na rotatória	
	Praça Dr. Reynaldo Porchat (rotatória): 2 faixas de 3,5 m	Presença de baia de ônibus entre a faixa 1 e o meio fio nas adjacências do ponto da Polícia	
Reduced Speed Areas	Aplicadas ao longo de todas as curvas com parâmetros padrões		Lab 02
Vehicle Compositions	Composição P1: Fluxo de carros e ônibus — com valor relativo de 95:5 e ambos com velocidade desejada de 50 km/h	Valores relativos de fluxo arredondados da tabela 7; originalmente era 95,8:4,2	Contagem veicular em campo
	Composição Mello Moraes: Apenas carros, com velocidade desejada de 50 km/h	Neste caso, admite-se que apenas os ônibus das linhas 8012 e 8032 são relevantes para esse fluxo e, como eles foram modelados separadamente, não devem ser incluídos na Composição Mello Moraes	

Vehicles Inputs	VP equivalentes — Av. Afrânio Peixoto: 710	Valor arredondado da tabela 9.	Contagem veicular em campo
	VP equivalentes — Av. Professor Mello Moraes: 290		
	VP equivalentes — Av. da Universidade: 650		
Public Transport Lines	Linhas 8012-10 e 8032-10, ambas com velocidade desejada de 25 km/h e tempos de partida a cada 600 segundos.	Foi admitido que os circulares 3 estão defasados em 200 segundos em relação aos circulares 1	Lab 02
Public Transport Stops	Pontos da EF e polícia, ambos com 15 m de comprimento. Tempo de parada nos pontos dado por uma distribuição normal com 5,0 segundos de média e 1,0 de desvio padrão	Posicionamento a partir da imagem de fundo.	Google Maps e Lab 02
Static Vehicle Routes	Fluxo relativo do Movimento 1: 100	Cálculo a partir da tabela 9, considerando que os movimentos 2 e 3 partem ambos da Av. Prof Mello Moraes	Contagem veicular em campo
	Fluxo relativo do Movimento 2: 8		
	Fluxo relativo do Movimento 3: 92		
	Fluxo relativo do Movimento 4: 100		
Signal Controller/Signal Heads	Semáforo de tempos fixos com tempos de verde, amarelo e vermelho de, respectivamente, 24, 3 e 93 segundos	Posicionados na intersecção entre Av. Afrânio Peixoto e Rua Alvarenga	Medição de tempos semafóricos em campo
Data Collections Points	Faixa 1 da Av. Prof Mello Moraes, pouco antes do ponto da EF		
	Faixa 1 da rotatória, pouco antes do ponto da Polícia		
	Faixa 1 da Av. Afrânio Peixoto, pouco depois da saída do P1		
Vehicle Travel Time Measurements	Início na Av. Prof. Mello Moraes, na faixa de pedestre após o ponto da EF, e término próximo ao ponto da Polícia (começo)		
	Início próximo ao ponto da Polícia (começo), e término aproximadamente 12 metros após a saída do P1		

Data Collections Results	Coleta de dados de aceleração, distância percorrida, comprimento de veículos, quantidade de veículos, atraso de fila e velocidade média dos veículos considerando todos os veículos ou apenas os ônibus	Simulação de 3600 segundos com intervalos de contagem de 200 segundos	
Vehicle Travel Time Results	Coleta de dados de quantidade de veículos, tempo de viagem e distância percorrida para os circulares 1 e 3	Simulação de 3600 segundos com intervalos de contagem de 200 segundos	

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE G – Resultados das simulações para calibração de filas no P1

Tabela 48 — Indicadores de fila após primeira mudança de parâmetros

Intervalo de tempo (s)	Comprimento de fila médio (m)	Comprimento de fila máximo (m)	Veículos parados em fila
720-840	0,0	0,0	0,0
840-960	0,0	0,0	0,0
960-1080	0,0	0,0	0,0
1080-1200	2,4	22,0	5,0
1200-1320	0,0	0,0	0,0
1320-1440	1,8	23,6	8,0
1440-1560	10,0	52,1	17,0
1560-1680	17,1	63,3	18,0
1680-1800	17,5	61,2	16,0
1800-1920	24,2	85,8	28,0
1920-2040	22,8	81,4	21,0
2040-2160	16,0	64,6	17,0
2160-2280	7,8	45,8	11,0
2280-2400	10,2	60,3	17,0
2400-2520	9,2	41,9	18,0
2520-2640	30,2	99,5	27,0
2640-2760	10,9	55,4	8,0
2760-2880	1,9	22,3	5,0
2880-3000	1,9	26,8	10,0
3000-3120	9,0	37,2	17,0
3120-3240	15,1	68,8	19,0
3240-3360	8,5	53,4	6,0
3360-3480	2,1	16,5	3,0
3480-3600	2,3	22,7	5,0

Fonte: Elaboração própria, com dados da simulação no VISSIM.

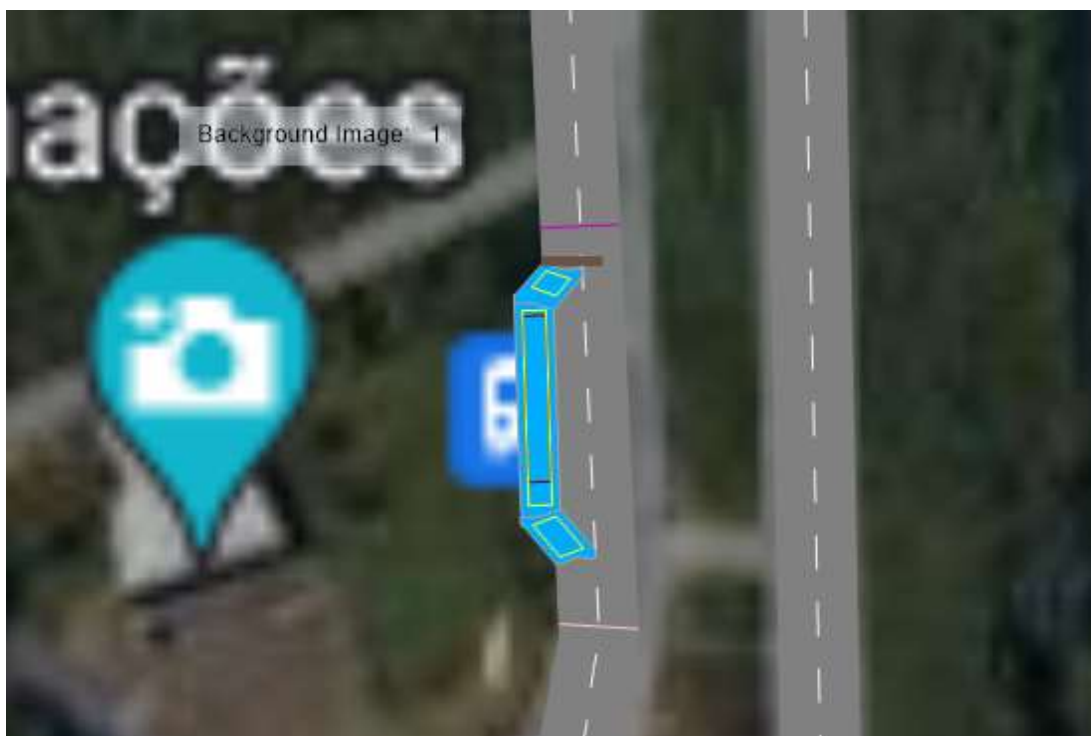
Tabela 49 — Indicadores de fila após a segunda mudança de parâmetros

Intervalo de tempo (s)	Comprimento de fila médio (m)	Comprimento de fila máximo (m)	Veículos parados em fila
720-840	0,0	0,0	0
840-960	0,0	0,0	0
960-1080	0,0	0,0	0
1080-1200	1,3	22,1	5
1200-1320	0,2	26,3	0
1320-1440	0,9	20,0	5
1440-1560	6,0	33,3	15
1560-1680	5,8	38,7	5
1680-1800	2,7	27,3	6
1800-1920	4,0	43,6	10
1920-2040	1,5	15,2	4
2040-2160	0,2	7,3	1
2160-2280	0,3	7,9	1
2280-2400	5,6	42,0	13
2400-2520	3,6	30,4	9
2520-2640	15,8	85,8	16
2640-2760	2,7	29,5	7
2760-2880	0,0	0,0	0
2880-3000	0,4	7,4	1
3000-3120	2,8	22,3	9
3120-3240	4,8	37,4	7
3240-3360	0,4	8,0	1
3360-3480	0,0	0,0	0
3480-3600	2,3	21,3	6

Fonte: Elaboração própria, com dados da simulação no VISSIM.

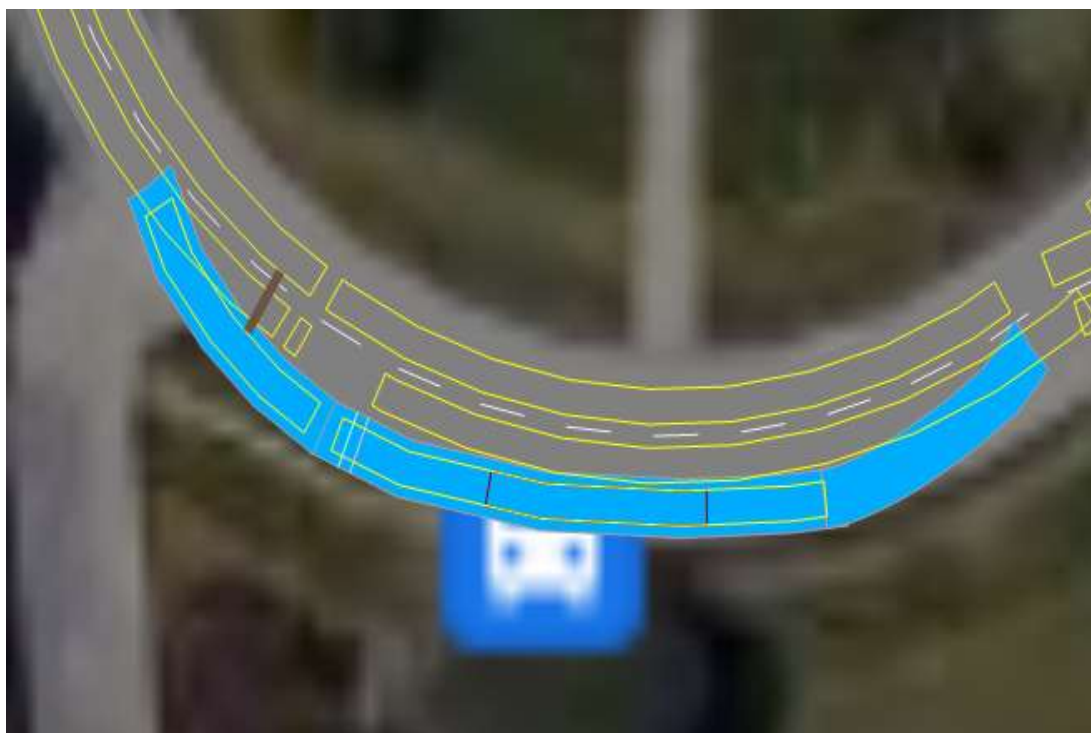
APÊNDICE H – Seções de *Data Collections Results* para o modelo básico

Figura 56 — Seção de coleta no ponto da EF destacado em marrom



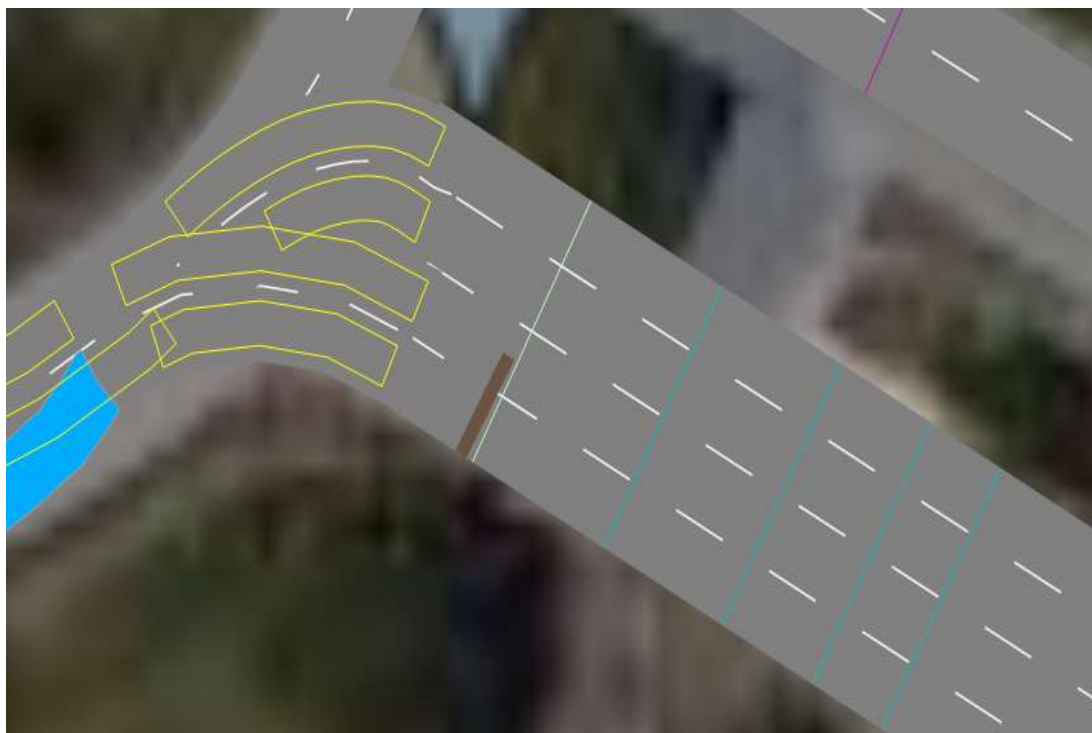
Fonte: Autoria própria, com base no modelo do VISSIM.

Figura 57 — Seção de coleta no ponto da Polícia destacado em marrom



Fonte: Autoria própria, com base no modelo do VISSIM.

Figura 58 — Seção de coleta próximo ao P1 destacado em marrom



Fonte: Elaboração própria, com base no modelo do VISSIM.

APÊNDICE I — Resultados das simulações para comprimentos de fila

Tabela 50 — Comprimentos de fila, em metros, para o Cenário Base

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo P1 +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo P1 +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
12	33,3	34,0	20,4	50,3	55,3	34,9	34,6	38,6	36,0	35,9	67,5	20,7
14	38,7	45,2	21,9	39,2	54,1	29,1	21,9	35,8	14,2	22,4	28,0	22,3
16	27,3	32,9	15,2	28,5	56,0	16,6	14,3	15,9	12,8	21,5	14,1	11,8
18	43,6	39,6	0,0	14,6	59,1	25,9	21,1	13,7	7,8	30,5	10,3	8,4
20	15,2	33,9	20,8	15,8	52,9	8,6	13,5	0,0	8,0	23,3	9,6	0,0
22	7,3	0,0	0,0	0,0	35,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	7,9	0,0	5,4	0,0	14,3	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	42,0	33,4	30,2	32,9	33,4	22,3	21,4	32,1	16,0	25,5	25,0	10,9
28	30,4	30,5	34,5	28,2	47,3	30,2	34,5	28,6	32,0	20,8	27,1	26,3
30	83,8	81,4	67,4	72,5	86,4	71,2	69,3	84,1	50,2	66,4	79,1	45,7
32	29,5	28,7	20,3	23,2	55,0	22,2	10,5	19,9	0,0	7,0	17,9	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	7,4	0,0	0,0	0,0	11,2	19,0	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	22,3	10,2	16,3	11,5	21,1	17,4	17,1	7,9	0,0	22,7	0,0	0,0
40	37,4	29,9	34,2	23,8	36,6	28,8	29,5	22,2	15,4	17,6	17,1	15,2
42	8,0	0,0	11,6	0,0	13,9	12,8	14,0	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0
44	0,0	0,0	9,2	0,0	9,9	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46	21,3	16,7	16,0	14,1	18,6	10,3	16,8	0,0	0,0	17,1	4,6	0,0
48	41,3	39,0	34,7	28,6	49,0	49,0	47,4	34,6	20,0	33,1	27,6	34,1
50	69,2	66,3	48,2	48,9	62,8	63,0	48,0	68,2	54,7	49,7	47,8	47,1
52	40,3	32,3	0,0	7,1	30,6	16,8	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54	56,5	39,0	26,9	30,1	57,9	32,2	21,2	23,2	15,3	24,1	24,9	19,1
56	101,8	89,9	33,3	47,7	71,0	40,9	28,3	35,4	21,9	35,9	37,7	23,0
58	76,5	43,6	10,5	0,0	50,3	13,6	0,0	0,0	0,0	24,6	4,3	0,0
Média Aritmética	35,1	30,3	19,9	21,5	41,7	23,5	21,0	19,7	12,7	19,9	18,4	11,9
Maior fila registrada	101,8	89,9	67,4	72,5	86,4	71,2	69,3	84,1	54,7	66,4	79,1	47,1
Mediana	31,9	32,6	18,3	19,5	48,2	20,6	16,9	14,8	7,9	22,0	12,2	4,2
Desvio Padrão	27,1	24,9	16,9	20,0	21,0	18,7	16,6	22,4	16,2	17,3	21,8	15,0

Tabela 51 — Comprimentos de fila, em metros, para o Cenário Crítico sem fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semaforo P1 +4 Verde	Semaforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semaforo P1 +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
12	99,8	105,4	29,0	83,6	154,5	39,1	26,5	39,1	25,9	54,3	24,9	18,9
14	141,2	145,3	53,7	90,5	185,2	53,8	46,4	52,0	37,8	63,2	34,0	44,9
16	121,6	115,0	37,6	88,2	174,8	34,4	20,3	48,3	21,1	54,7	21,0	15,2
18	131,4	117,6	19,9	58,7	159,8	27,4	14,7	14,8	14,7	15,5	14,9	15,6
20	139,4	103,7	26,0	59,2	150,1	33,8	22,5	27,7	21,2	28,0	27,3	21,7
22	175,1	175,1	27,4	85,3	207,6	35,3	22,2	34,5	21,6	66,4	48,2	16,6
24	171,4	159,8	44,4	138,3	201,5	46,5	39,6	54,5	22,6	70,9	54,3	23,1
26	141,0	126,6	20,9	66,4	169,4	13,0	13,9	13,2	0,0	14,2	9,2	0,0
28	150,2	106,4	7,9	49,7	175,6	16,4	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	162,6	139,4	28,0	55,3	223,7	29,9	20,1	22,5	17,4	24,5	23,8	19,0
32	155,7	120,5	33,1	68,6	198,2	50,8	40,2	46,0	37,9	57,6	56,2	27,1
34	168,5	150,3	20,4	111,7	216,8	31,6	28,8	39,9	17,4	64,8	38,2	20,4
36	176,4	161,1	27,4	65,4	221,7	38,1	35,4	33,5	26,3	44,4	26,1	20,0
38	167,7	144,1	33,5	54,1	223,8	37,4	33,5	29,1	27,8	32,4	24,0	19,5
40	217,1	164,3	21,5	47,9	279,3	29,1	17,3	21,5	16,8	35,8	18,3	5,3
42	153,1	142,7	19,4	33,6	242,9	27,8	17,7	14,2	9,6	14,7	8,8	0,0
44	192,8	177,1	42,3	57,7	233,2	44,2	50,5	32,0	23,0	53,8	36,6	23,1
46	225,6	244,6	104,5	132,8	261,5	86,0	75,5	99,9	88,3	132,5	97,2	88,6
48	174,6	179,2	79,6	105,3	227,4	65,1	31,9	75,0	31,1	88,1	56,5	22,9
50	180,1	163,0	94,3	116,9	235,7	61,2	28,0	65,0	22,1	106,8	39,6	20,9
52	175,0	154,6	73,9	112,1	209,9	32,7	34,5	45,0	7,8	77,7	19,1	0,0
54	113,6	74,2	0,0	31,3	176,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,0
56	131,0	92,8	0,0	0,0	165,0	6,5	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0
58	120,6	99,8	11,5	0,0	157,4	24,5	25,1	30,7	24,0	0,0	11,3	21,0
Média Aritmética	157,7	140,1	35,7	71,4	202,1	36,0	27,2	35,4	21,4	46,2	28,7	18,5
Maior fila registrada	225,6	244,6	104,5	138,3	279,3	86,0	75,5	99,9	88,3	132,5	97,2	88,6
Médiana	159,1	143,4	27,7	65,9	204,6	34,1	25,8	32,7	21,4	49,1	24,5	19,2
Desvio Padrão	30,8	36,7	27,5	36,8	35,6	18,9	16,5	23,4	18,0	34,7	22,5	18,7

Tabela 52 — Comprimentos de fila, em metros, para o Cenário Crítico com fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem Alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semaforo P1 +4 Verde	Semaforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semaforo P1 +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
12	40,7	27,6	36,9	34,2	41,1	22,7	27,6	14,7	33,0	14,7	18,0	21,4
14	57,2	46,9	56,2	34,8	53,7	35,7	40,3	31,4	46,0	33,8	31,5	40,0
16	80,9	33,8	54,0	27,5	53,2	19,7	20,6	21,3	20,8	10,1	10,2	19,5
18	127,1	31,9	28,1	26,3	61,8	25,3	21,9	10,2	22,3	18,2	9,2	15,2
20	70,3	43,2	33,9	31,5	49,2	32,0	41,6	35,2	35,2	13,7	15,1	26,7
22	105,5	61,3	45,9	62,6	72,4	35,6	47,3	63,8	53,1	26,6	21,4	25,8
24	169,3	88,2	54,8	133,3	214,0	47,2	55,9	97,0	45,7	38,2	28,6	36,7
26	145,3	87,6	92,8	94,3	114,8	39,6	52,7	68,1	73,3	11,3	6,0	24,0
28	153,7	34,0	41,0	16,2	76,7	8,2	6,6	19,9	34,5	9,5	0,0	20,8
30	136,8	60,9	66,7	35,9	134,8	33,2	45,7	33,9	48,0	32,8	20,9	34,6
32	149,4	58,9	29,9	26,5	173,6	27,1	28,0	19,8	28,9	24,7	18,7	26,1
34	89,4	22,5	10,5	0,0	84,0	13,2	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	79,2	14,8	9,6	40,1	79,0	19,9	14,9	9,3	6,7	38,9	7,5	8,3
38	36,9	8,9	18,7	0,0	64,7	7,0	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	56,6	37,3	44,6	14,7	68,2	24,2	38,8	23,0	9,7	18,5	10,3	11,0
42	52,1	50,4	89,3	31,6	72,6	24,8	50,1	19,1	33,7	24,5	19,7	53,7
44	45,3	23,9	30,9	23,1	68,2	15,2	20,4	11,7	7,4	27,6	10,2	11,2
46	88,1	62,5	91,6	63,6	165,5	45,9	42,9	53,4	57,7	83,0	40,8	46,5
48	103,7	77,5	73,6	76,3	188,2	34,4	22,7	47,6	44,9	63,5	35,2	21,6
50	106,9	78,3	83,0	93,7	170,8	31,0	22,2	39,4	34,2	51,8	22,6	16,1
52	110,0	54,2	33,1	49,6	189,0	13,4	14,8	10,1	21,4	30,8	0,0	10,6
54	55,5	12,7	6,6	0,0	79,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	14,5	0,0	0,0	0,0	65,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
58	11,8	0,0	0,0	0,0	57,1	21,8	29,1	10,7	0,0	0,0	9,7	0,0
Média Aritmética	86,9	42,4	43,0	38,2	99,9	24,1	27,7	26,7	27,4	23,8	14,0	19,6
Maior fila registrada	169,3	88,2	92,8	133,3	214,0	47,2	55,9	97,0	73,3	83,0	40,8	53,7
Médiana	84,5	40,2	38,9	31,6	74,6	24,5	25,1	19,9	30,9	21,5	10,3	20,1
Desvio Padrão	44,7	26,3	28,8	34,4	53,6	13,0	16,7	24,7	21,2	21,0	12,0	15,2

Tabela 53 — Comprimentos de fila, em metros, para o Cenário Crítico com fechamento +10%

Intervalo de tempo (min)	Sem Alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo P1 +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo P1/+6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
12	199,3	141,5	109,2	109,4	87,7	39,5	39,5	78,6	58,3	86,9	42,3	34,5
14	228,6	144,4	137,1	137,1	195,7	71,2	71,2	98,0	89,2	104,5	72,9	86,3
16	243,8	150,6	149,5	143,7	217,2	58,2	58,2	89,2	48,1	115,0	53,5	34,3
18	272,2	141,4	109,6	117,8	227,2	32,9	32,9	59,2	40,6	89,6	26,5	36,0
20	296,9	237,1	185,6	219,6	302,1	65,5	65,5	110,8	72,2	173,9	47,3	66,6
22	317,6	271,9	213,6	237,0	335,6	84,3	84,3	181,4	128,6	171,0	100,5	107,0
24	288,1	236,4	178,7	213,7	330,2	88,2	88,2	129,5	99,1	136,6	66,4	95,3
26	299,2	242,5	177,7	213,0	328,3	69,5	69,5	108,0	46,9	115,3	27,2	46,5
28	316,4	261,6	189,2	236,7	356,3	65,5	65,5	123,8	26,0	127,8	12,6	34,0
30	318,2	240,0	194,7	252,2	379,5	63,7	63,7	129,0	27,7	108,9	38,0	21,7
32	284,3	178,9	144,9	217,4	355,7	64,8	64,8	102,7	57,0	106,8	61,5	42,5
34	280,5	209,2	137,9	210,8	332,5	29,7	29,7	87,1	0,0	70,7	0,0	0,0
36	344,5	280,1	163,1	267,0	376,4	43,2	43,2	69,0	49,4	44,6	35,9	34,3
38	314,7	264,7	149,7	231,3	369,3	64,8	64,8	144,1	138,1	104,4	86,8	111,9
40	371,4	254,3	140,3	307,7	470,1	53,9	53,9	85,7	24,5	60,1	30,8	23,4
42	371,3	298,5	233,1	319,3	491,0	89,1	89,1	208,2	67,8	167,6	66,0	51,8
44	422,0	316,4	231,4	331,7	498,7	86,1	86,1	188,3	60,0	131,2	72,2	41,3
46	429,1	301,0	205,2	301,3	504,6	86,5	86,5	189,1	51,9	137,6	54,4	24,6
48	406,7	255,4	183,2	258,3	501,5	84,9	84,9	154,5	44,8	129,4	31,3	12,9
50	312,3	184,5	148,7	229,7	466,3	54,2	54,2	69,6	19,3	46,3	10,0	9,4
52	311,5	202,4	94,6	223,2	389,4	34,3	34,3	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54	293,6	142,0	78,4	189,8	364,5	16,8	16,8	22,4	9,7	0,0	9,1	0,0
56	298,9	84,8	53,2	178,0	380,5	20,4	20,4	14,3	20,8	14,7	14,2	21,3
58	324,1	165,1	112,1	224,0	465,2	33,1	33,1	41,2	37,5	37,2	35,5	35,1
Média Aritmética	314,4	216,8	155,0	223,7	363,6	58,3	58,3	104,9	50,7	95,0	41,4	40,4
Maior fila registrada	429,1	316,4	233,1	331,7	504,6	89,1	89,1	208,2	138,1	173,9	100,5	111,9
Médiana	311,9	236,7	149,6	223,6	366,9	64,3	64,3	100,3	47,5	105,7	37,0	34,4
Desvio Padrão	56,0	62,3	46,8	59,0	106,2	22,6	22,6	53,8	35,7	51,2	27,4	32,0

APÊNDICE J — Resultados das simulações para tempos de viagem

Tabela 54 — Tempos de viagem, em segundos, para as linhas 1 e 3 no Cenário Base

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo P1 +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo P1 +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	133,8	133,9	130,8	133,4	136,2	133,3	130,9	133,3	133,2	130,8	132,6	130,8
17												
20	82,6	84,3	80,9	82,5	89,3	82,4	84,4	82,5	82,6	82,5	80,9	80,8
23	104,0	104,0	104,0	104,0	104,1	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0
27												
30	130,1	130,1	136,9	134,5	139,8	138,0	132,9	134,6	130,0	132,9	132,5	127,4
33												
37												
40	77,9	77,1	77,1	76,5	78,0	77,3	77,9	76,9	77,1	76,2	76,1	76,1
43												
47												
50	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7	130,7
53	104,0	104,0	104,0	110,9	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	111,0	104,0	104,0
57	74,7	87,7	85,5	74,7	88,0	74,3	83,4	76,6	77,1	74,7	81,0	82,4
Média Aritmética	104,7	106,5	106,2	105,9	108,8	105,5	106,0	105,3	104,8	105,4	105,2	104,5
Maior tempo registrado	133,8	133,9	136,9	134,5	139,8	138,0	132,9	134,6	133,2	132,9	132,6	130,8
Médiana	104,0	104,0	104,0	107,5	104,1	104,0	104,0	104,0	104,0	107,5	104,0	104,0
Desvio Padrão	24,7	22,7	24,1	25,6	23,9	26,1	23,1	25,2	24,3	25,1	24,4	23,2

Tabela 55 — Tempos de viagem, em segundos, para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico sem fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo PI +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo PI +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	147,7	138,7	134,3	135,6	142,0	131,3	127,9	132,6	128,0	134,1	128,0	128,1
17												
20			76,0	75,9		75,9	75,7	76,0	76,0	70,9	76,0	75,9
23	148,9	147,3	104,0	130,5	195,9	104,0	104,0	104,0	104,0	109,2	104,0	104,0
27					226,9							
30		130,7	130,8	135,3		130,8	130,8	130,8	130,8	130,8	130,8	130,7
33	251,9				250,7							
37												
40	149,6	148,2	92,9	93,0	209,9	90,4	91,6	92,7	92,7	90,7	92,7	91,1
43												
47												
50	250,9	250,0	139,9	130,7	254,6	137,9	133,3	135,7	133,5	140,7	136,0	130,7
53	103,9	104,0	104,0	104,0	225,7	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0
57		90,8	69,9	69,8		69,5	69,5	81,5	69,9	69,8	69,5	81,0
Média Aritmética	175,5	144,3	106,5	109,3	215,1	105,5	104,6	107,1	104,8	106,3	105,1	105,7
Maior tempo registrado	251,9	250,0	139,9	135,6	254,6	137,9	133,3	135,7	133,5	140,7	136,0	130,7
Mediana	149,2	138,7	104,0	117,3	225,7	104,0	104,0	104,0	104,0	106,6	104,0	104,0
Desvio Padrão	61,3	51,5	26,6	27,4	38,3	26,1	24,8	23,5	24,6	27,8	25,1	22,3

Tabela 56 — Tempos de viagem, em segundos, para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico com fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo PI +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo PI +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	133,4	133,2	131,1	128,7	134,3	128,7	128,7	128,7	128,7	128,7	128,7	128,7
17												
20	76,0	86,3	76,0	70,9	89,2	76,0	76,0	87,9	70,9	76,0	76,0	76,0
23		103,7	103,7	128,7		103,7	103,7	103,7	103,7	103,7	103,7	103,7
27	226,7				223,7							
30	130,7	138,0	130,7	133,2	144,0	130,8	130,7	130,7	133,6	130,8	130,8	130,7
33												
37												
40	94,8	93,9	92,7	89,5	89,2	91,5	93,4	87,4	94,9	90,7	92,9	91,5
43												
47												
50	135,6	140,2	139,8	138,1	145,4	133,5	130,7	130,7	130,7	136,0	130,7	130,7
53	127,0	104,0	104,0	104,0	226,8	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0
57	81,6	81,4	81,4	79,7	87,7	83,0	81,2	79,8	78,1	79,8	79,7	78,0
Média Aritmética	125,7	110,1	107,4	109,1	142,5	106,4	106,0	106,6	105,6	106,2	105,8	105,4
Maior tempo registrado	226,7	140,2	139,8	138,1	226,8	133,5	130,7	130,7	133,6	136,0	130,8	130,7
Mediana	128,9	103,9	103,9	116,3	139,2	103,9	103,9	103,9	103,9	103,9	103,9	103,9
Desvio Padrão	47,4	23,8	24,1	26,5	56,6	22,5	22,1	21,1	24,0	23,5	22,4	22,8

Tabela 57 — Tempos de viagem, em segundos, para as linhas 1 e 3 no Cenário Crítico com fechamento +10%

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo PI +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/4 Verde	Quatro Faixas/4 Verde	Semáforo PI +6 Verde	Três Faixas/6 Verde	Quatro Faixas/6 Verde
13	188,8	129,3	135,8	129,2	142,2	133,8	129,3	135,4	134,5	138,5	132,2	131,0
17												
20						78,2	87,7		78,2	96,2	79,7	79,7
23	189,4	148,0	148,9	189,4	189,4	103,7	103,7	146,6	103,7	130,6	103,7	103,7
27	230,7			223,7	226,6							
30	153,5	130,9	142,3	152,1	151,7	133,8	131,0	135,9	131,0	135,9	131,0	131,0
33												
37												
40	210,0	146,1	144,7	206,7	209,9	98,7	89,1	144,7	89,0	95,6	89,1	89,0
43												
47												
50	250,5	252,3	150,4	250,5	252,3	137,1	130,6	130,5	130,5	130,5	130,6	130,5
53	224,0	108,7	108,7	225,6	224,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	108,7	108,7
57			69,7			69,7	86,0	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7
Média Aritmética	206,7	152,6	128,6	196,8	199,4	107,4	107,7	123,8	105,1	112,6	105,6	105,4
Maior tempo registrado	250,5	252,3	150,4	250,5	252,3	137,1	131,0	146,6	134,5	138,5	132,2	131,0
Mediana	210,0	138,5	142,3	206,7	209,9	103,8	103,8	135,4	103,8	117,3	106,2	106,2
Desvio Padrão	32,3	50,9	29,6	43,1	40,6	25,8	19,9	27,7	25,1	24,9	24,6	24,4

Tabela 58 — Tempos de viagem, em segundos, para a linha 2 no Cenário Base

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo PI +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo PI +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	210,4	205,3	205,3	210,5	211,4	205,3	205,3	205,3	205,3	208,2	205,3	205,3
17												
20	124,6	123,9	121,7	123,8		123,9	121,7	122,6	123,7	124,0	123,9	123,3
23					235,4							
27												
30	149,6	149,6	149,6	149,6	264,7	149,6	149,3	149,3	149,3	149,6	149,6	149,6
33												
37	185,6	179,8	175,0	175,1	179,8	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1
40												
43	210,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1	205,1
47												
50		124,1	124,2	126,3		124,3	124,1	124,2	123,6	124,4	124,1	126,9
53	235,4				235,4							
57												
Média Aritmética	186,0	164,6	163,5	165,0	222,0	163,9	163,4	163,6	163,7	164,4	163,8	164,2
Maior tempo registrado	235,4	205,3	205,3	210,5	264,7	205,3	205,3	205,3	205,3	208,2	205,3	205,3
Mediana	197,9	164,7	162,3	162,3	223,4	162,3	162,2	162,2	162,2	162,3	162,3	162,3
Desvio Padrão	41,7	37,6	37,7	38,0	29,5	37,2	37,7	37,5	37,4	37,8	37,2	36,8

Tabela 59 — Tempos de viagem, em segundos, para a linha 2 no Cenário Crítico sem fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semaforo P1 +4 Verde	Semaforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semaforo P1 +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	208,0	205,4	205,4	210,5	205,4	205,4	205,4	205,4	205,4	208,1	205,4	205,4
17												
20		124,3	126,3			126,6	125,4	125,9	126,5	139,0	126,0	126,2
23	241,9			237,9	235,2							
27												
30	269,7	144,6	144,6	144,7	267,4	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6
33												
37		175,1	175,1	175,1		175,1	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1
40	295,1				301,8							
43		205,1	205,1	208,0		205,1	205,1	205,1	205,1	205,2	205,1	205,1
47	328,1				330,0							
50		124,2	123,9			124,2	123,9	124,2	123,9		124,3	124,1
53	235,3			235,4	235,3					235,4		
57												
Média Aritmética	263,0	163,1	163,4	201,9	262,5	163,5	163,3	163,4	163,4	184,6	163,4	163,4
Maior tempo registrado	328,1	205,4	205,4	237,9	330,0	205,4	205,4	205,4	205,4	235,4	205,4	205,4
Mediana	255,8	159,8	159,8	209,2	251,4	159,8	159,8	159,8	159,8	190,1	159,8	159,8
Desvio Padrão	43,7	37,6	37,2	36,1	46,6	37,1	37,4	37,3	37,2	38,3	37,2	37,2

Tabela 60 — Tempos de viagem, em segundos, para a linha 2 no Cenário Crítico com fechamento

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semáforo Pl +4 Verde	Semáforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/Semáforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/Semáforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semáforo Pl +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13	209,0	205,4	205,4	208,1	212,4	205,4	205,4	205,4	205,4	205,4	205,4	205,4
17												
20		123,8	124,5			124,9	124,1	123,4	122,6	126,7	124,6	123,9
23	242,2			235,2	240,2							
27												
30	266,9	144,3	144,6	144,6	264,2	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6	144,6
33												
37	175,1	175,1	175,1	175,1	175,1	174,7	174,7	174,7	175,1	175,1	174,8	174,8
40												
43	207,8	205,1	205,1	208,0	212,1	205,1	205,1	205,1	205,1	207,8	205,1	205,1
47												
50		124,3	124,1	141,9		124,3	124,0	124,2	124,0	139,6	124,2	123,9
53	238,3				235,3							
57												
Média Aritmética	223,2	163,0	163,2	185,5	223,2	163,2	163,0	162,9	162,8	166,5	163,1	163,0
Maior tempo registrado	266,9	205,4	205,4	235,2	264,2	205,4	205,4	205,4	205,4	207,8	205,4	205,4
Mediana	223,7	159,7	159,8	191,5	223,9	159,7	159,7	159,7	159,8	159,8	159,7	159,7
Desvio Padrão	32,4	37,7	37,5	37,9	30,6	37,4	37,6	37,7	38,0	34,9	37,5	37,7

Tabela 61 — Tempos de viagem, em segundos, para a linha 2 no Cenário Crítico com fechamento +10%

Intervalo de tempo (min)	Sem alteração	Três Faixas	Quatro Faixas	Semaforo PI +4 Verde	Semaforo Av. da Universidade 93 verde	Três Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Quatro Faixas/+4 Verde/ Semaforo Av. da Universidade	Três Faixas/+4 Verde	Quatro Faixas/+4 Verde	Semaforo PI +6 Verde	Três Faixas/+6 Verde	Quatro Faixas/+6 Verde
13		205,3	204,7	210,0	210,1	205,0	205,4	205,3	205,0	214,3	205,3	205,4
17	325,4											
20		130,1	126,2			130,0	127,2	127,2	130,1		129,4	129,4
23	243,2			240,1	243,3					234,8		
27												
30	269,9	153,2	149,5	264,7	269,6	149,5	149,5	149,5	149,5	264,7	149,5	149,5
33												
37		175,0	175,0			175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0
40	295,9			296,4	295,0							
43		205,1	205,1	230,8		205,1	205,1	205,1	205,0	208,1	204,8	205,1
47	327,8				329,9							
50		124,4	123,9			123,7	123,1	123,8	123,1	124,2	124,1	122,8
53	239,0			235,3	237,0							
57												
Média Aritmética	283,5	165,5	164,1	246,2	264,1	164,7	164,2	164,3	164,6	203,5	164,7	164,5
Maior tempo registrado	327,8	205,3	205,1	296,4	329,9	205,1	205,4	205,3	205,0	264,7	205,3	205,4
Mediana	282,9	164,1	162,2	237,7	256,4	162,2	162,2	162,2	162,2	211,2	162,2	162,2
Desvio Padrão	39,1	35,6	36,7	30,3	43,3	36,0	36,8	36,6	36,1	48,9	36,0	36,4