

PEDRO BRAZINKAS CHIOVETTI

**Quantificação do impacto da implantação de faixas
intermitentes de ultrapassagem e priorização semafórica com
aplicação de intervenções na operação de ônibus**

**São Paulo
2022**

PEDRO BRAZINKAS CHIOVETTI

**Quantificação do impacto da implantação de faixas
intermitentes de ultrapassagem e priorização semafórica com
aplicação de intervenções na operação de ônibus**

Versão Corrigida

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências**

**Área de Concentração:
Engenharia de Transportes -
Informações Espaciais**

**Orientador: Prof. Dr. Cláudio Luiz
Marte**

**São Paulo
2022 – (Edição Original)
2022 – (Versão Corrigida)**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Chiovetti, Pedro

Quantificação do impacto da implantação de faixas intermitentes de ultrapassagem e priorização semafórica com aplicação de intervenções na operação de ônibus / P. Chiovetti -- versão corr. -- São Paulo, 2022.

116 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1. Sistemas Inteligentes de Transportes 2. Ônibus (Simulação)
3. Transporte Público I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transportes II. t.

Nome: CHIOVETTI, Pedro Brazinkas

Título: Quantificação do impacto da implantação de faixas intermitentes de ultrapassagem e priorização semafórica com aplicação de intervenções na operação de ônibus

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio dado aos meus estudos ao longo da minha trajetória acadêmica; aos meus professores pelo conhecimento transmitido; ao Arnaldo Pereira e ao Luciano Perón, cujas dissertações de Mestrado me ofereceram base para este trabalho; à Daniela Penteado, Renan Bruno e Jeniffer Sakai, cujo suporte computacional foi essencial para a conclusão desta dissertação; ao professor Edvaldo Fonseca, cuja disciplina me atraiu para o Departamento de Engenharia de Transportes.

Um agradecimento especial à minha noiva Mariana Del Moro, que em nenhum momento me deixou desistir e me empurrou de volta ao trabalho.

E, finalmente, agradeço ao Professor Cláudio Marte por mostrar o caminho, pela paciência, persistência e por acreditar neste trabalho.

A maneira mais comum das pessoas desistirem de sua força é pensando que não têm nenhuma.

(Alice Walker)

RESUMO

O sistema de ônibus é atualmente o modo de transporte mais utilizado pela população, mesmo nas cidades que possuem um sistema de transporte sobre trilhos devidamente estruturado. Porém, não se pode afirmar que a percepção da população quanto à qualidade do sistema seja boa, por conta dos frequentes atrasos e imprevisibilidade dos tempos de viagens. Existe uma cultura que dá preferência aos veículos particulares, o que leva ao esgotamento da capacidade do sistema viário. Os governos municipais vêm tomando medidas como a implantação de corredores e faixas exclusivas de ônibus. Entretanto, essas medidas não têm proporcionado um nível de melhoria de desempenho que mude significativamente a percepção dos usuários. Assim, buscar meios adicionais que ajudem a aumentar a qualidade do sistema ônibus tem sido uma questão de pesquisa relevante nas últimas décadas. O objetivo desta dissertação é propor um método sistemático para avaliar o impacto das intervenções operacionais, em termos quantitativos de aumento do desempenho do sistema de transporte coletivo em corredores de ônibus. Esta pesquisa focou nas seguintes intervenções: 1) faixas intermitentes (IBL); 2) priorização semafórica (TSP); 3) *Skip-stop*; e 4) Meia-Viagem. As duas primeiras se referem à intervenção na infraestrutura viária e as duas últimas são intervenções operacionais na frota. Buscou-se compreender melhor o comportamento do sistema quando os diferentes tipos de intervenções são aplicados, isoladamente ou de forma combinada. Os estudos foram realizados a partir de dados de velocidades dos ônibus, ciclos semafóricos e condições de operação do corredor de ônibus Santo Amaro – Nove de Julho, em São Paulo, obtidos junto à Companhia de Engenharia de Tráfego (CET-São Paulo) e São Paulo Transporte (SPTTrans). Os ganhos das intervenções foram quantificados por meio de simulação computacional, utilizando o micro simulador de tráfego VISSIM. Os experimentos realizados mostraram que as diferentes estratégias de intervenções podem alcançar reduções significativas de tempos de viagem dos ônibus da ordem de 10% a 20%, dependendo das intensidades das priorizações e da combinação de intervenções aplicadas. O presente estudo pode ser utilizado pelo gestor público para avaliar e planejar a aplicação de

intervenções mais apropriadas para as condições de trânsito e de transporte de sua cidade.

Palavras-Chave: Sistemas de Ônibus, Ultrapassagens em Pontos de Ônibus, Sistemas Inteligentes de Transporte, Faixas Intermitentes de Ônibus, IBL Priorização Semafórica, TSP.

ABSTRACT

The bus system is currently the most used mode of transport, even in cities with an adequately structured rail system. However, it cannot be said that the population's perception of the system's quality is good due to the frequent delays and unpredictability of travel times. Culture gives preference to private vehicles, which leads to the exhaustion of the road system's capacity. Municipal governments have been taking measures such as implementing bus corridor and exclusive lanes. However, these measures have not provided a level of performance improvement that significantly changes users' perceptions. Thus, looking for additional ways to help increase the quality of the bus system has been a relevant research question in recent decades. This dissertation aims to propose a systematic method to evaluate the impact of operational interventions, in quantitative terms, to increase the performance of the public transport system in bus corridors. This research focused on the following interventions: 1) intermittent bus lanes (IBL); 2) traffic sign prioritization (TSP); 3) Skip-stop, and 4) half-trip. The first two refer to intervention in the infrastructure, and the last two are operational interventions in the fleet. We sought to understand the system's behavior better when different types of interventions are applied, solo or in combination. The studies were carried out using data on bus speeds, traffic lights, and operating conditions in the Santo Amaro – Nove de Julho bus corridor in São Paulo, obtained from the Traffic Engineering Company (CET-São Paulo) and São Paulo Transport (SPTrans). The gains from the interventions were quantified through computer simulation using a VISSIM traffic micro simulator. The experiments showed that different intervention strategies could achieve significant reductions in buses travel times from 10% to 20%, depending on the intensities of the prioritizations and the combination of applied interventions. The public administrator can use the present study to assess and plan the most appropriate interventions for the traffic and transport conditions in their city.

Keywords: Bus Systems, Overtaking at Bus Stops, Intelligent Transport Systems, Intermittent Bus Lanes, IBL, Transit Signal Priority, TSP.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1: Evolução das viagens diárias por modo principal na RMSP	17
Tabela 2-1: Características operacionais do transporte coletivo, 2016	23
Tabela 2-2: Limitação de Paradas (“Skip-stop”) – Súmula Resultados por estudo	32
Tabela 2-3: Meias-Viagens (“deadheading”) – Súmula Resultados por estudo	34
Tabela 3-1: Características da frota considerada no projeto	53
Tabela 3-2: Volumes Medidos e Simulados	57
Tabela 4-1: Técnicas de Intervenções	60
Tabela 4-2: Programação das simulações da IBL.....	63
Tabela 4-3: Programação das simulações da IBL conjunta com Skip-stop.....	65
Tabela 4-4: Programação das simulações da IBL conjunta com Meia-Viagem	66
Tabela 4-5: Combinação de interseções que apresentaram melhores resultados de IBL conjunta com TSP em cada grupo	68
Tabela 4-6: Programação das simulações da IBL conjunta com TSP.....	69
Tabela 4-7: Combinação de interseções que apresentaram melhores resultados de IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem em cada grupo	70
Tabela 4-8: Programação da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem	70
Tabela 5-1: Resultados da simulação da IBL.....	72
Tabela 5-2: Resultados das simulações da IBL conjunta com Skip-stop	74
Tabela 5-3: Resultado das simulações da IBL conjunta com Meia-Viagem.....	75
Tabela 5-4: Resultados das simulações das melhores combinações da IBL conjunta com TSP em cada grupo	76
Tabela 5-5: Resultados das simulações da IBL conjunta com TSP	77
Tabela 5-6: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 no grupo 2	79
Tabela 5-7: Resultados das simulações das melhores combinações da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem em cada grupo	80
Tabela 5-8: Resultados das simulações da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem	80
Tabela 5-9: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 4	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: IPK do transporte coletivo, 2016.....	24
Gráfico 2-2: Faixas de serviço dos modais de transporte	35
Gráfico 3-1: Volumes de Automóveis	58
Gráfico 3-2: Volumes de Veículos Totais	58
Gráfico 3-3: Velocidades	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Distribuição modal das viagens internas (percentual em relação a cada grupo)	17
Figura 1-2: Divisão modal das viagens motorizadas 1967 - 2017	17
Figura 2-1: Sinalizações vertical e horizontal de faixa exclusiva	26
Figura 2-2: Recuo em parada de ônibus	26
Figura 2-3: Estação em Corredor de ônibus.....	28
Figura 2-4: Veículo com portas do lado esquerdo.....	28
Figura 2-5: Estação em corredor com acesso pelo lado direito do ônibus	28
Figura 2-6: Estação com cobrança desembarcada	30
Figura 2-7: Corredor BRT em São Paulo	31
Figura 2-8: Modo de operação da técnica de intervenção Skip-stop.....	32
Figura 2-9: Modo de Operação da técnica de intervenção Deadheading	33
Figura 2-10: Integração de Elementos ITS.....	35
Figura 2-11: Principais Estratégias de Prioridade Ativa	37
Figura 2-12: Estrutura funcional do EPICS	40
Figura 2-13: Funcionamento do sistema IBL.....	44
Figura 2-14: Arquitetura de um sistema de faixas intermitentes.....	45
Figura 2-15: Sinalização vertical de faixa dinâmica de ônibus em Portugal.....	46
Figura 3-1: Corredor de ônibus Santo Amaro-9 de Julho.....	49
Figura 3-2: Situação da Av. Santo Amaro em 2015	51
Figura 3-3: Seção tipo de 27 m de largura, sem canteiro central	52
Figura 3-4: Seção tipo de 36 m de largura, com canteiro central.....	52
Figura 3-5: Seção tipo de 36 m de largura, com estação de ônibus	52
Figura 3-6: Estação José Maria Lisboa na Avenida Nove de Julho	54
Figura 3-7: Trecho em estudo na Av. Nove de Julho	54
Figura 4-1: Localização das estações estudadas.....	61
Figura 4-2: Construção e Funcionamento da IBL no VISSIM.....	62
Figura 4-3: Interseções com controladores semafóricos na Av. Nove de Julho	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
APTA	American Public Transportation Association
ATCS	Adaptative Traffic Control Systems
AVL	Automatic Vehicle Location
BLIP	Bus Lane with Intermittent Priority
BRT	Bus Rapid Transit
FHWA	Federal Highway Association
IBL	Intermittent Bus Lane
IPK	Índice de Passageiros por Quilômetro
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento
ITS	Intelligent Transport System
LCD	Liquid Crystal Display
MV	Meia-Viagem
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
O/D	Origem e Destino
PIB	Produto Interno Bruto
PMV	Painel de Mensagens Variáveis
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
TCM-SP	Tribunal de Contas do Município de São Paulo
TP	Transporte Público
TSP	Transit Signal Priority

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTO	16
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	ESTRUTURA	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS	23
2.1.1	Faixa Exclusiva de Ônibus	24
2.1.2	Corredores Exclusivos de Ônibus	26
2.1.3	Bus Rapid Transit (BRT)	29
2.2	INTERVENÇÕES NA OPERAÇÃO DA FROTA DE ÔNIBUS	31
2.2.1	Skip-stop (Limitação de Paradas)	31
2.2.2	Deadheading (Meia-Viagem)	33
2.3	SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	34
2.3.1	Prioridade Semafórica (TSP)	36
2.3.1.1	EPICS (Entire Priority Intersection Control System)	39
2.3.2	Tecnologias de controle de faixas (Faixas Intermitentes)	43
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	47
3	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO	48
3.1	OBJETIVO DOS ESTUDOS	48
3.2	DETERMINAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	48
3.2.1	Breve histórico do trajeto	50
3.2.2	Características Operacionais do Sistema de Ônibus no Corredor	51
3.2.2.1	Geometria das Vias	51
3.2.2.2	Estações de ônibus	53

3.2.3	Trecho em Estudo	54
3.3	DADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE.....	55
3.4	PREPARAÇÃO DO SOFTWARE COMPUTACIONAL.....	55
3.4.1	Construção da rede	56
3.4.2	Carregamento da rede.....	56
3.4.3	Calibração da rede.....	57
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	59
4	MÉTODO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	60
4.1	CASO 1: SIMULAÇÃO DAS FAIXAS INTERMITENTES (TECNOLOGIA IBL).....	60
4.2	SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES COM APLICAÇÃO DE INTERVENÇÕES OPERACIONAIS.....	64
4.2.1	Caso 2: Aplicação de IBL conjunta com Skip-stop em uma linha de ônibus	64
4.2.2	Caso 3: Aplicação de IBL conjunta com Meia-Viagem em uma linha de ônibus	66
4.3	SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES EM COMBINAÇÃO COM TSP E MEIA-VIAGEM.....	66
4.3.1	Caso 4: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS	68
4.3.2	Caso 5: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS e Meia- Viagem em uma linha de ônibus	69
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	70
5	RESULTADOS ALCANÇADOS.....	72
5.1	CASO 1: SIMULAÇÃO DAS FAIXAS INTERMITENTES	72
5.2	SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES COM APLICAÇÃO DE INTERVENÇÕES OPERACIONAIS.....	73
5.2.1	Caso 2: Aplicação de IBL conjunta com Skip-stop em uma linha de ônibus	73

5.2.2	Caso 3: Aplicação de IBL conjunta com Meia-Viagem em uma linha de ônibus	74
5.3	SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES EM COMBINAÇÃO COM TSP E MEIA-VIAGEM.....	75
5.3.1	Caso 4: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS	75
5.3.2	Caso 5: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS e Meia-Viagem em uma linha de ônibus	79
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	82
6	CONCLUSÕES	84
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	APÊNDICE A	91
	APÊNDICE B	102
	APÊNDICE C	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O aumento da demanda por viagens nas cidades brasileiras tem se mostrado muito superior ao aumento da oferta. A Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) realiza, a cada 10 anos, uma pesquisa de Origem e Destino (O/D) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) para compreender a movimentação da população e servir como base para planejamentos de infraestrutura viária, sendo a primeira realizada em 1967 e a última em 2017. As pesquisas anteriores mostraram um aumento significativo nas viagens motorizadas, tendência verificada em todas as pesquisas já realizadas (METRÔ, 2018).

Esse aumento das viagens motorizadas é esperado, em especial por parte dos automóveis particulares. A origem desta política remonta ao Plano de Metas do Presidente Juscelino Kubistchek, que previa investimentos na construção de estradas por todo o país e na indústria automobilística, característica mantida em todos os governos até hoje. O desenvolvimento alcançado por este plano, associado à grande quantidade de privilégios dados para incentivar o uso de automóveis, e aos incentivos fiscais que a indústria automobilística recebeu acarretou em um aumento da infraestrutura rodoviária e da quantidade de automóveis circulando pelas ruas e estradas brasileiras (FARO & SILVA, 1991).

É comum que a população prefira utilizar cada vez mais os seus veículos privados. Aliado a isso há a falta de regularidade dos ônibus nas estações e pouco investimento em infraestrutura de Transporte Público (TP) no país, condições insuficientes para reverter o cenário descrito (ABREU *et al.*, 2016).

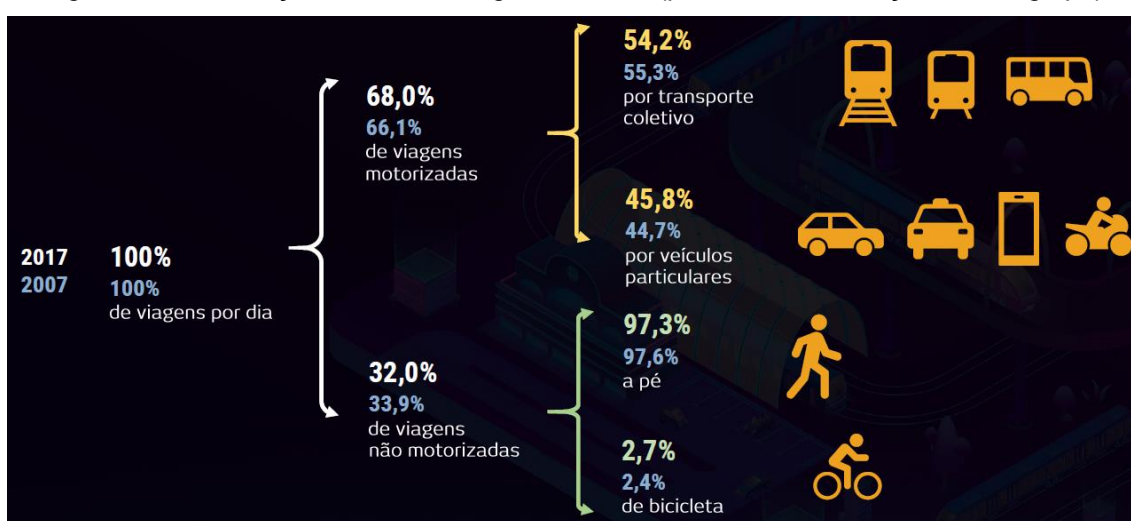
Este cenário é observado nas Pesquisas O/D, como pode ser visto na Tabela 1-1 e nas Figuras 1-1 e 1-2, que mostram a evolução das viagens diárias e da divisão modal das viagens na RMSP.

Tabela 1-1: Evolução das viagens diárias por modo principal na RMSP

Modo	Viagens											
	1967		1977		1987		1997		2007		2017	
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%
Coletivo	4.894	68,1	9.580	62,8	10.455	56,1	10.473	51,2	13.913	55,3	15.295	54,2
Individual	2.293	31,9	5.683	37,2	8.187	43,9	9.985	48,8	11.254	44,7	12.985	45,8
Motorizado	7.187	100	15.263	100	18.642	100	20.458	100	25.167	100	28.280	100
Bicicleta	-		71	1,2	108	1	162	1,5	304	2,4	377	2,7
A pé	-		5.970	98,8	10.650	99	10.812	98,5	12.623	97,6	13.350	97,3
Não-motorizado	0	0,0	6.041	100	10.758	100	10.974	100	12.927	100	13.727	100
TOTAL	7.187		21.304		29.400		31.432		38.094		42.007	

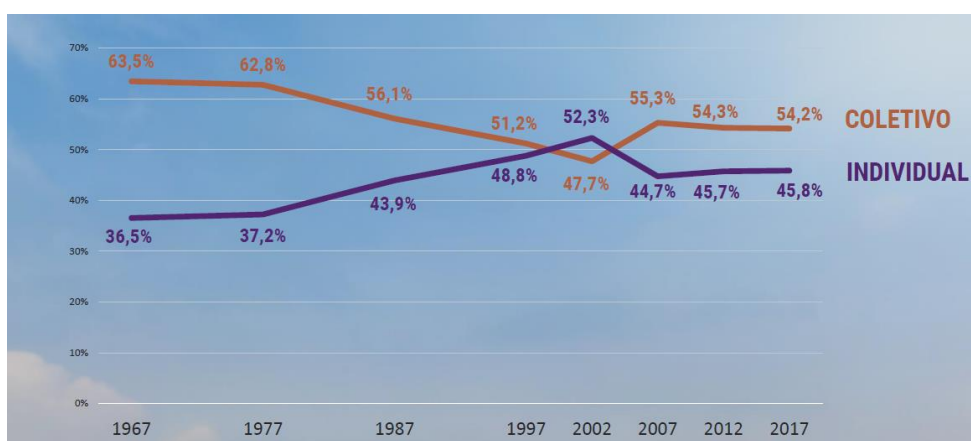
Fonte: São Paulo (2019)

Figura 1-1: Distribuição modal das viagens internas (percentual em relação a cada grupo)



Fonte: adaptado de São Paulo (2019)

Figura 1-2: Divisão modal das viagens motorizadas 1967 - 2017



Fonte: São Paulo (2019)

O termo “viagem” utilizado nas pesquisas O/D do Metrô é definido como o deslocamento de um ponto a outro, independentemente do modo que se utilize (metrô, ônibus, bicicleta, a pé, etc.), com um determinado motivo (trabalho, estudo, lazer, etc.) (VUCHIC, 2005). Uma viagem se inicia quando a pessoa deixa o local onde está e “entra” na rua. Quando o modo de transporte principal for o TP, o viajante deve se deslocar primeiramente até um local onde poderá embarcar e, ao deixar o veículo, se dirige ao local de destino (normalmente, assim como na primeira parte, este último trecho – a última milha – da viagem também é feito a pé ou de bicicleta).

Os usuários de TP costumam desconsiderar estes trechos a pé até os locais de embarque e preocupam-se mais com a qualidade da viagem no trecho onde estão embarcados (CANTWELL *et al.*, 2009). Para os brasileiros, o valor da tarifa é mais importante que a qualidade da viagem em si. Os pontos de embarque de metrôs e trens são as próprias plataformas das estações, enquanto os dos ônibus são os terminais ou os pontos de parada (estações) adjacentes às vias. Neste último caso, o poder público tem investido pouco em melhorar sua acessibilidade (ABREU *et al.*, 2016).

A maior parte dos recursos financeiros dedicados à implementação de tecnologias para a melhoria da circulação, os chamados ITS (Intelligent Transport Systems), são aplicados no controle de tráfego (prioridade semafórica para ônibus em interseções, por exemplo em Londres) e fiscalização do pagamento das tarifas nos coletivos (FREDERICO, 2018). A priorização semafórica de fato aumenta a velocidade operacional dos veículos gerando benefícios para os operadores do sistema, porém podem ser feitos investimentos de menor montante, se forem consideradas outras possibilidades de intervenções, como faixas de ultrapassagem para os ônibus, junto às estações.

Uma possibilidade de quantificar estes ganhos de velocidade é a partir de simulações de tráfego. As simulações permitem que sejam previstos os impactos de mudanças nas configurações viárias (positivos e negativos) sem afetar o tráfego, a partir de modelos (CUNTO & LOUREIRO, 2011).

A utilização de modelos para simulações do tráfego nas grandes cidades, como tentativa de predição de congestionamentos, tem sido constantemente adotada pelos órgãos responsáveis pelo gerenciamento do tráfego urbano

(PORTUGAL, 2005). Incluído nesses congestionamentos está o transporte público que, para seu melhor funcionamento, deveria estar segregado do tráfego de veículos particulares, em especial nas grandes avenidas.

A técnica de modelagem consiste em criar uma representação simplificada da realidade, focando em aspectos relevantes, segundo Ortúzar e Willumsen (2011). Já a simulação consiste no estabelecimento de um modelo do sistema a ser estudado, especificando-se com exatidão os seus componentes e suas respectivas variações (PAUL & BALMER, 1985).

Dependendo do nível de detalhamento escolhido, adotam-se modelos do tipo macroscópico ou microscópico (POYARES, 2000). Na abordagem microscópica, alvo desta dissertação, procura-se tratar veículos e usuários de forma mais individualizada, chegando assim a um maior detalhamento do sistema (PORTUGAL, 2005).

É possível aplicar as ferramentas de ITS nas simulações dos modelos de tráfego e medir seus impactos, auxiliando assim a tomada de decisões para intervenções físicas nas vias estudadas.

Segundo a Comissão Técnica de ITS, instalada em 2006 na Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), ficou definida como sua área de interesse todas as aplicações de tecnologia da informação no transporte e no trânsito. Segundo a ANTP, a aplicação de ferramentas de ITS tem por objetivos reduzir os custos operacionais, melhorar o desempenho dos sistemas gestores de transportes (urbano e regional, ou inter-urbano, passageiros e carga) e reduzir os impactos ambientais causados pela emissão de poluentes (ANTP, 2012).

Nesta dissertação, serão analisados os efeitos das técnicas IBL (Intermittent Bus Lane) em faixas para ultrapassagem, nas proximidades de estações, e a técnica de priorização semafórica TSP (Transit Signal Priority) utilizando o simulador de tráfego VISSIM. Além destas intervenções na infraestrutura, também serão analisados os efeitos das intervenções operacionais *Skip-stop* e Meia-Viagem na totalidade da frota de uma linha de ônibus.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como já foi descrito acima, a população em geral tende a preferir utilizar seus veículos particulares ao invés do transporte coletivo, devido ao conforto obtido

com o automóvel, apesar do congestionamento que estes causam (os usuários ainda se dizem vítimas por estarem presos no trânsito) (GUIVER, 2007), e dos novos incentivos que são dados aos veículos coletivos, como a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei n.º 12.587/2012).

Ainda assim, existe certo desconforto com os veículos lotados e a falta de regularidade dos ônibus nos horários de pico nas grandes cidades, principalmente, gerando discursos negativos e preterindo a imagem do sistema público de transporte. Um causador destes problemas é o congestionamento provocado principalmente pelos veículos particulares, que levam os ônibus a ficarem presos e não conseguem chegar ao destino final e iniciar uma nova viagem. Ou seja, trata-se de um círculo vicioso, onde se aumenta o número de carros porque os ônibus não são regulares e são lotados, e os ônibus não conseguem seguir seu cronograma porque há muitos carros na rua.

A quebra deste círculo somente será possível com uma percepção diferente sobre os ônibus pelos usuários de veículos particulares. Para tanto, é necessário o aumento da velocidade média dos ônibus. Como já foi apontado, os investimentos para essas melhorias, utilizando os ITS, podem ser feitos de diferentes maneiras, não necessariamente na parte eletrônica, mas também com uma tecnologia mais simples.

É possível encontrar na literatura casos de sucesso na implantação de faixas de ônibus intermitentes (IBL, em inglês), como em Lisboa, onde houve um aumento de 15% a 25% na velocidade dos ônibus (ZYRYANOV & MIRONCHUK, 2012). Deseja-se, com esta dissertação, contribuir com um método de se aplicar este tipo de tecnologia.

Seria talvez utópico pensar em uma migração em massa para o transporte público, uma vez que este se consolide como uma melhor opção para a realização de viagens urbanas, e conseqüentemente reduzindo o número de automóveis utilizando a via. Porém, para se atingir algo próximo, é necessário que se tomem providências neste sentido, e esta dissertação visa colaborar para que decisões no sentido de melhorar o conforto dos usuários no transporte público sejam feitas de maneira eficiente.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa de dissertação é quantificar os benefícios que podem ser trazidos pela implantação de faixas intermitentes de ônibus para ultrapassagens nas proximidades das estações, priorização semafórica e intervenções operacionais na frota, de forma isolada e também de forma conjugada.

Com a implementação da técnica IBL, estes veículos passam a ter uma melhor fluidez e, conseqüentemente, um menor tempo de percurso devido ao aumento de sua velocidade média.

Para os casos em que a frota de ônibus de uma linha circule sob determinadas intervenções operacionais, ou seja, que não atendam todos os pontos (*Skip-stop*) ou que retornem ao ponto inicial sem prestar serviço no sentido de menor carregamento (Meia-Viagem), por exemplo, é importante que estes ônibus não fiquem parados em filas, uma vez que não atenderão os usuários em espera, em todas as estações.

Além destas intervenções na frota de uma linha de ônibus, juntamente com a implementação das faixas intermitentes, são implementadas priorizações semafóricas (TSP) no corredor de ônibus, reduzindo ainda mais o seu tempo de percurso.

Para isso, serão realizadas simulações em *software* com diferentes cenários, utilizando as ferramentas de ITS (IBL, TSP) que serão descritas adiante, em conjunto com intervenções na operação dos ônibus (*Skip-stop* e Meia-Viagem). Estas simulações não levarão em conta o tempo de viagem dos passageiros, apenas dos veículos (ônibus e automóveis).

1.4 ESTRUTURA

O primeiro capítulo desta dissertação destinou-se à apresentação do tema. As razões e objetivos de sua escolha e a contextualização do mesmo no atual cenário.

O segundo capítulo é destinado à revisão bibliográfica, apresentando elementos da operação dos ônibus e de projetos viários destinados à faixas de ultrapassagens nas proximidades das estações, de modo a melhorar a fluidez destes veículos. Serão apresentadas também técnicas e definições de modelagem computacional de vias e operação de ônibus.

O estudo de caso a ser utilizado para a realização da pesquisa está apresentado no terceiro capítulo, onde são apresentadas uma justificativa para a escolha do local, suas características físicas, as fontes dos dados obtidos e as características da construção e calibração do modelo computacional.

O quarto capítulo apresenta o método utilizado e a experimentação nas simulações que foram feitas na realização desta dissertação e justificativas para suas realizações.

No quinto capítulo estão presentes os resultados das simulações descritas, assim como discussões e implicações acerca dos valores alcançados.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões desta dissertação, além de sugestões para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas as tecnologias empregadas em faixas de ultrapassagem nas estações de ônibus, e como estas podem ser empregadas conjuntamente com outras intervenções, tanto na infraestrutura quanto na operação da frota de ônibus.

2.1 TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

O serviço de TP por ônibus é o modo que mais transporta passageiros pelas cidades brasileiras. Apesar da baixa capacidade dos veículos, quando comparado ao metrô, é o modal que mais consegue penetrar nos bairros e captar passageiros. Por esse motivo, é também bastante prejudicado por competir por espaço na via com automóveis particulares (ANTP, 2018). A Tabela 2-1 mostra algumas características do TP de ônibus e trilhos nas cidades brasileiras em 2016.

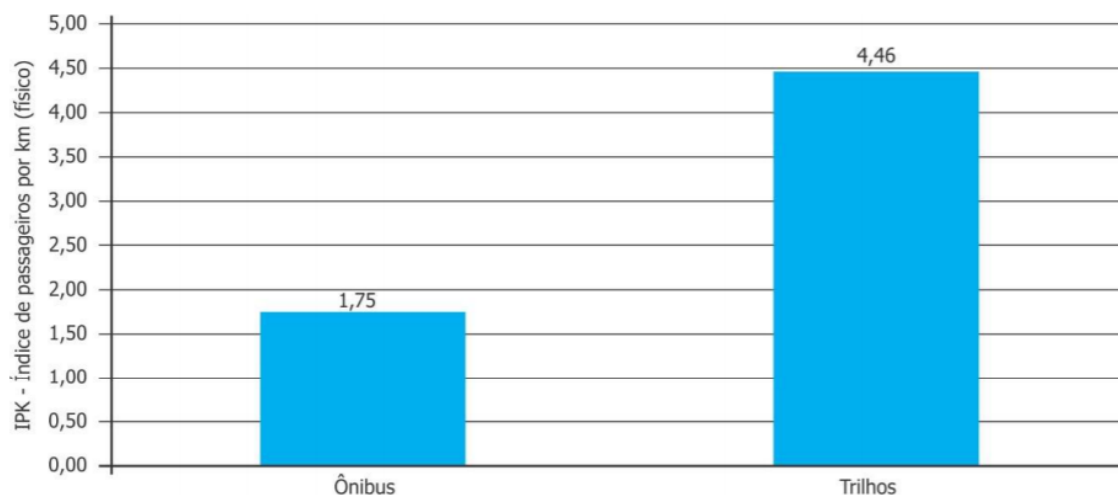
Tabela 2-1: Características operacionais do transporte coletivo, 2016

Modo	Passageiros transportados (milhões/ano)	Quilometragem em serviço (milhões/ano)	Frota
Ônibus (municipal + metropolitano)	15.939	9.087	115.613
Trilhos	2.397	537	4.383
Total	18.336	9.625	119.996

Fonte: SIMOB-2016, ANTP (2018)

Considerando a quantidade de passageiros transportados e a quilometragem total percorrida, pode-se calcular o IPK (índice de passageiros por quilômetro) destes dois tipos de transporte, como ilustrado no Gráfico 2-1.

Gráfico 2-1: IPK do transporte coletivo, 2016



Fonte: SIMOB-2016, ANTP (2018)

Comparando estes valores de IPK, é possível dizer o porquê de o poder público ter investido substancialmente no transporte sobre trilhos, causando certa deficiência no transporte por ônibus, onde ele passa a ser avaliado como opção ruim de viagem (FREDERICO, 2018). Porém, como a maior parcela de passageiros utiliza os ônibus, e devido ao baixo custo de implantação e operação de sistemas rodoviários, quando comparamos as infraestruturas dos outros modos de transporte, os ônibus se mostram como uma solução mais rápida de adoção para o transporte de passageiros.

Grande parte das pesquisas em Engenharia de Transportes trata de encontrar meios para aumentar a eficiência deste modal, em especial, como diminuir o tempo de viagem dos ônibus e aumentar sua velocidade média, foco também dessa dissertação. A seguir, serão descritos métodos para a priorização do TP de ônibus, onde é possível encontrar, em alguns casos, alterações físicas nas vias.

2.1.1 Faixa Exclusiva de Ônibus

Este é o método mais comum para a segregação do tráfego. Consiste em reservar a faixa da direita da via para a circulação exclusiva de ônibus em horários e dias determinados (no geral, durante os horários de pico). Isso reduz a interferência dos automóveis particulares, porém não é suficiente, pois ainda é permitido a estes que façam conversões à direita, portanto adentrando a faixa exclusiva nas proximidades das interseções. E ainda, como apenas a faixa da

direita da via está reservada, ao entrarem na via, os veículos tem permissão para utilizar a faixa exclusiva nesta interseção, devendo trocar para a adjacente o mais breve possível.

Em 2013, a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) apresentou ao Governo Federal uma proposta de melhoria e qualificação dos TPs nas cidades brasileiras. Esta proposta estava de acordo com uma resolução, aprovada no mesmo ano, pelo Conselho das Cidades, órgão consultor e deliberativo integrado ao Ministério das Cidades. As propostas previam intervenções físicas de pouca relevância nas vias e de retorno imediato para a população contemplada.

Para a implantação da Faixa Exclusiva são necessários elementos visuais para destacar sua existência, como: sinalização vertical (contendo os dias e horários de funcionamento da faixa) e sinalização horizontal, com espaço para manobras dos veículos particulares (Figura 2-1). É recomendado o uso de radares para inibir a invasão de veículos em determinados trechos da via. Quando possível, a construção de um recuo para a parada dos ônibus deve ser feita. Neste caso, um ônibus em que estejam embarcando/desembarcando passageiros não interfere no fluxo dos demais (Figura 2-2).

Apesar do uso compartilhado, as vantagens de uma faixa exclusiva são o baixo custo e o prazo de implantação (entre R\$ 100 mil a R\$ 500 mil por quilômetro, levando em conta que não há necessidade de desapropriações; levando de 1 a 6 meses). A faixa, por si só, consegue reduzir o tempo de viagem dos passageiros em cerca de 40%. Isso permite que os ônibus cheguem rapidamente ao destino para realizar uma nova viagem dentro da grade programada (NTU, 2013).

Figura 2-1: Sinalizações vertical e horizontal de faixa exclusiva



Fonte: Autor (2022)

Figura 2-2: Recuo em parada de ônibus



Fonte: Autor (2022)

2.1.2 Corredores Exclusivos de Ônibus

Os corredores de ônibus são formas mais complexas das faixas exclusivas. Primeiramente, os ônibus nos corredores não compartilham a via com os outros automóveis (faixa segregada das demais), portanto a circulação é restrita apenas a eles, em período integral. As estações são maiores e por vezes contém informações sobre as viagens (característica comum dos

sistemas Bus Rapid Transit - BRT, a serem tratados a seguir). Além disso, ficam na faixa da esquerda da via e possuem tachões (elemento de sinalização horizontal) no limite da faixa, o que garante a não interferência nas conversões à direita dos automóveis particulares e a não invasão da faixa do corredor, respectivamente, casos recorrentes quando temos faixas exclusivas.

Os investimentos em corredores exclusivos são mais elevados que os das faixas devido a essa infraestrutura mais arrojada. A construção de obras deste tipo demanda mais tempo, e por vezes, acarretam problemas políticos no sentido eleitoral. Apesar de poderem iniciar as operações sem que todos os seus componentes estejam instalados (HIDALGO & CARRIGAN, 2010), no Brasil, principalmente, a inauguração de obras de mobilidade na proximidade das eleições tende a dar visibilidade midiática para o candidato cujo partido está no poder, o que faz com que os políticos pressionem as construtoras a acelerarem as obras e os operadores do sistema a iniciar a operação tão logo quanto possível (LINDAU, HIDALGO & LOBO, 2014).

Existe a possibilidade de se alocar uma faixa adjacente ao corredor, nas estações, para que os veículos possam ultrapassar uns aos outros, quando finalizar o embarque e desembarque de passageiros ou quando o ônibus não prestar serviço naquela estação. Neste caso, segundo Valencia (2012), há uma diminuição no tempo de percurso e do atraso dos veículos de 2 a 7%, dependendo do fluxo de ônibus, e, conseqüentemente, um aumento na velocidade média dos mesmos.

Os corredores de ônibus são construídos, normalmente, em vias de maior capacidade e com canteiro central, para que haja melhor circulação dos passageiros, podendo inclusive atravessar a plataforma e embarcar em um ônibus no outro sentido sem atravessar a rua (Figura 2-3). Os veículos que circulam pelos corredores normalmente possuem portas do lado esquerdo para embarque/desembarque de passageiros (Figura 2-4). Porém, é possível utilizar veículos com portas do lado direito (ou em ambos os lados) para circular nos corredores. Neste caso, as estações em sentidos opostos são deslocadas e é necessário atravessar a via do corredor para embarcar em um ônibus no sentido contrário (Figura 2-5).

Figura 2-3: Estação em Corredor de ônibus



Fonte: Google Street View (2018)

Figura 2-4: Veículo com portas do lado esquerdo



Fonte: Reprodução/Mobilidade Sampa (2015)

Figura 2-5: Estação em corredor com acesso pelo lado direito do ônibus



Fonte: Google Street View (2017)

2.1.3 Bus Rapid Transit (BRT)

O Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP, em inglês) define o BRT como “um flexível, constante e confiável sistema de ônibus, que combina uma variedade de elementos físicos e operacionais em um permanente e integrado sistema, com uma imagem de qualidade e uma identidade única”. Para ser classificado como um corredor BRT, o ITDP (2014) define cinco características essenciais. São elas a infraestrutura segregada com prioridade, o alinhamento das vias de ônibus, a cobrança da tarifa fora do ônibus, o tratamento das interseções e a plataforma de embarque em nível.

São dois os maiores exemplos de operação de um sistema BRT na América do Sul: o de Curitiba, no Brasil, e o de Bogotá, na Colômbia. O primeiro sistema deste tipo foi planejado pelo arquiteto Jaime Lerner, em 1974, em Curitiba, visando organizar a cidade através da mobilidade e modernizar os sistemas de ônibus existentes. A ideia se popularizou devido ao seu sucesso, e a malha do sistema se expandiu.

Com a criação de novas plataformas, que permitiram aos usuários embarcar já no nível do piso dos ônibus (igual aos sistemas sobre trilhos) e pagar a tarifa antes do embarque (Figura 2-6), o processo de embarque e desembarque de passageiros é agilizado.

Para que o sistema seja viável econômica e operacionalmente, alguns fatores de projeto devem ser levados em conta, como a distância entre as estações, a integração do sistema com outros modais de transporte, o headway dos veículos, a tarifa a ser cobrada e a tecnologia a ser utilizada na operação. O estudo realizado por Hensher & Li (2012) mostra a elasticidade da demanda de acordo com estes fatores e quais deles mais afetam, positiva e negativamente, a operação do corredor, sendo que algumas características tecnológicas (cobrança da tarifa desembarcada dos veículos, plataforma em nível com o assoalho do ônibus), por si só, já aumentam a velocidade comercial do sistema, atraindo passageiros.

Os corredores também não podem ser tratados isoladamente, uma vez que fazem parte do sistema estrutural de transportes e proporcionam transferências mais convenientes com outros modais. No estudo de Hensher & Li (2012) também foram comparadas as densidades populacionais com a quantidade de passageiros transportados diariamente, e a influência do Produto Interno Bruto

(PIB) per capita a nível municipal, chegando à conclusão de que quanto maior a densidade populacional de uma região, maior o número de passageiros do sistema, porém o PIB per capita age inversamente, pois entende-se que quanto maior a renda de uma população, maior a probabilidade desta possuir mais veículos particulares, o que diminui a demanda por TP.

Uma das principais características do sistema BRT é sua maior velocidade, quando comparada com corredores de ônibus comuns, daí a viabilidade de sua implantação. Para garantir esta velocidade alta, além da via segregada dos outros veículos, impedindo interferências, o tratamento das interseções e as estratégias de operação são essenciais para a eficiência do sistema (Figura 2-7).

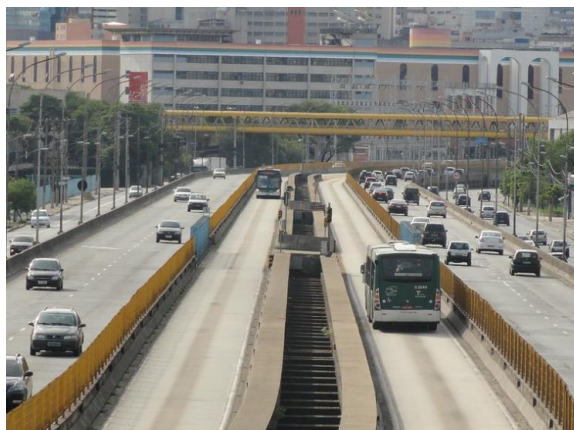
Existe em operação um BRT na cidade de São Paulo, conhecido como Expresso Tiradentes, que liga o Terminal Parque Dom Pedro II ao Terminal Sacomã, próximo ao bairro Ipiranga, com aproximadamente 8km de extensão. A velocidade média praticada neste corredor em 2015 foi superior a 40km/h nos horários de pico, tanto da manhã quanto à tarde, segundo dados do Tribunal de Contas do Município de São Paulo (TCM-SP, 2016).

Figura 2-6: Estação com cobrança desembarcada



Fonte: Cesar Brustolin (2017)

Figura 2-7: Corredor BRT em São Paulo



Fonte: Emerson Chaves (2014)

2.2 INTERVENÇÕES NA OPERAÇÃO DA FROTA DE ÔNIBUS

As técnicas de intervenções aqui estudados visam aumentar a oferta por meio do incremento da velocidade comercial, que faz com que seja reduzido o tempo de ciclo, permitindo mais partidas com a mesma frota. Assim, elas beneficiam os passageiros, que podem ver reduzidos seus tempos de espera nas estações, e os operadores, que conquistam mais eficiência na operação.

No entanto, pode haver conflitos entre estes dois objetivos: a redução de custo para o operador pode acarretar em aumento do tempo de viagem do usuário que se encontra no sentido no qual é aplicada uma das duas intervenções. Os benefícios precisam ser compensados de forma a reduzir o tempo total de viagem para a maioria dos passageiros.

Dentre as intervenções existentes, destacam-se o *Skip-stop* e o *Deadheading*, que apresentam melhores resultados em termos de redução dos tempos de viagem.

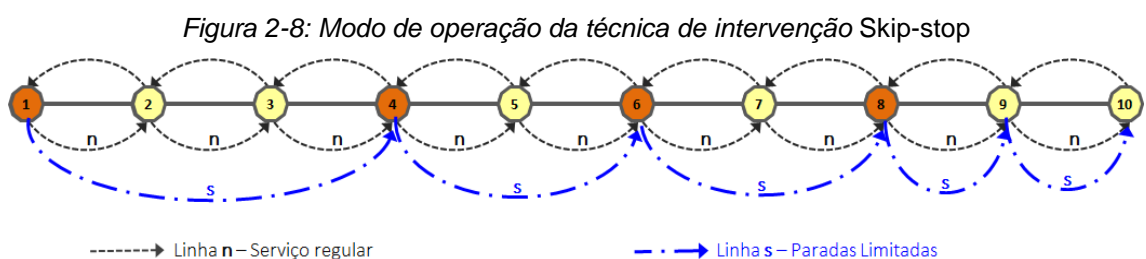
2.2.1 Skip-stop (Limitação de Paradas)

Esta intervenção pode ser aplicada na frota de ônibus, onde determinados ônibus de uma frota não prestam atendimento em uma ou mais estações pré-determinadas. Esta técnica reduz o tempo de viagem dos ônibus operando sob esta intervenção, uma vez que, sem realizar o atendimento em uma estação, o veículo não perde tempo com o embarque e desembarque de passageiros, desaceleração e aceleração nas imediações da estação.

Apesar desta redução no tempo de viagem, que beneficia os operadores (tornando a linha mais eficiente e, conseqüentemente, reduzindo custos) e os passageiros embarcados (que chegam mais cedo aos seus destinos), há ainda um prejuízo para os usuários da linha que ficam esperando nos pontos não atendidos (LARRAIN & MUÑOZ, 2016).

A aplicabilidade desta intervenção nas cidades brasileiras é prejudicada pela necessidade de informação prévia, tanto para os passageiros nas estações que não serão atendidas, quanto para os embarcados que desejariam desembarcar.

O diagrama da Figura 2-8 ilustra o funcionamento dessa técnica de intervenção com o serviço regular em algumas linhas e o serviço de Limitação de Paradas numa outra linha.



Fonte: Pereira (2018)

Pereira (2018) reuniu estudos sobre esta técnica feitos em corredores de ônibus de diferentes cidades pelo mundo. Os resultados alcançados envolvendo esta técnica são apresentados na Tabela 2-2.

Tabela 2-2: Limitação de Paradas (“Skip-stop”) – Símula Resultados por estudo

AUTOR(ES)	OBJETO	ESTAÇÕES	DADOS	VARIÁVEL DE CONTROLE	RESULTADOS (% REDUÇÃO)
Eberlein (1995)	Metrol de Boston, EUA	52	Reais	Custo (pax.min)	1,0% a 15,6% (1)
Fu, Liu e Calamai (2003)	Rota de ônibus 7D Waterloo, CAN	28	Reais	Custo (pax.min)	5,62% (2) a 18,1% (3)
Leiva et al (2010)	Corredor de ônibus Santiago, CHI	19	Plano de Demandas	Custo (pax.min)	6,0% a 8,7%
Larrain, Giesen e Muñoz (2010)	Corredor de ônibus (4) Santiago, CHI	19	Plano de Demandas	Custo (pax.min)	0,0% a 6,0%
Feng, Wen-tao e Dian-hai (2013)	Corredor de ônibus Hangzhou, CHN	11	Reais	Custo (pax.min)	6,4% (5)

Fonte: Adaptado de Pereira (2018)

Em seu estudo, ainda simulou a aplicação desta técnica em uma frota de ônibus na Cidade de São Paulo, chegando a uma redução de 2,9% a 4,5% no

tempo de viagem desta frota, a depender da intensidade da aplicação da intervenção (PEREIRA, 2018).

2.2.2 Deadheading (Meia-Viagem)

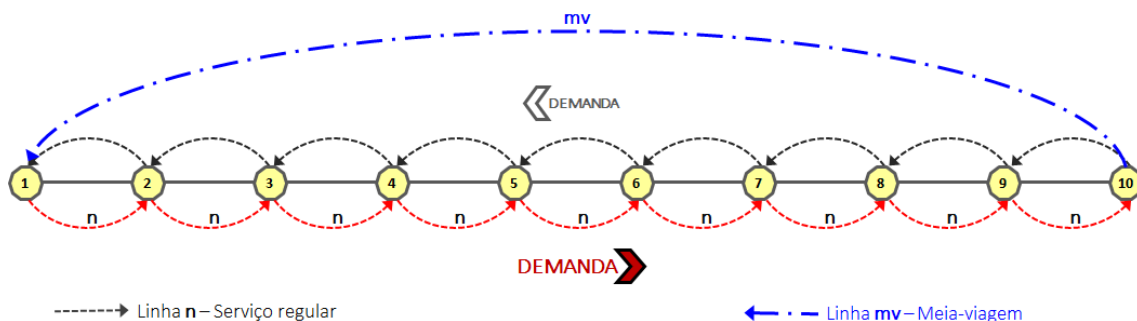
Uma variação do *Skip-stop*, a Meia-Viagem consiste em um ônibus não prestar atendimento em nenhuma estação em um dos sentidos. Isto permite que os ônibus operando sob esta intervenção cheguem antes ao ponto final, podendo iniciar uma nova viagem no outro sentido. Para os operadores da linha, permite ainda uma frota menor de ônibus circulando, o que reduz os custos da operação.

Normalmente é utilizada nos sentidos de menor demanda de linhas pendulares (grandes quantidades de passageiros nos horários de pico para um ou outro sentido). Deste modo, os efeitos negativos (maior tempo de espera nas estações não atendidas) são inferiores aos efeitos positivos.

Nas cidades brasileiras, a técnica de Meia-Viagem aparenta ser razoavelmente aplicável, principalmente porque, no sentido sem serviço, não há no ônibus indicação da linha para a qual ele presta serviço, não havendo, portanto, necessidade de comunicação prévia aos passageiros esperando nas estações não servidas.

O diagrama da Figura 2-9 ilustra o funcionamento dessa técnica de intervenção, mantendo um serviço regular no sentido de maior demanda e aplicando a técnica de Meia-Viagem no sentido de menor demanda.

Figura 2-9: Modo de Operação da técnica de intervenção Deadheading



Fonte: Pereira (2018)

Pereira (2018) também reuniu estudos sobre esta técnica feitos em corredores de ônibus de diferentes cidades pelo mundo. Os resultados alcançados envolvendo esta técnica são apresentados na tabela 2-3.

Tabela 2-3: Meias-Viagens (“deadheading”) – Símula Resultados por estudo

AUTOR(ES)	OBJETO	ESTAÇÕES	DADOS	VARIÁVEL DE CONTROLE	RESULTADOS (% REDUÇÃO)
Furth (1985)	Rota 14 de Bondes São Francisco, EUA	N/I	Reais	Frota (ônibus)	6,9% e 10,3%
Eberlein (1995)	Metrô de Boston, EUA	52	Reais	Custo (pax.min)	1,2% a 20,7% (1)
Leiva et al (2010)	Corredor de ônibus Santiago, CHI	19	Plano de Demandas	Custo (pax.min)	8,7%
Larrain, Giesen e Muñoz (2010)	Corredor de ônibus (2) Santiago, CHI	19	Plano de Demandas	Custo (pax.min)	0,0% a 6,0%

Fonte: Adaptado de Pereira (2018)

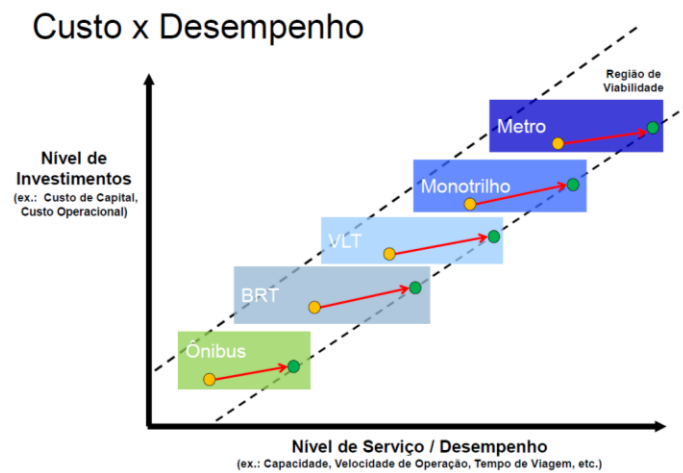
Em seu estudo, também simulou a aplicação desta técnica em uma frota de ônibus na Cidade de São Paulo, chegando a uma redução de 8,5% a 12,9% no tempo de viagem desta frota, a depender da intensidade da aplicação da intervenção (PEREIRA, 2018).

2.3 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, em inglês) são ferramentas da tecnologia da informação aplicadas de modo a melhorar a eficiência do transporte como um todo, em diversos setores, como segurança, qualidade e desempenho, tanto para a automação de processos quanto para a gestão das informações.

A implantação do ferramental ITS se relaciona diretamente com as estratégias de planejamento, que garantem uma operação sustentável e rentável. Dentre as metas esperadas estão a redução dos custos operacionais, a melhoria do desempenho dos sistemas de gerenciamento dos transportes urbanos, a racionalização de investimentos e a redução dos impactos ambientais (ANTP, 2012). O Gráfico 2-2 exemplifica o conceito da aplicação do ITS nos sistemas de transporte, onde os pontos amarelos representam o atual nível de serviço x investimento e os pontos verdes indicam o nível de serviço x investimento que os sistemas podem atingir ao se aplicar ferramentas ITS.

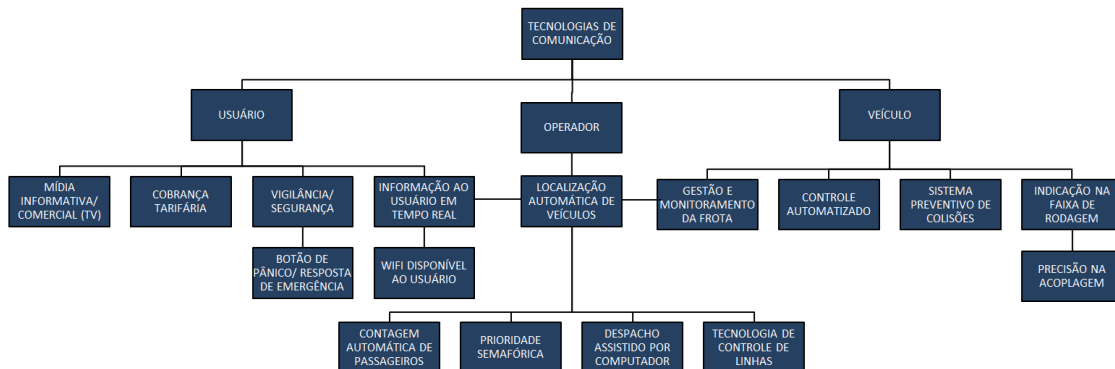
Gráfico 2-2: Faixas de serviço dos modais de transporte



Fonte: Notas de Aula dos Profs. Leopoldo Yoshioka e Claudio Marte

A Associação Americana de Transportes Públicos (APTA) publicou um documento com práticas recomendadas para a aplicação de ferramentas ITS em corredores de ônibus e corredores BRT. As ferramentas foram separadas em três destinações: usuário, operador e veículo. A Figura 2-10 exemplifica essas ferramentas e como elas se integram.

Figura 2-10: Integração de Elementos ITS



Fonte: Adaptado de APTA (2010)

As ferramentas para o usuário são aquelas as quais este tem benefício diretamente envolvido e os ajudam a tomar decisões sobre o trajeto escolhido, que ônibus utilizar e o conforto garantido na viagem. As ferramentas para o veículo estão ligadas ao funcionamento, operação e manutenção dos mesmos, podendo facilitar sua condução e, através de indicadores obtidos por sensores instalados, dar um feedback para motoristas e operadores sobre como

melhorar a eficiência dos veículos. Por fim, as ferramentas para o operador permitem que estes tomem decisões de modo a otimizar a eficiência do sistema e garantir o seu funcionamento.

A seguir serão tratadas algumas das ferramentas mostradas na Figura 2-8, descrevendo seus usos e benefícios. A descrição das ferramentas para o usuário, para o veículo e as para o operador que não serão utilizadas nesta dissertação, podem ser encontradas no Apêndice A. Dentre estas tecnologias estão as de maior foco deste trabalho, as quais serão analisadas mais profundamente aqui.

2.3.1 Prioridade Semafórica (TSP)

Intervenções na frota podem não ser exequíveis devido à dificuldade em acelerar os ônibus em situações de congestionamento ou mesmo em vias compartilhadas com outros veículos. (PERON, 2015). Nestes casos, uma solução a ser considerada é a utilização de uma técnica que prioriza os ônibus nas interseções sinalizadas. Essa técnica é denominada *Transit Signal Priority* (TSP) (DALE, BAUER e WON, 2009).

Cidades como Los Angeles, Portland, Vancouver e Zurich implantaram o TSP como medida para melhorar o desempenho do transporte coletivo, em particular, o ônibus. Nessas cidades foram obtidas significativas reduções dos tempos de viagem dos ônibus e aumento da regularidade do sistema sem causar impactos consideráveis nas condições de tráfego do sistema não priorizado (KIM, PARK e CHON, 2011).

Dentre as estratégias desta ferramenta, temos a priorização Passiva, Ativa (ou Adaptativa), e dentro deste caso pode ainda ser classificada como Condicional ou Incondicional. Na primeira, os tempos semafóricos são ajustados manualmente através de *softwares*, onde há prioridade para o local que possui uma maior aproximação de passageiros na interseção. Isso pode ser feito, por exemplo, estendendo-se o tempo de verde para os ônibus em detrimento das vias transversais.

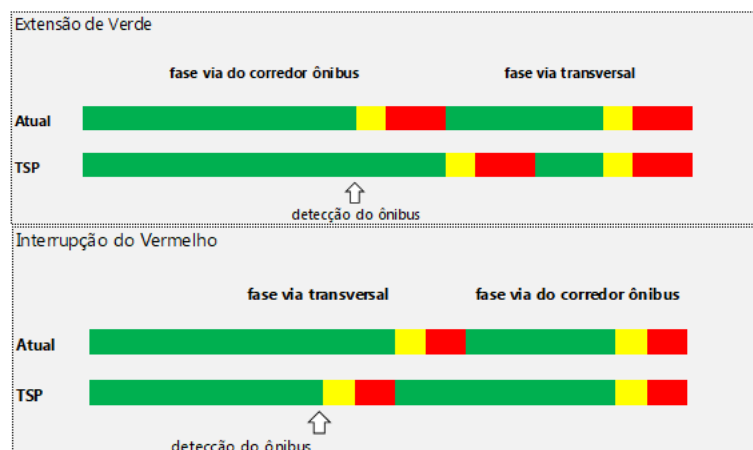
Na priorização Ativa há a detecção de veículos no entorno das interseções e depende das condições de tráfego. O sistema ativo prevê o instante de chegada dos veículos à interseção, alterando os tempos semafóricos de modo a permitir o avanço dos ônibus. Para o funcionamento desta estratégia é

necessário que o sistema AVL esteja implantado nos veículos (OLIVEIRA NETO, 2004).

O caso de prioridade Ativa Incondicional é bastante simples, no sentido em que, se há um ônibus se aproximando da interseção, ele deve passar, seja interrompendo o vermelho, estendendo o verde no ciclo semafórico da via ou suprimindo a fase de verde da transversal à via onde circula o ônibus que se quer priorizar.

Por fim, a prioridade Ativa Condicional é utilizada para interseções semafóricas próximas entre si, quando há a necessidade de coordenação dos semáforos. Neste caso, a interrupção de um ciclo deve ser avaliada para todas as vias transversais, de modo a não causar impactos significativos na rede como um todo (PERÓN, 2015). A Figura 2-11 apresenta as duas principais estratégias de prioridade ativa.

Figura 2-11: Principais Estratégias de Prioridade Ativa



Fonte: PERÓN (2015) adaptado de ALEMÁN (2013)

A técnica TSP é uma parte dos sistemas adaptativos de controle de tráfego (*Adaptive Traffic Control Systems - ATCS*). Os ATCS buscam responder, de forma ativa, à oscilação de demanda, variando as programações semafóricas para adaptá-las à situação detectada, em função dos sensores na via. (BIASE, 2019). Assim, pode ser dada prioridade a alguns ônibus em interseções e estes não ficam parados.

Durante algumas décadas se observou a implantação de diferentes gerações de ATCS ao redor do mundo. A cidade de São Paulo implantou, nos anos noventa, um ATCS com tecnologia baseada no sistema SCOOT (*Split Cycle*

Offset Optimization Technique), que chegou a controlar da ordem de novecentas interseções (MING, 1997).

Estes sistemas aplicam algoritmos diferentes para permitir um melhor aproveitamento da rede viária, possibilitando alcançar um aumento das velocidades médias dos veículos, resultado de uma maior fluidez do tráfego e de um menor tempo de espera nos cruzamentos (AHMED; HAWAS, 2015), e se diferenciam pela lógica de previsão utilizada e pelos indicadores de desempenho que visam otimizar (STEVANOVIC, 2010). Otimizam-se índices relacionados aos seguintes indicadores de desempenho: atrasos, velocidades, tempo de viagem, números de paradas, entre outros. O SCOOT se propõe a minimizar o atraso relativo das paradas nas interseções (HUNT *et al.*, 1982). Enquanto o sistema BALANCE (*Balancing Adaptive Network Control Method* - MERTZ, 2001), desenvolvido pela PTV Group (empresa de *softwares* e consultoria em mobilidade), tem como objetivo a minimização dos valores dos atrasos, do número de paradas, dos tempos de viagem e do comprimento das filas, geradas dentro da área controlada.

Uma questão a ser considerada quando se fala de sistemas ATCS diz respeito ao nível de centralização da estratégia de otimização de tais sistemas. Os sistemas centralizados têm a vantagem de conseguirem “olhar” a rede inteira e de proverem uma otimização mais abrangente. Mas, por outro lado, sofrem de problemas de processamento e dependem da rede de comunicação, fatores que podem tornar a atuação em tempo real ineficiente. Além de poderem ser inviáveis economicamente, especialmente se for considerado o caso das grandes cidades como São Paulo (MCKENNEY; WHITE, 2013; HAWAS, 2011). Por outro lado, abordagens locais, em que a otimização é feita exclusivamente em relação a uma determinada interseção, apresentam rapidez de execução e não necessitam de uma conexão com uma central. Mas, por outro lado, são totalmente cegas ao que acontece nas interseções adjacentes. Assim, a otimização de uma interseção, em presença de determinadas condições de tráfego, pode resultar em uma degradação do desempenho para a área ao redor (GERSHENSON; ROSENBLUETH, 2012).

Uma possível solução para este problema consiste em estruturar os sistemas de forma hierárquica, em que a otimização é realizada por etapas sequenciais, nas quais os dados são primeiramente processados, a partir de horizontes

temporais e espaciais mais amplos, para serem sucessivamente refinados localmente, com um crescente nível de detalhe, até chegar ao cruzamento particular (YANG; JAYAKRISHNAN, 2015).

A solução estruturada hierarquicamente é adotada por alguns dos mais importantes sistemas ATCS como o SCOOT e o BALANCE, os quais se utilizam de diferentes níveis, visando melhorar ao máximo o desempenho da rede semafórica.

No caso específico do BALANCE a atuação hierarquizada se dá através da cooperação com sistemas de otimização local, como o sistema EPICS (*Entire Priority Intersection Control System*) seu parceiro natural, pois foi desenvolvido pela mesma empresa (PTV Group) e cujo objetivo é minimizar o atraso e o número de paradas de uma interseção. Os sistemas de otimização local operam variações do plano semafórico e eventuais estratégias de priorização de veículos especiais, como os ônibus, numa particular interseção, dentro de vínculos estabelecidos pelo nível superior (BRAUN *et al.*, 2008).

2.3.1.1 EPICS (Entire Priority Intersection Control System)

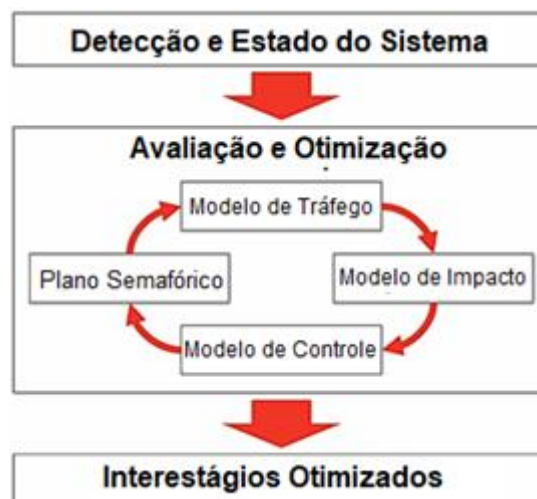
A técnica TSP foi computacionalmente implementada nesta dissertação com o uso do módulo EPICS, que é um sistema de controle adaptativo local, isto é, um sistema que a partir de dados em tempo real e de modelos de tráfego, otimiza a sequência e o tempo de duração dos estágios semafóricos em uma única interseção, através da constante avaliação da manutenção ou da mudança de indicadores de desempenho. A possibilidade de prover estratégias de priorização para o transporte público coletivo é a primeira consequência da capacidade do EPICS de manipular os planos semafóricos - de forma que se adaptem melhor às condições de tráfego detectadas.

A priorização semafórica de ônibus usual, feita por um método de controle baseado em regras, aplica diagramas de fluxo para prever todas as possíveis situações em que um ou mais ônibus podem se aproximar de uma interseção. Em contrapartida, o EPICS faz uso da priorização de forma mais simplificada: tenta minimizar o tempo de atraso total dos usuários das vias num futuro próximo (100 segundos), mensurado por meio de um índice de performance total PI (*Performance Index*).

O EPICS é constituído por diferentes módulos funcionais, que operam dentro de um processo iterativo, cujo objetivo final é a otimização dos parâmetros do plano semafórico do controlador local, conforme a situação de tráfego detectada pelos sensores associados ao cruzamento e às regras de priorização estabelecidas.

A processo iterativo de otimização é composto por etapas que são repetidas até a melhor combinação de valores possíveis serem identificada para os parâmetros dos planos semafóricos do cruzamento analisado. Em cada etapa, diferentes algoritmos e metodologias são utilizados de modo que os resultados parciais que são entregues ao próximo estágio correspondam à melhor solução para determinada fase e condições impostas. A Figura 2-12 apresenta o esquema geral de funcionamento do EPICS.

Figura 2-12: Estrutura funcional do EPICS



Fonte: PTV AG (2016)

Os dados de entrada para a otimização em tempo real da programação semafórica da interseção são:

- a) A “imagem” atual do semáforo, ou seja, a informação do estado de cada grupo semafórico;
- b) A programação semafórica atual, para que o EPICS calcule parâmetros como o tempo de ciclo;
- c) O instante (segundo) do ciclo atual;
- d) Ocupação dos detectores;

e) Outras informações sobre os detectores, tais como eventos, falhas etc.

Na primeira etapa da iteração, um Modelo de Tráfego gerado pelos dados de entrada estima o tamanho das filas nos trechos próximos ao cruzamento, de modo mais fiel possível à realidade. Esta estimativa é feita a partir dos dados dos detectores e pelos mesmos controladores (BIASE, 2019).

Para estimar o tráfego individual, um modelo determinístico semelhante ao TRANSYT (*software* para a coordenação de semáforos de tempos fixos criado nos anos sessenta – ROBERTSON, 1986) foi desenvolvido para o PTV EPICS. Neste modelo, que é do tipo reativo (estima tamanho de fila a partir da detecção dos sensores), a velocidade de progressão dos veículos é tratada como constante, onde, após a detecção, os veículos avançam segundo a segundo a uma mesma velocidade, até a linha de retenção. Se forem identificadas filas além do detector, outro modelo é utilizado, sendo agora proativo (estima a fila considerando veículos ainda não detectados). Para se estimar o comprimento da fila, nesse caso, o método identifica durante a fase de verde o comprimento da fila para além do detector, e o utiliza para prever esse comprimento no próximo ciclo (LIU *et al.*, 2009).

Os veículos de transporte público são tratados de modo diferente dos particulares, com uma probabilidade trapezoidal de tempo de chegada à linha de retenção. Quanto mais próximo da interseção estiver, mais certa será a distribuição trapezoidal. Para implementar este mecanismo no EPICS são necessários pelo menos dois detectores (um no começo ou na metade do link, e um próximo à interseção). Quando há a utilização de mais detectores, o resultado é uma maior precisão da previsão do tempo de chegada. (BIASE, 2019)

Na fase seguinte do processo, um Modelo de Impacto é criado a partir das estimativas de filas geradas pelo Modelo de Tráfego. Este modelo utiliza uma função objetivo que deve ser otimizada pelo *software*, chamada indicador de desempenho PI, definida pelas variáveis de atraso total e número de paradas. O cálculo do PI feito a partir da equação 1 a seguir:

$$PI(sp) = \sum_{sg \in SG} \alpha_{sg} D_{sg}(sp) + \beta \Delta(ref, sp)$$

Onde:

SG : Conjunto de grupos semafóricos do controlador (*Signal Group*)

sp : Plano semafórico a ser avaliado (*signal plan*)

ref : Plano semafórico de referência ref

α_{sg} : Peso do grupo semafórico

D_{sg} : Soma do atraso no grupo semafórico sg no horizonte de tempo considerado

Δ : Desvio da alternativa de controle sp da referência ref

β : Custo do desvio de sp com relação à ref

O tempo de atraso é calculado como sendo a diferença da quantidade de veículos que entra e sai de cada semáforo, estando estritamente relacionado ao tamanho das filas. Uma vez que o fluxo de saída está diretamente relacionado à posição e a duração dos tempos de verde de cada controlador, estes são os fatores que mais influenciam o valor de PI. O Modelo de Controle irá atuar exatamente na manipulação destes parâmetros (BIASE, 2019).

Com o valor de PI calculado, o Modelo de Controle tem como objetivo definir uma sequência de estágios e interestágios de modo a minimizar o valor de PI. Esta operação normalmente é realizada em relação a um horizonte de tempo de 100 segundos (isto é, procura-se o menor valor de PI para a interseção em análise para os próximos 100 segundos). Este tempo é considerado suficiente para que ocorra a otimização relacionada a uma demanda de tráfego relevante.

A otimização acontece em duas etapas:

a) A primeira etapa consiste na divisão do horizonte de tempo T em intervalos de 5 segundos. Nestes intervalos é definida a primeira sequência de tempos de verde. Nesta etapa, utiliza-se o algoritmo de *branch-and-bound* modificado.

b) A segunda etapa consiste em um refinamento da primeira etapa de otimização. Neste momento são definidos com precisão de 1 segundo os instantes de início dos entreverdes (e, conseqüentemente, dos tempos de verde também). Para esta etapa, utiliza-se o algoritmo de *hill-climbing* ordinário.

O algoritmo de *branch-and-bound* consiste em uma enumeração sistemática de todas as soluções candidatas à solução ótima no espaço de soluções de um problema (ARENALES *et al.*, 2006).

O algoritmo de *hill-climbing* é um método de busca local em que, a partir de um estado inicial, busca-se um vizinho que melhore a função objetivo e que, por sua vez, se tornará o estado atual (DE CASTRO & VON ZUBEN, 2002). Essa busca é realizada até que nenhum dos vizinhos do estado atual apresente uma melhora na função objetivo (ou quando o número máximo de iterações for atingido), e considera-se que a solução ótima foi encontrada.

Como resultado do processamento, é gerado um Plano Semafórico para os próximos “T” segundos, definindo também os tempos relativos de verde associados.

O processo de otimização continua, segundo o mecanismo descrito acima, até que o melhor plano semafórico seja encontrado para o horizonte temporal considerado de 100 segundos. Por fim, a partir do valor mínimo de PI encontrado, a sequência dos sinais e os tempos de duração dos estágios são definidos e enviados para os controladores da interseção (BIASE, 2019).

Este processo é realizado pelo EPICS a todo instante, porém somente enquanto uma fase de interestágio não estiver ativa. Neste intervalo de tempo o plano semafórico é considerado fixo. Até 2021 o EPICS não possuía a capacidade de iniciar uma fase de interestágio enquanto outra estiver sendo aplicada.

2.3.2 Tecnologias de controle de faixas (Faixas Intermitentes)

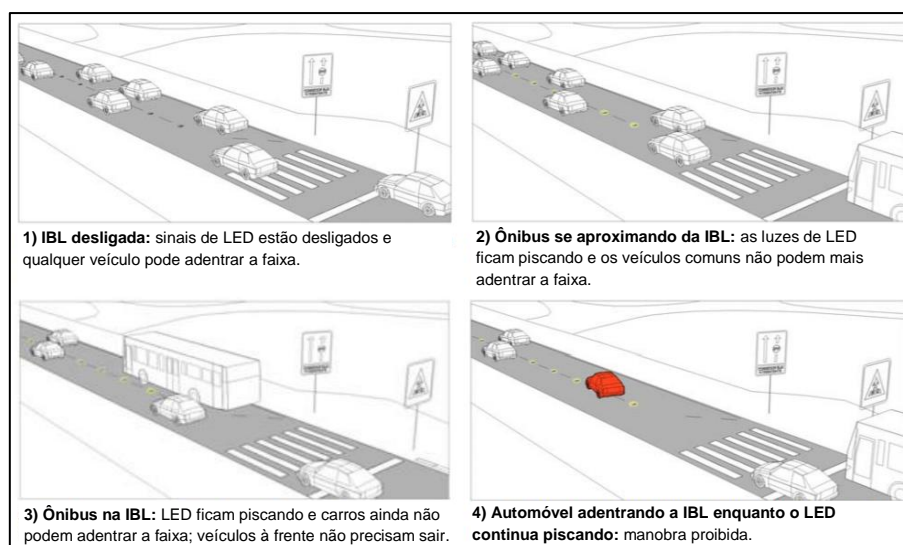
As faixas de ônibus normalmente possuem horários fixos de funcionamento, como descrito na seção 2.1, e são utilizadas em casos de uma demanda média de ônibus. Quando existem poucos ônibus transitando por uma via (p.ex.: intervalos de 10 minutos entre ônibus), pode-se criar uma faixa prioritária por um curto período, para que estes não fiquem parados em eventuais congestionamentos. Após a passagem do ônibus, esta faixa retorna à condição de tráfego geral de veículos. Operacionalmente, esta faixa só é ativada se o tráfego geral está abaixo de um determinado nível, podendo inibir a passagem dos ônibus. E procura maximizar o uso das faixas de ônibus e limitar o impacto negativo na fluidez do tráfego dos automóveis (Liu e Xie, 2021).

Existem duas modalidades para esta faixa intermitente: *Intermittent Bus Lane* (IBL) e *Bus Lane with Intermittent Priority* (BLIP). As duas modalidades são bastante semelhantes e funcionam da seguinte maneira: enquanto não há

ônibus se aproximando da seção, a faixa é considerada de tráfego normal e qualquer veículo pode utilizá-la. Ao se aproximar um ônibus, os veículos devem sair da faixa (BLIP) ou não (IBL) e luzes passam a piscar na via para indicar o uso prioritário da faixa. Enquanto o ônibus a utiliza, nenhum veículo pode entrar na faixa à frente dele. Após a passagem do mesmo, a faixa retorna para o uso dos demais veículos. A manobra de entrada de veículos na faixa prioritária pode ser considerada penalidade passível de multa, se devidamente regulamentada.

Esta tecnologia não possui custo elevado de implantação (cerca de US\$250/m, segundo Chibaut e Barcet, 2019) e os resultados podem atingir uma redução no tempo de viagem em cerca de 15%, segundo Zyryanov e Mironchuk (2012) e Chiabaut e Barcet (2019). Um exemplo do funcionamento desta tecnologia pode ser visto na Figura 2-13.

Figura 2-13: Funcionamento do sistema IBL

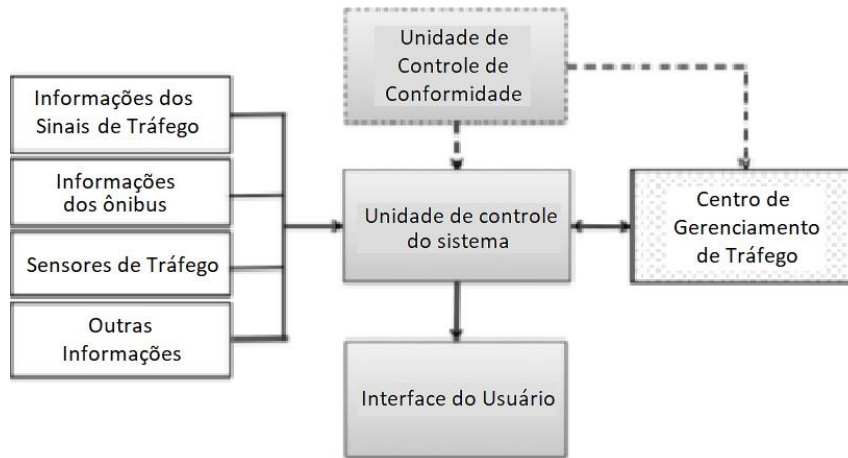


Fonte: adaptado de APTA (2010)

Nessa dissertação pretende-se utilizar o conceito de faixas intermitentes, aqui apresentado, para a realização de ultrapassagens entre os ônibus, de modo a evitar o “*bunching*” (agrupamento de ônibus em fila). Esta ultrapassagem se faz necessária quando um ônibus não está prestando serviço, por exemplo, e necessita retornar ao ponto inicial para iniciar uma nova viagem (técnica de Meia-Viagem). Este tipo de estratégia é feita para um melhor aproveitamento e aumento da oferta do serviço de transportes.

Na Figura 2-14 encontra-se a arquitetura de um sistema de faixas intermitentes:

Figura 2-14: Arquitetura de um sistema de faixas intermitentes



Fonte: Adaptado de OLSTAM et. al. (2015)

A arquitetura geral do sistema de faixas dinâmicas para ônibus consiste em:

- a) Uma unidade central de controle, onde as decisões de ativar ou desativar as faixas são feitas. Essas decisões são baseadas em informações de diferentes fontes, como sensores de tráfego, sinalizações na via e posicionamento dos ônibus;
- b) Uma interface do usuário, que informa aos usuários da via sobre a presença e a ativação das faixas intermitentes;
- c) Uma unidade de controle de conformidade (opcional), que verifica e garante o uso correto das faixas pelos veículos particulares, evitando que estes acessem a faixa durante sua ativação.

Para que a central de controle tome a decisão de ativar a faixa intermitente é necessária a análise dos seguintes parâmetros: localização do ônibus, se o ônibus necessita de priorização e a situação atual do tráfego. Pode-se incluir ainda as condições climáticas e o número de passageiros atualmente no ônibus (OLSTAM et al., 2015). Esta contagem de passageiros pode ser feita a partir da metodologia desenvolvida por Nunes (2018).

A situação atual do tráfego é essencial para a tomada de decisão, pois dependendo das condições pode não ser possível ativar a faixa, ou pode não

haver necessidade, caso a densidade do tráfego seja baixa e os ônibus consigam trafegar a uma velocidade razoável. No outro extremo, em caso de alta densidade de tráfego, pode não ser possível ativar a faixa exclusiva por haver muitos veículos e estes não consigam deixar a faixa, seja por falta de espaço, seja devido à baixa velocidade que estão realizando. Dependendo das condições de tráfego, é possível ativar as faixas intermitentes com antecedência, levando em consideração quanto tempo levaria para os veículos desobstruírem a mesma (OLSTAM *et al.*, 2015).

Qualquer que seja o caso, os usuários da via devem ser notificados com antecedência que a faixa é intermitente, pois devem estar preparados para liberá-la assim que for necessário. E precisam estar cientes a todo o momento da situação atual da faixa. A Figura 2-15 mostra um exemplo de sinalização vertical nas vias da Cidade de Lisboa, indicando que a faixa dinâmica está ativada.

Figura 2-15: Sinalização vertical de faixa dinâmica de ônibus em Portugal



Fonte: Viegas et al. (2007)

Uma aplicação semelhante e possível para uma faixa intermitente seria o seu uso em acostamentos de rodovias. Neste caso, não seria necessariamente para o tráfego de ônibus, mas para o aumento da capacidade da rodovia. Para isso, esta faixa deve ter condições de receber o tráfego de veículos, como largura mínima e asfalto em condições adequadas, e toda a sinalização utilizada nas vias urbanas. Quando houver a necessidade do uso emergencial do acostamento por algum veículo, Painéis de Mensagens Variáveis (PMVs) deverão sinalizar que a faixa estará bloqueada, solicitando que os veículos retornem para as demais faixas.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Esta revisão bibliográfica mostrou as formas de priorização do transporte público que podem ser adotadas a fim de melhorar a fluidez dos ônibus. Desde as mais simples Faixas Exclusivas até os complexos BRTs. Os sistemas de ônibus são as formas mais baratas de investimento público, para suprir a demanda por mobilidade presente nas grandes cidades.

Aliados a esses sistemas, podem-se utilizar ferramentas de ITS que ajudam em sua melhoria, fornecendo informações para os operadores dos ônibus, de modo que estes possam tomar decisões sobre quando e qual intervenção será necessária realizar. Em especial, a criação de faixas intermitentes em corredores de ônibus conjuntamente com a implantação de priorização semaforica e aplicação de intervenções na frota de ônibus será o foco das simulações a serem realizadas.

3 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

O objetivo deste capítulo é descrever o ambiente em que os impactos das intervenções operacionais serão estudados. Inicialmente será apresentado o propósito dos estudos, bem como os critérios adotados para a escolha do corredor de ônibus que servirá de objeto de análise. Em seguida, será feita uma breve descrição do corredor de ônibus Nove de Julho – Santo Amaro que melhor atendeu os critérios estabelecidos. Posteriormente, serão descritos os dados de trânsito e de transporte da região de estudo. Por fim será detalhado o processo de construção, configuração e calibração do ambiente simulação computacional baseado no micro simulador de tráfego VISSIM.

3.1 OBJETIVO DOS ESTUDOS

Conforme mencionado no Capítulo 1, o principal objetivo dos estudos é compreender melhor o comportamento da operação dos corredores de ônibus situados junto ao canteiro central quando são aplicados os diferentes tipos de intervenções, em especial os seguintes: faixas intermitentes (IBL), priorização semafórica (TSP), *Skip-stop* e Meia-Viagem.

Um dos aspectos de maior interesse dos estudos é a avaliação dos impactos da criação de uma faixa de ultrapassagem, em regime intermitente, nas adjacências das estações. Um dos motivos desse interesse é o baixo custo de implementação, uma vez que não requer a instalação de equipamentos sofisticados ou necessidade de obras no viário. Outro aspecto de interesse é quantificar o ganho obtido, em termos de redução de tempo de viagem, pelas intervenções de forma individual e de forma combinada.

Nas próximas seções serão detalhados os critérios para a escolha do ambiente de estudo, bem como as estratégias para atender os objetivos e os interesses específicos de estudos.

3.2 DETERMINAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A realização dos estudos será feita num corredor de ônibus existente, que tenha relevância operacional e que permita a aplicação de diferentes possibilidades de intervenções de interesse.

A escolha do corredor será baseada nos seguintes critérios.

- Possuir uma infraestrutura mais completa possível, que permita uma análise de intervenções que atendam a possibilidade de ultrapassagens em determinados trechos do corredor;
- Possuir volume significativo de passageiros transportados, em qualquer sentido do corredor, de modo a permitir mensuração confiáveis de variações em seus volumes;
- As linhas de ônibus que utilizam o corredor devem possuir, ou permitir, variações de sua linha base, conhecidas como linhas de reforço de pico. Essas linhas de reforço percorrem quase inteiramente o itinerário da linha base, mas apenas em um dos sentidos, somente nos horários de maior carregamento do corredor.

Na cidade de São Paulo existem 13 corredores de ônibus com uma extensão total de 131,2 km. Baseado nos critérios estabelecidos anteriormente, escolheu-se para o objeto de estudo o Corredor de ônibus Nove de Julho-Santo Amaro, que conecta o centro da cidade com uma zona cuja densidade populacional é bastante alta. Com uma extensão de aproximadamente 15 km, a Figura 3-1 mostra a demarcação do corredor.

Figura 3-1: Corredor de ônibus Santo Amaro-9 de Julho



Fonte: Google Maps (2019)

3.2.1 Breve histórico do trajeto

A região de Santo Amaro, situada na periferia de São Paulo, dependia exclusivamente do sistema de ônibus para atender a população que precisava chegar ao centro da cidade à época da inauguração do corredor de ônibus, em 1987. Naquela época, o trajeto era percorrido exclusivamente por veículos do tipo trólebus. Com a inauguração das novas estações da Linha 5-Lilás de metrô em 2018, conseguiu-se uma integração entre os meios de transporte, facilitando a locomoção da população, já que o sistema de ônibus deixou de ser o único a atender a região. Futuramente, este corredor ainda será integrado ao Corredor de Ônibus Bandeirantes, que ligará a Zona Sul com a Zona Leste da cidade (SÃO PAULO, 2015b).

A frota de ônibus que trafegava pelo corredor durante a década de 1990, no entanto, não era suficiente para atender a elevada demanda de passageiros e o tempo de espera dos ônibus era muito alto. Além disso, as calçadas da Av. Santo Amaro eram estreitas e o acúmulo de pessoas nas estações ocasionava acidentes.

O corredor foi projetado para funcionar como um sistema troncal, onde os passageiros poderiam embarcar em qualquer linha e fazer transferências para as linhas alimentadoras nas estações de transferência, distribuídas ao longo do corredor. Os serviços prestados no corredor envolviam dois tipos de operação, com 2 tipos de linhas de ônibus prestando serviço: as linhas paradoras (que prestavam serviço em todas as estações) e as linhas expressas (que paravam apenas nas estações de transferência). Devido a estes tipos de operações, foram projetadas vias para ultrapassagens, adjacentes às estações das Av. Santo Amaro e no sentido bairro da Av. Nove de Julho, e vias de retorno operacional, para os veículos que não prestariam o serviço por todo o corredor, retornando aos pontos de maior demanda. O corredor funcionaria junto ao canteiro central da avenida, do lado esquerdo da via, e este canteiro seria remodelado nos locais onde as estações ficariam abrigadas.

O novo desenho das avenidas, porém, não as alargou. Portanto, para que pudessem ser abrigadas as faixas de ônibus e veículos, em alguns pontos da avenida, as calçadas ficaram apenas com 1,5m de largura. A Figura 3-2 mostra a situação da Av. Santo Amaro nestes pontos, que permaneceu deste modo

até a reforma da mesma, aprovada pela Câmara de Vereadores da cidade em 2015 (SÃO PAULO, 2015b).

Figura 3-2: Situação da Av. Santo Amaro em 2015



Fonte: SPTrans (2015)

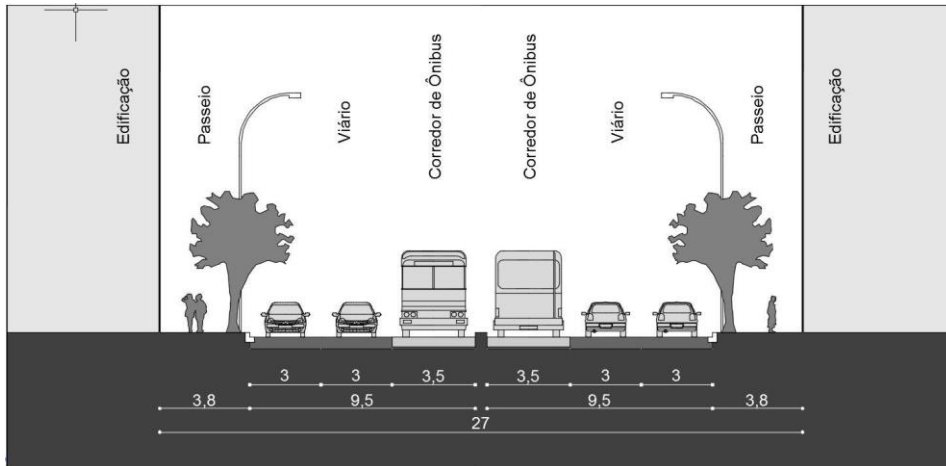
3.2.2 Características Operacionais do Sistema de Ônibus no Corredor

A seguir serão apresentadas as características operacionais, relevantes para a realização dessa dissertação, da Av. Nove de Julho, consideradas no projeto e na construção do modelo para simulação.

3.2.2.1 Geometria das Vias

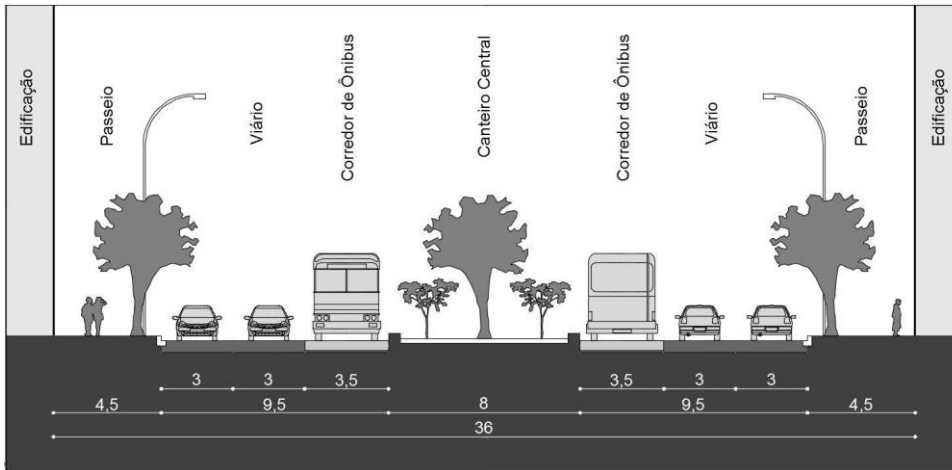
As avenidas presentes no corredor de ônibus possuem seção transversal com largura variando de 27 a 36 m. Estas seções podem ser vistas nas Imagens 3-3 a 3-5. O corredor está em uma faixa à esquerda, junto ao canteiro central da via, de modo a evitar conflitos nas interseções com os demais veículos. A velocidade de projeto considerada foi de 60 km/h.

Figura 3-3: Seção tipo de 27 m de largura, sem canteiro central



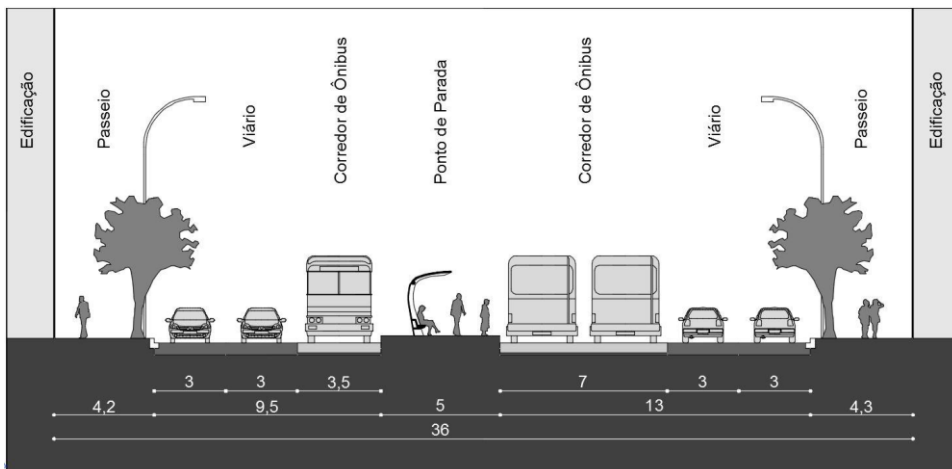
Fonte: Consórcio Leste 2 (2014), apud São Paulo (2015b)

Figura 3-4: Seção tipo de 36 m de largura, com canteiro central



Fonte: Consórcio Leste 2 (2014), apud São Paulo (2015b)

Figura 3-5: Seção tipo de 36 m de largura, com estação de ônibus



Fonte: Consórcio Leste 2 (2014), apud São Paulo (2015b)

Como foi dito, existem faixas para ultrapassagens em todas as estações de ônibus do trecho em estudo na Av. Nove de Julho no sentido bairro, cuja geometria está mostrada na Figura 3-5 acima, porém não há faixas de ultrapassagem no sentido centro desta avenida, cuja geometria está presente na Figura 3-4.

A largura das faixas na geometria da via depende também da tipologia dos veículos que trafegam por ela. Os tipos de veículos e suas características estão descritos na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Características da frota considerada no projeto

Tipo de Veículo	Características		Pax. Sentados (média)	Área para Cadeira de Rodas	Área para pax. em pé (média)	Pax. por m ²	Capacidade Total Média (passag. Sentados + em pé + área p/ cadeira de rodas)
	Construtivas	Comprimento Total					
Miniônibus	Piso Normal	< 9,0 m	20 (ref. 8,6 m)	1	3,4	4	35
Midiônibus	Piso Normal	9,6 a 11,5 m	25 (ref. 9,6 m)	1	4,9	6	55
Básico	Piso Normal	11,5 a 12,5 m	35 (ref. 12,5 m)	1	6,5	6	75
	Piso Baixo			1		6	
Padron	Piso Baixo	12,2 a 15,0 m	32 (ref. 13,3 m)	1	8,9	6	86
			38 (ref. 15,0 m)	1	10	6	99
Articulado	Piso Baixo	18,6 a 23,0 m	37 (ref. 18,2 m)	1	12,1	6	111
			37 (ref. 18,5 m)	1	15,2	6	129
			57 (ref. 23,0 m)	1	18,8	6	171
Biarticulado	Piso Baixo	≤ 27,0 m	47 (ref. 26,6 m)	1	25	6	198

Fonte: São Paulo (2015b)

3.2.2.2 Estações de ônibus

As estações de ônibus consideradas são unilaterais, ou seja, as estações são independentes por sentido. Deste modo, o outro lado do canteiro central possui um guarda-corpo, e para acessá-las, os passageiros devem utilizar pontos específicos de travessia segura da via. O sentido oposto das estações fica deslocado alguns metros. Assim, há mais espaço para os passageiros se distribuírem enquanto aguardam os ônibus. A Figura 3-6 mostra um exemplo de estação do corredor. Pode-se observar que a estação atende apenas a um dos sentidos da via. Neste caso, a seção da via se assemelha à Figura 3-4.

Figura 3-6: Estação José Maria Lisboa na Avenida Nove de Julho



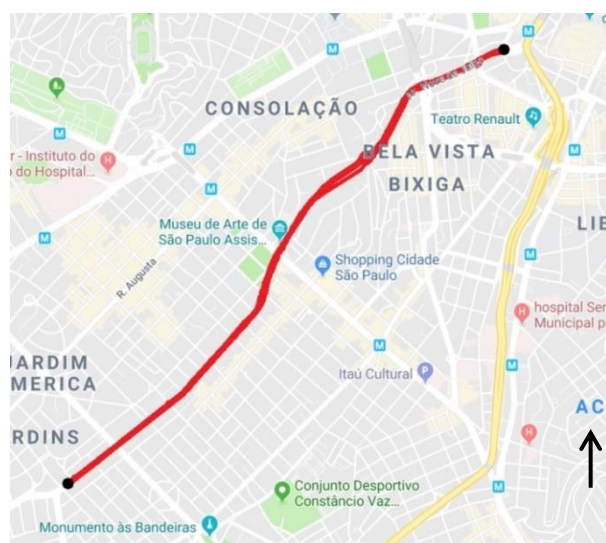
Fonte: Google Street View (2018)

3.2.3 Trecho em Estudo

Dadas as características do corredor de ônibus, foi escolhido o trecho onde serão realizadas as intervenções. Este trecho trata-se da Av. Nove de Julho, desde a Av. São Gabriel até o centro da cidade, no Terminal Bandeira.

Esta escolha se deu devido: à utilização de uma mesma linha de ônibus modelada em *software* computacional para a dissertação de Pereira (2018), por ter disponível dados sobre a operação desta frota de ônibus; a geometria da via nas estações, por não haver espaço para ultrapassagens entre ônibus; e às limitações do *software* que será discutido adiante. Sua delimitação está apresentada na Figura 3-7.

Figura 3-7: Trecho em estudo na Av. Nove de Julho



Fonte: Google Maps (2019)

No Capítulo 4 serão descritos os tipos de intervenção que serão testados com as faixas intermitentes, suas características e como estas intervenções poderão influenciar no resultado dos testes.

Para os usuários, o tempo de espera deverá ser reduzido, podendo levar a uma melhor aceitação da intervenção e do sistema de ônibus. Para o operador, a estratégia poderá ser favorável, pois este será capaz de oferecer mais serviço sem aumentar a frota, ou ainda ofertar os mesmos serviços com uma frota menor.

3.3 DADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE

Os dados colhidos para a realização deste trabalho e suas respectivas fontes são os seguintes:

- Construção da via (*links*) e posicionamento das estações realizado com o auxílio de imagens de satélite obtidas pelo Google;
- A identificação dos veículos, os itinerários e frequências de cada linha presente no corredor, a composição da frota e as demandas de passageiros do pico da manhã do dia 07/11/2017 foram fornecidos pela SPTrans, gestora do sistema de ônibus da cidade de São Paulo;
- Posicionamento e tempos de cada fase, grupos e seus tempos de ciclo, de cada semáforo no corredor de ônibus, foram fornecidos pela CET, gestora do tráfego da cidade de São Paulo;
- Velocidades dos ônibus no trecho em estudo do dia 07/11/2017, fornecidos pela Scipopulis, empresa responsável pelo processamento dos dados operacionais da rede de ônibus, fornecendo velocidades médias diárias, por trecho e período;
- Dados de contagens do volume de tráfego de veículos, motocicletas e caminhões para o dia 07/03/2019 na Avenida Nove de Julho, obtidos através do sistema Qlickview, desenvolvido pela Prodam (Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo), auxiliado pelo Sr. Edison Vianna, da CET;

3.4 PREPARAÇÃO DO SOFTWARE COMPUTACIONAL

Para a realização deste trabalho foi escolhido o *software* VISSIM, da PTV Group, devido à familiaridade do autor com esta ferramenta. Este *software* permite a realização de simulações de micromodelos, essenciais para as análises aqui pretendidas. A licença obtida permite que seja construída uma rede de até 10 km de extensão, com até 20 controladores semafóricos. A seguir serão descritos os componentes integrantes da rede construída, de acordo com suas características.

3.4.1 Construção da rede

A rede abrange a Av. Nove de Julho e suas adjacências. A construção da rede foi feita no *software* VISUM, pois também foi utilizada na realização de outro estudo. Em seguida, foi recortada apenas a Av. Nove de Julho e transferida para o VISSIM.

Como dito anteriormente, as plataformas das estações deste corredor de ônibus são independentes nos dois sentidos e se encontram deslocadas na rede. Os sentidos percorridos pelos ônibus estão identificados como Centro-Bairro (C/B) e Bairro-Centro (B/C).

Os grupos semafóricos foram posicionados de acordo com as informações fornecidas pela CET. Os tempos de cada fase de cada semáforo foram carregados, também de acordo com os dados fornecidos, de modo a representar fielmente o que é encontrado no corredor.

3.4.2 Carregamento da rede

Os dados das linhas de ônibus, quantidades de veículos, tipos, pontos de entrada e saída no corredor, quantidades de embarques e desembarques em cada estação da Av. Nove de Julho, fornecidos pela SPTrans, foram inseridos no *software* para o carregamento do corredor de ônibus no modelo. As velocidades médias dos ônibus, por trechos, foram confrontados de acordo com os dados adquiridos da Scipopulis.

Os dados dos demais veículos (velocidades médias e volumes) foram adquiridos através do *software* Qlickview, desenvolvido pela Prodam para a Secretaria Municipal de Transportes, com auxílio da CET-SP, e – além disso – foram inseridos pontos de contagem de veículos na rede, de acordo com as posições dos pontos de coleta, para a sua posterior calibração.

3.4.3 Calibração da rede

A partir dos dados adquiridos foi possível realizar o processo de calibração da rede da Avenida Santo Amaro. Analisando os estudos sobre calibração de modelos, é possível identificar diversos parâmetros para cada tipo de *software* que nem sempre coincidem, devido à lógica dos modelos comportamentais adotados por eles. Segundo Medeiros (2012) não há um consenso, na literatura, sobre uma metodologia para a calibração de um modelo de micro simulação. Para esta etapa da dissertação, julgou-se suficiente comparar os volumes e velocidades observados com os simulados. Neste caso, os dados observados são aqueles provenientes do *software* Qlickview, para a data de 07/03/2019.

Os erros obtidos, para serem aceitos, devem estar abaixo de 10%. E o coeficiente de correlação linear R^2 deve ser o mais próximo possível de 1,0, ficando acima do patamar de 0,9, para que o grau de relacionamento das variáveis seja o máximo possível. Para esta dissertação, dado o número pouco expressivo de caminhões na composição do tráfego (menor que 0,5% do total de veículos), estes foram desconsiderados. Na calibração, houve ainda que se considerar que as motocicletas não seguem o padrão dos demais automóveis, de modo que, por circular entre as faixas e evitar os locais de detecção dos radares, suas contagens são imprecisas. Deste modo, também foram desconsideradas na calibração do modelo.

A Tabela 3-2 mostra os valores observados e os simulados de cada modo de transporte, assim como seus respectivos erros.

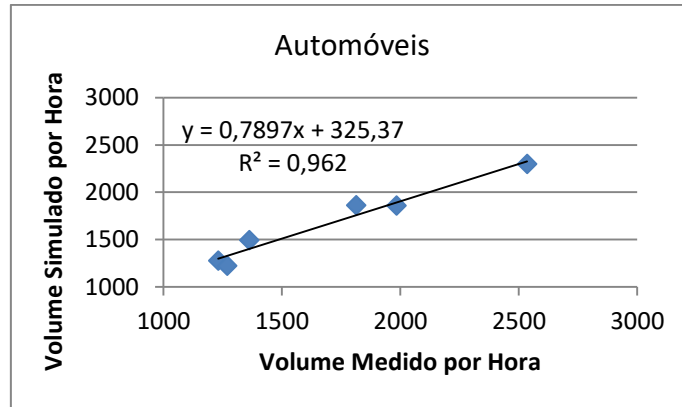
Tabela 3-2: Volumes Medidos e Simulados

Local de coleta	Automóveis			Veículos Totais			Velocidade		
	Medido	Simulado	Erro	Medido	Simulado	Erro	Medido	Simulado	Erro
B/C 9/7 4325	1363	1493	9,5%	1.713	1.659	3,2%	15,2	14,5	4,6%
B/C 9/7 2029	1984	1857	6,4%	2.156	2.063	4,3%	41,3	43,3	4,9%
C/B 9/7 x Paim	1231	1275	3,6%	1.323	1.417	7,1%	27,9	25,6	8,1%
C/B 9/7 2054	2535	2296	9,4%	2.621	2.551	2,7%	14,4	15,2	5,5%
C/B 9/7 3384	1814	1859	2,5%	2.118	2.066	2,5%	29,9	29,0	2,9%
C/B 9/7 4364	1269	1223	3,6%	1.463	1.359	7,1%	18,1	18,6	2,8%

Fonte: Autor (2022)

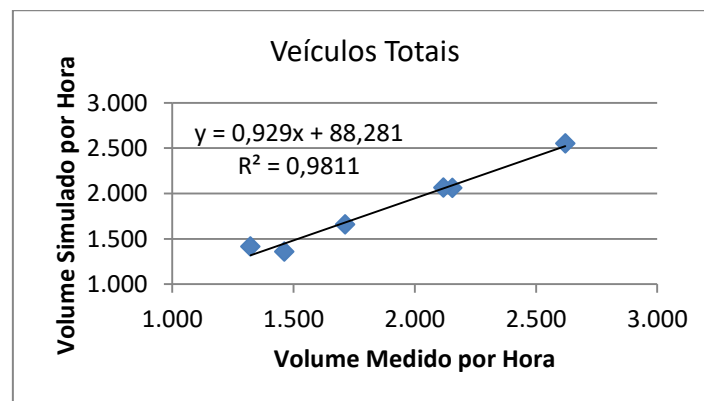
Nos Gráficos 3-1 a 3-3 estão apresentadas as retas de regressão para os automóveis, todos os veículos e as velocidades na Av. Nove de Julho, assim como seus respectivos coeficientes de correlação.

Gráfico 3-1: Volumes de Automóveis



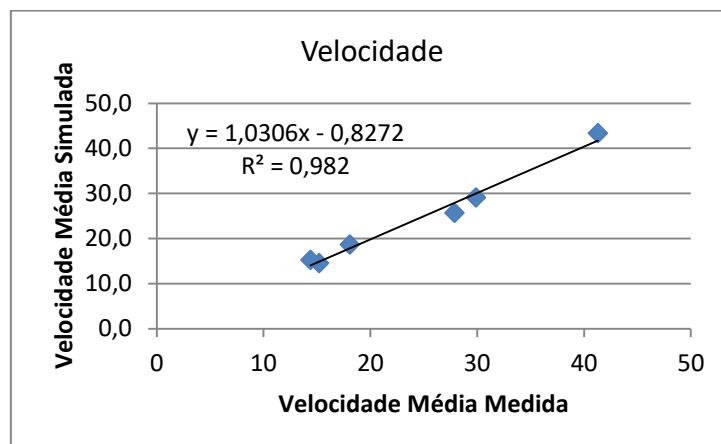
Fonte: Autor (2022)

Gráfico 3-2: Volumes de Veículos Totais



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 3-3: Velocidades



Fonte: Autor (2022)

Como se observa na Tabela 3-2 e nos Gráficos 3-1 a 3-3 acima, o modelo consegue se aproximar o suficiente dos dados medidos em todos os aspectos, obtendo erros inferiores a 10% em todos os pontos de medição e coeficientes de correlação linear acima de 0,9 para todas as características medidas. Sendo assim, o modelo pode ser utilizado sem prejuízo para as análises.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Todos os elementos destacados neste capítulo foram necessários para a construção e calibração do modelo computacional da Av. Nove de Julho. O autor, devido à sua experiência com micromodelos utilizado em seu Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, possui boa relação com o *software* que será utilizado para a realização das simulações.

A partir do recorte feito no VISUM, as principais atividades realizadas no VISSIM foram o carregamento dos dados e a calibração da rede. Esta última tende a requerer mais tempo para sua realização. Qualquer alteração na rede, por mínima que seja, invariavelmente resultará em um novo processo de calibração do modelo.

Uma vez pronto, é possível simular qualquer alteração de qualquer aspecto na rede e medir os impactos causados por ela. O próximo Capítulo irá expor como foram simuladas as faixas intermitentes a partir do modelo aqui calibrado.

4 MÉTODO: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Após a construção e calibração do micromodelo, é possível começar a simular mudanças na rede, com o desenho de cenários futuros. Para medir os impactos foi necessário definir um cenário para comparação, que será chamado de cenário base. Neste cenário foram adotados os parâmetros definidos ao final da etapa de calibração. A medição dos efeitos (positivos ou negativos) sempre toma os dados deste cenário como parâmetro de comparação. Neste estudo, não estão sendo considerados os tempos de viagens dos passageiros, apenas os dos veículos (ônibus ou particulares) para medições de efeitos.

Foram realizadas cinco simulações sucessivas para cada cenário dos cinco casos estudados, onde o resultado obtido é a média harmônica dos valores, que apresenta um resultado mais preciso. A Tabela 4-1 mostra cada um destes casos.

Tabela 4-1: Técnicas de Intervenções

CASO	TÉCNICA DE INTERVENÇÃO	TABELA DE PARÂMETROS	TABELA DE RESULTADOS
1	Simulação das Faixas Intermitentes (Tecnologia IBL)	4-2	5-1
2	Aplicação de IBL conjunta com <i>Skip-stop</i> em uma linha de ônibus	4-3	5-2
3	Aplicação de IBL conjunta com Meia-Viagem em uma linha de ônibus	4-4	5-3
4	Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS	4-6	5-5
5	Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS e Meia-Viagem em uma linha de ônibus	4-8	5-8

Fonte: Autor (2022)

4.1 CASO 1: SIMULAÇÃO DAS FAIXAS INTERMITENTES (TECNOLOGIA IBL)

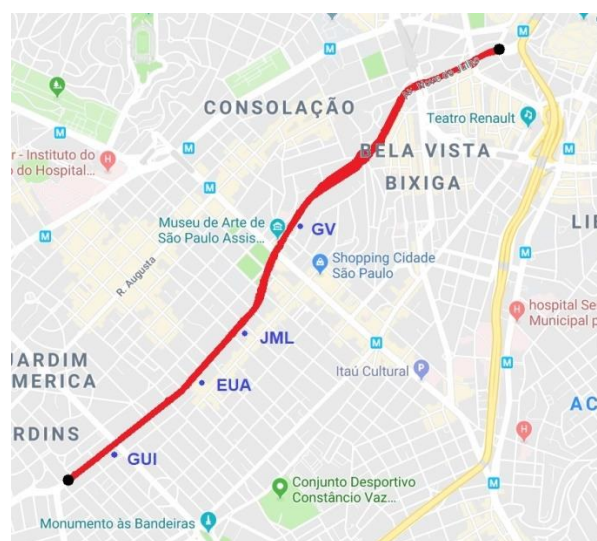
O conceito da faixa intermitente (IBL) é normalmente aplicável a todo o corredor. Porém, nesta dissertação esse conceito foi aplicado para implementar faixas de ultrapassagem adjacentes às estações, quando estas não existem. Os experimentos das intervenções foram simulados e comparados, a princípio, com os valores para todas as linhas de ônibus e automóveis presentes na Avenida Nove de Julho na época da coleta de dados.

Dada a impossibilidade de simular o trajeto de ida e volta de uma linha de ônibus, todas elas precisaram ser divididas por sentido, resultando em duas sub-linhas (sentido bairro e sentido centro) para cada linha de ônibus existente. As estações escolhidas para a aplicação das intervenções são independentes por sentido. No sentido bairro, as estações possuem duas baias para embarque e desembarque e uma faixa extra para que os ônibus possam se ultrapassar e posicionar na posição correta. Já no sentido centro há apenas uma baia. Em função disso foi possível (e praticável) a aplicação de uma faixa de ônibus intermitente, que implementa uma faixa intermitente de ultrapassagem, adjacente ao corredor de ônibus, defronte à estação, na qual foi dada prioridade momentânea para o uso de ônibus que necessitem realizar uma ultrapassagem.

O sentido centro da Avenida Nove de Julho possui quatro estações em sequência que poderiam se utilizar desta faixa intermitente. Para representá-las, foram adotadas as seguintes siglas para a identificação das estações, que serão utilizadas ao longo do texto e a Figura 4-1 a seguir localiza as estações no trajeto:

- Guianas: GUI
- Estados Unidos: EUA
- José Maria Lisboa: JML
- Getúlio Vargas: GV

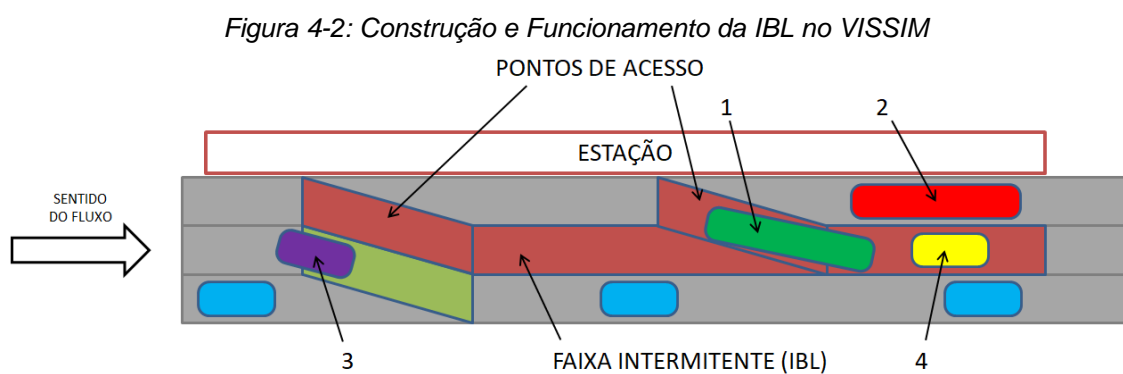
Figura 4-1: Localização das estações estudadas



Fonte: Autor (2022)

O processo de simulação é composto por duas etapas: o processamento no simulador, resultando nos tempos de viagem de ônibus e automóveis de cada cenário simulado; em seguida, estes tempos de viagens são comparados com os valores de referência do cenário base.

A faixa de prioridade intermitente é, a princípio, de uso dos automóveis. Ela passa a ser prioritária para ônibus quando estes necessitam realizar uma ultrapassagem. Para a construção da faixa intermitente no simulador foram implementados dois pontos de acesso para os ônibus realizarem as manobras. Há ainda um espaço destinado à manobra de mudança de faixa dos automóveis para quando a faixa intermitente estiver dando prioridade aos ônibus. A Figura 4-2 exemplifica como a faixa intermitente foi concebida.



Fonte: Autor (2022)

No exemplo da Figura 4-2, o ônibus vermelho (2) está realizando o embarque e desembarque de passageiros, enquanto o ônibus verde (1) já finalizou o serviço nesta estação e, portanto, fará uma ultrapassagem sobre o vermelho. Quando o ônibus verde realiza a manobra e entra na faixa intermitente, o automóvel roxo (3) deve também realizar uma manobra para mudar de faixa, pois ela agora é momentaneamente de prioridade dos ônibus. Já o automóvel amarelo (4) pode permanecer nesta faixa, pois a tecnologia IBL não o obriga a sair dela. Após a realização da ultrapassagem pelo ônibus verde, a faixa intermitente volta a ser de uso dos automóveis.

Para que a faixa intermitente funcionasse corretamente, foi necessário restringir o uso de determinados veículos em cada *link* que a compõe. Nos acessos dos ônibus não há necessidade de restrição, pois apenas ônibus poderiam entrar neste *link* e é este tipo de veículo que se deseja que o use. Na

faixa intermitente, que foi construída sobre a faixa convencional, deve-se restringir seu uso por todos os tipos de veículo exceto ônibus. O espaço de manobra de mudança de faixa dos automóveis deve ter seu uso restrito por ônibus, já que estes não devem chegar até a faixa da direita. Por fim, no *link* da avenida, a faixa central não deve mais possuir restrição sobre os ônibus, ficando liberada para o uso de qualquer tipo de veículo.

Uma vez construídos estes *links*, são geradas áreas de conflito de fluxos. Em ambos os acessos dos ônibus deve ser dada prioridade para a mudança de faixa. E na faixa intermitente deve ser dada a prioridade para o uso deste *link* sobre o *link* da avenida. Por fim, deve-se configurar para que os ônibus antecipem a manobra de mudança de faixa caso haja outros ônibus prestando atendimento na estação.

Foram realizadas simulações aplicando a faixa intermitente em cada uma das estações individualmente, e posteriormente em todas as quatro estações do trecho analisado. Caso o comprimento das faixas intermitentes fosse estendido até que estas ocupassem toda a faixa de rolamento e o período de ativação da mesma também fosse estendido até se tornar de uso contínuo para os ônibus, isto representaria o limite para o teste da faixa, que é o último cenário deste caso, denominado “IBL Full”. Cada cenário foi identificado por uma sigla, presente na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Programação das simulações da IBL

INTERVENÇÃO / SENTIDO DA APLICAÇÃO	IDENTIF.	INTENSIDADE DA INTERVENÇÃO
Cenário Base		
IBL Sentido Bairro-Centro	IBL1 GUI	IBL apenas na estação Guianas
	IBL1 EUA	IBL apenas na estação Estados Unidos
	IBL1 JML	IBL apenas na estação José Maria Lisboa
	IBL1 GV	IBL apenas na estação Getúlio Vargas
	IBL4	IBL nas estações Guianas, Estados Unidos, José Maria Lisboa e Getúlio Vargas
	IBL Full	2 faixas exclusivas de ônibus

Fonte: Autor (2022)

Como será mostrado adiante, os valores encontrados com a aplicação somente da faixa intermitente (IBL) não alcançaram impactos significativos além da faixa

de erro da simulação, com exceção do cenário IBL Full que alcançou um valor um pouco mais significativo.

Em função desses resultados, optou-se por simular conjuntamente com essa tecnologia outros tipos de intervenção, tanto na frota quanto na infraestrutura, utilizando o cenário IBL4 para prosseguir com os testes. Assim, sabendo o impacto proporcionado por essas outras intervenções, é possível estimar, com melhor precisão, o impacto adicional, proporcionado pela tecnologia IBL.

4.2 SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES COM APLICAÇÃO DE INTERVENÇÕES OPERACIONAIS

Adicionalmente à aplicação das faixas intermitentes em todas as quatro estações (IBL4), nestas simulações foi utilizado o método usado por Pereira (2018) para aplicar intervenções na operação da linha de ônibus 6913-10. No entanto, a intensidade de aplicação de cada uma dessas estratégias será única, pois a sensibilidade das variações possíveis não é o foco desta dissertação.

Serão medidos os tempos de percurso dos ônibus desta linha para comparação com os valores obtidos da mesma linha no cenário base. Para a coleta destes tempos de percurso, foi criada uma categoria especial de veículos no simulador, onde apenas a frota de ônibus da linha 6913-10 pertence a ela. Assim, os dados destes ônibus são separados dos demais na apresentação dos resultados pelo VISSIM. Além desta nova categoria, essa frota ainda é considerada como ônibus regulares pelo simulador.

Apesar de a faixa intermitente poder ser utilizada por qualquer ônibus, apenas a linha em análise (6913-10) sofrerá intervenções em sua operação e terá seus efeitos medidos.

4.2.1 Caso 2: Aplicação de IBL conjunta com Skip-stop em uma linha de ônibus

A estratégia de *Skip-stop* para uma linha de ônibus consiste em que os veículos desta linha não atendam algumas das estações em seu itinerário. Isso pode ser usado em sentidos de menor demanda da linha, atendendo apenas os pontos onde há maior transferência de passageiros, como terminais de ônibus e estações de transferência. Deste modo, o veículo trafegando no

sentido do contra fluxo pode retornar mais rapidamente ao ponto final e iniciar uma nova viagem no sentido de maior demanda para aquele horário, desta vez, atendendo todas as estações.

Esta linha de ônibus pode ser considerada como uma linha de reforço de pico, já que sua operação é diferenciada e ocorrerá apenas nos momentos de maior demanda da rede. Há a necessidade de indicar aos usuários que os veículos não prestarão serviço em todos os pontos, pois estes podem se sentir lesados ao ver os ônibus passando direto pelas estações. No entanto, para efeitos de simulação, esta necessidade não se faz presente.

Adicionalmente à aplicação das faixas intermitentes em todas as estações simultaneamente (IBL4), nestas simulações foi utilizado o método aplicado para a intervenção operacional de *Skip-stop* na linha de ônibus 6913-10. Foi medido o tempo de percurso dos ônibus desta linha para comparação com os valores obtidos no cenário base. A seguir, na Tabela 4-3, estão listados os cenários simulados.

Tabela 4-3: Programação das simulações da IBL conjunta com *Skip-stop*

INTERVENÇÃO / SENTIDO DA APLICAÇÃO	IDENTIF.	INTENSIDADE DA INTERVENÇÃO
Cenário Base		
	IBL4 + SS1 GUI	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço na estação Guianas
	IBL4 + SS1 EUA	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço na estação Estados Unidos
	IBL4 + SS1 JML	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço na estação José Maria Lisboa
	IBL4 + SS1 GV	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço na estação Getúlio Vargas
IBL + <i>Skip-stop</i> Sentido Bairro-Centro	IBL4 + SS3 GUI	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço nas estações Estados Unidos, José Maria Lisboa e Getúlio Vargas
	IBL4 + SS3 EUA	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço nas estações Guianas, José Maria Lisboa e Getúlio Vargas
	IBL4 + SS3 JML	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço nas estações Guianas, Estados Unidos e Getúlio Vargas
	IBL4 + SS3 GV	IBL em todas as estações e linha 6913-10 não presta serviço nas estações Guianas, Estados Unidos e José Maria Lisboa

Fonte: Autor (2022)

4.2.2 Caso 3: Aplicação de IBL conjunta com Meia-Viagem em uma linha de ônibus

A aplicação desta estratégia é semelhante à de *Skip-stop*, pois é utilizada no sentido de menor fluxo de passageiros. Neste caso, um ônibus de uma determinada linha atenderá aos passageiros apenas no sentido de maior demanda, retornando sem prestar serviço até o ponto final para iniciar uma nova viagem. Novamente, esta pode ser considerada como uma linha de reforço de pico, funcionando apenas nos horários de maior demanda.

Com relação à sinalização aos usuários sobre o ônibus não estarem prestando serviço neste sentido, o próprio letreiro do veículo fará a indicação. Mais uma vez, não há necessidade desta indicação para efeitos de simulação.

Novamente utilizando a faixa intermitente em todas as estações simultaneamente (IBL4), será utilizado adicionalmente o método aplicado para a intervenção de Meia-Viagem na operação da linha de ônibus 6913-10. Será medido o tempo de percurso desta linha para comparação com os valores obtidos no cenário base. Assim como no caso anterior, todos os ônibus podem utilizar a faixa intermitente, mas apenas a linha 6913-10 teve analisada as intervenções na operação.

Neste caso, não há combinações entre as estações, de modo que os ônibus não prestarão atendimento em nenhuma delas. A Tabela 4-4 apresenta a simulação realizada para este cenário.

Tabela 4-4: Programação das simulações da IBL conjunta com Meia-Viagem

INTERVENÇÃO / SENTIDO DA APLICAÇÃO	IDENTIF.	INTENSIDADE DA INTERVENÇÃO
		Cenário Base
IBL + Meia-Viagem Sentido Bairro-Centro	IBL4 + MV	IBL em todas as estações e linha 6913-10 em regime de Meia-Viagem

Fonte: Autor (2022)

4.3 SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES EM COMBINAÇÃO COM TSP E MEIA-VIAGEM

Com a finalidade de investigar os possíveis impactos da utilização de sistemas ATCS na operação do corredor de ônibus Nove de Julho, foi utilizado o módulo EPICS, um plug-in do VISSIM, que possibilita implementar a técnica TSP. A

execução do EPICS na Av. Nove de Julho é viabilizada através da modificação dos controladores semafóricos que operam na via principal e ruas adjacentes e o arranjo de recursos para a detecção dos veículos. Nesse sentido, altera-se o tempo fixo atrelado ao controle semafórico empregado no cenário base. São alterados os estágios e acrescentados os interestágios para as mudanças dos grupos focais.

As principais alterações necessárias para a atividade do EPICS são a adição de detectores dispostos nas vias, a fim de identificar a presença de carros ou ônibus, e o acréscimo de demandas de veículos privados e públicos para os grupos semafóricos. É atribuído um peso a cada demanda para estabelecer a condição de privilégio. É possível interpretar esse peso como uma relação entre a quantidade de passageiros entre os tipos de veículo, ou seja, a prioridade de 50 para ônibus equivale a admitir 50 vezes a quantidade de passageiros constatados em um automóvel (PTV Group, 2016).

Para investigar as alterações dos tempos de viagens da Av. Nove de Julho, de acordo com a inserção do sistema de priorização semafórica TSP/EPICS, determinou-se 64 combinações possíveis de ativação do EPICS nos seis controladores das transversais do trecho em estudo (R. Espéria, Av. Brasil, Pça. das Guianas/R. Honduras, Av. Estados Unidos, R. Lorena e R. José Maria Lisboa). A Figura 4-3 traz um esquema da sequência das interseções do trecho.

Figura 4-3: Interseções com controladores semafóricos na Av. Nove de Julho



Fonte: Autor (2022)

As simulações com o otimizador TSP/EPICS envolveram primeiramente duas configurações: EPICS aplicado conjuntamente com as faixas intermitentes (IBL) em todas as quatro estações, onde são medidos os efeitos para todos os ônibus que trafegam no corredor; e EPICS atuando em conjunto com as faixas intermitentes em todas as quatro estações e operação de Meia-Viagem da linha 6913-10, onde são medidos os efeitos apenas na frota de ônibus desta linha. Em ambos os casos, admite-se o peso 50 para ônibus.

4.3.1 Caso 4: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS

Todas as 64 combinações possíveis de utilização do EPICS no trecho estudado foram simuladas em conjunto com a IBL aplicada nas quatro estações simultaneamente. Estas combinações foram divididas em grupos de acordo com a quantidade de interseções onde o EPICS será ativado. De cada um destes grupos, foi escolhida uma combinação (aquela que obteve a maior redução percentual no tempo de viagem dos ônibus) para as demais análises deste caso. Ou seja, das 64 combinações possíveis de utilização do EPICS, somente nessas 6 combinações, na Tabela 4-5 a seguir, foram estudados os impactos nas vias transversais. Os resultados destas simulações estão apresentados no Apêndice B.

Tabela 4-5: Combinação de interseções que apresentaram melhores resultados de IBL conjunta com TSP em cada grupo

Grupo	Interseções
1	Av. Brasil
2	R. Espéria e Av. Brasil
3	R. Espéria, Av. Brasil e Pç. Guianas/R. Honduras
4	R. Espéria, Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras e Al. Lorena
5	R. Espéria, Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras, Al. Lorena e R. José Maria Lisboa
Todos	R. Espéria, Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras, R. Estados Unidos, Al. Lorena e R. José Maria Lisboa

Fonte: Autor (2022)

Nas 6 combinações selecionadas foram estudados os impactos nas transversais da Av. Nove de Julho, devido à hipótese de que essas ruas sofreriam efeitos negativos (congestionamentos, lentidão dos veículos e atrasos), motivados pela priorização do transporte público na Av. Nove de Julho. Por isso, as variáveis atraso relativo e velocidade foram coletadas nas

vias transversais, nestas 6 combinações selecionadas. A coleta destes dados se deu por uma ponderação média dos valores, fornecidos pelo simulador a cada dez metros de via, e compostos em um valor único para cada via. A Tabela 4-6 apresenta a programação das simulações dos cenários, incluindo dois pesos diferentes para o TSP/EPICS (além do peso 50, também o peso 100).

Tabela 4-6: Programação das simulações da IBL conjunta com TSP

INTERVENÇÃO / SENTIDO DA APLICAÇÃO	IDENTIF.	INTENSIDADE DA INTERVENÇÃO
		Cenário Base
IBL + TSP Sentido Bairro-Centro	IBL4 + EPICS50	IBL em todas as quatro estações e EPICS com peso 50 para ônibus nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados
	EPICS50	EPICS com peso 50 para ônibus nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados
	IBL4 + EPICS100	IBL em todas as quatro estações e EPICS com peso 100 para ônibus nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados

Fonte: Autor (2022)

4.3.2 Caso 5: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS e Meia-Viagem em uma linha de ônibus

As 64 combinações possíveis de utilização do EPICS no trecho também foram simuladas em conjunto com a IBL aplicada nas quatro estações simultaneamente, além da operação de Meia-Viagem da linha 6913-10. E destas combinações, os melhores resultados para a redução do tempo de viagem dos ônibus desta linha (apresentados no Apêndice B) foram obtidos nas seguintes combinações, presentes na Tabela 4-7.

Tabela 4-7: Combinação de interseções que apresentaram melhores resultados de IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem em cada grupo

Grupo	Interseções
1	Av. Brasil
2	Pç. Guianas/R. Honduras e R. Estados Unidos
3	Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras e R. Estados Unidos
4	Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras, R. Estados Unidos e R. José Maria Lisboa
5	R. Espéria, Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras, R. Estados Unidos e Al. Lorena
Todos	R. Espéria, Av. Brasil, Pç. Guianas/R. Honduras, R. Estados Unidos, Al. Lorena e R. José Maria Lisboa

Fonte: Autor (2022)

Novamente, nas 6 combinações selecionadas foram estudados os impactos nas transversais da Av. Nove de Julho. Os dados coletados nestes cenários são os mesmos coletados no item anterior para a análise do impacto nas vias transversais. A Tabela 4-8 apresenta a programação das simulações destes cenários, incluindo dois pesos diferentes para o TSP/EPICS, além do peso 50, também o peso 100.

Tabela 4-8: Programação da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem

INTERVENÇÃO / SENTIDO DA APLICAÇÃO	IDENTIF.	INTENSIDADE DA INTERVENÇÃO
		Cenário Base
	IBL4 + EPICS50 + MV	IBL em todas as quatro estações, EPICS com peso 50 para ônibus e linha 6913-10 em regime de Meia-Viagem nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados
IBL + TSP + MV Sentido Bairro-Centro	EPICS50 + MV	EPICS com peso 50 para ônibus e linha 6913-10 em regime de Meia-Viagem nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados
	IBL4 + EPICS100 + MV	IBL em todas as quatro estações, EPICS com peso 100 para ônibus e linha 6913-10 em regime de Meia-Viagem nas 6 diferentes combinações de cruzamentos semaforizados selecionados

Fonte: Autor (2022)

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

É histórico o emprego de macromodelos para análise de redes de transporte urbano, que baseiam a análise no custo generalizado. Porém, para este tipo de experimento aqui empregado, fez-se necessária uma análise individual da operação dos veículos. Por isso, optou-se pelo uso de simulação

computacional com micromodelos, que também é utilizada em parte dos estudos descritos no Capítulo 2.

Nos estudos acadêmicos são normalmente utilizados micro simuladores abertos como o SUMO, mas também o PTV-VISSIM. Nos experimentos aqui realizados optou-se pelo PTV-VISSIM, em especial pela possibilidade de simular o TSP utilizando o módulo EPICS. Os micromodelos permitem a medição dos tempos de percurso dos ônibus, que é um indicador correlacionado ao custo generalizado. E, além disso, as intervenções na infraestrutura podem contribuir para resultados positivos na operação das linhas, cuja medida é melhor quando feita nos micromodelos.

Este capítulo apresentou como as intervenções foram concebidas no VISSIM, assim como foram conduzidos os experimentos. Como não há faixas de ultrapassagens na Avenida Nove de Julho, para induzir ultrapassagens entre os ônibus com as faixas intermitentes, foram aplicadas as intervenções operacionais de *Skip-stop* e *Meia-Viagem*, onde os ônibus que não prestam serviço para determinadas estações podem seguir viagem sem ficar retidos em filas. Além disso, a fim de obter mais reduções nos tempos de percurso, foi simulado o TSP na Av. Nove de Julho, priorizando os ônibus e, conseqüentemente, os automóveis que se aproveitam de mais tempo da fase verde na via.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS

A verificação das melhorias, caso existam, estão configuradas pela redução dos tempos de viagem dos ônibus, sendo medidos os tempos totais de viagem destes veículos e calculando uma média harmônica dos valores obtidos. Apesar de a média harmônica ser utilizada na medição de taxas, como a velocidade, por termos uma distância constante, o tempo de percurso é intrinsecamente proporcional à velocidade. Como já foi dito, os valores obtidos são comparados com os valores do cenário base, que representam o mais fielmente possível o encontrado nas ruas.

5.1 CASO 1: SIMULAÇÃO DAS FAIXAS INTERMITENTES

A Tabela 5-1 apresenta os resultados obtidos para as variações dos tempos de percurso de toda a frota de ônibus e automóveis conforme a utilização da faixa intermitente aplicada em cada um dos cenários, conforme preconizado na Tabela 4-2.

Tabela 5-1: Resultados da simulação da IBL

Cenário	Tempo de percurso		Variação do tempo de percurso	
	Ônibus	Autos	Ônibus	Autos
Base	402,8	436,9	0%	0%
IBL1 GUI	402,7	488,0	0%	12%
IBL1 EUA	402,2	423,0	0%	-3%
IBL1 JML	401,6	434,5	0%	-1%
IBL1 GV	400,8	440,8	0%	1%
IBL4	399,2	486,7	-1%	11%
IBL Full	386,2	2550,6	-4%	484%

Fonte: Autor (2022)

Individualmente, a aplicação da faixa intermitente não causa efeito significativo para os ônibus em nenhum dos cenários, dado que a redução no tempo de percurso é praticamente nula, mesmo quando aplicada em todas as estações. Como todos os ônibus prestam serviço em todas as estações, são muito raros os casos onde um veículo termina de prestar o serviço nesta estação antes daquele parado logo à sua frente. Sendo assim, uma eventual ultrapassagem é igualmente rara, assim como também seria difícil reduzir o tempo de percurso. Com relação ao cenário IBL Full, era de se imaginar que houvesse uma redução no tempo de percurso dos ônibus e um aumento significativo para o

dos automóveis. No entanto, o número de ônibus é muito menor que o número de automóveis, o que não justificaria uma segunda faixa exclusiva em detrimento dos autos nesta via. Este cenário mostra de fato qual seria o limite que as faixas de ultrapassagem poderiam atingir, caso o seu uso fosse irrestrito e sem interferências. Em todo caso, o resultado ainda ficou aquém do esperado com relação aos ônibus.

Em função desses resultados pouco significativos desse conjunto de simulações iniciais da aplicação da técnica IBL para todas as linhas de ônibus do corredor, foi adotada a estratégia de combinar diferentes tipos e técnicas de intervenção e não aplicar a tecnologia IBL isoladamente. Em função disso, a medida do impacto da aplicação da IBL será obtida por estimação, discriminando os resultados das demais intervenções, cujo impacto será medido diretamente sobre a linha em estudo (6913-10).

5.2 SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES COM APLICAÇÃO DE INTERVENÇÕES OPERACIONAIS

5.2.1 Caso 2: Aplicação de IBL conjunta com Skip-stop em uma linha de ônibus

Um ônibus que não presta atendimento em uma estação tende a ultrapassar aqueles que estão parados aguardando o embarque e desembarque de passageiros. Neste caso, a chance de haver uma ultrapassagem na região da estação aumenta e surge a necessidade da utilização de um espaço para realizar esta manobra. Como este ônibus fica menos tempo parado, seu tempo de viagem tende a ser substancialmente menor.

A Tabela 5-2 apresenta os resultados obtidos para as variações dos tempos de viagem com a aplicação da intervenção de *Skip-stop* na operação de todas as partidas apenas dos ônibus da linha 6913-10, juntamente com a utilização da faixa intermitente nas estações, conforme método proposto na Tabela 4-3.

Tabela 5-2: Resultados das simulações da IBL conjunta com Skip-stop

TIPO DE INTERVENÇÃO	IDENTIF.	Tempo de percurso Linha 6913-10	Redução do tempo de percurso
Sem intervenção	Cenário Base	394,1	0%
	IBL4 + SS1 GUI	391,7	-1%
	IBL4 + SS1 EUA	379,4	-4%
IBL + <i>Skip-stop</i> Sentido Bairro-Centro	IBL4 + SS1 JML	376,7	-4%
	IBL4 + SS1 GV	376,3	-5%
	IBL4 + SS3 GUI	338,0	-14%
	IBL4 + SS3 EUA	353,0	-10%
	IBL4 + SS3 JML	357,4	-9%
	IBL4 + SS3 GV	354,3	-10%

Fonte: Autor (2022)

Da Tabela 5-2, é possível verificar que, ao somarmos as reduções dos tempos de viagem com a estratégia de *Skip-stop* em apenas uma das estações (SS1), encontramos valores próximos dos obtidos em uma estratégia de *Skip-stop* em mais de uma estação (SS3). Isso demonstra uma linearidade na aplicação da combinação destas intervenções. Quanto mais estações deixarem de ser atendidas, maior deverá ser a redução do tempo de viagem, até um determinado limite, que seria a operação de Meia-Viagem. Por exemplo, o resultado obtido de -14% no cenário IBL4 + SS3 GUI é a soma dos resultados obtidos em IBL4 + SS1 EUA, IBL4 + SS1 JML e IBL4 + SS1 GV.

5.2.2 Caso 3: Aplicação de IBL conjunta com Meia-Viagem em uma linha de ônibus

Mais forte que a intervenção de *Skip-stop*, os ônibus em regime de Meia-Viagem não prestam serviço em nenhuma estação. Logo tendem a realizar mais ultrapassagens e permanecer menos tempo parados que aqueles prestando serviço normalmente.

A Tabela 5-3 apresenta o resultado obtido para a variação do tempo de percurso apenas dos ônibus da linha 6913-10 quando há a aplicação da intervenção de Meia-Viagem na operação de todas as partidas dos ônibus da linha 6913-10, juntamente com a utilização da faixa intermitente nas estações, conforme a Tabela 4-4.

Tabela 5-3: Resultado das simulações da IBL conjunta com Meia-Viagem

TIPO DE INTERVENÇÃO	IDENTIF.	Tempo de percurso Linha 6913-10	Redução do tempo de percurso
Sem intervenção	Cenário Base	394,1	0%
IBL + Meia-Viagem Sentido Bairro-Centro	IBL4 + MV	335,3	-15%

Fonte: Autor (2022)

Como esperado, a redução no tempo de percurso foi maior que a encontrada na estratégia de *Skip-stop*, dado que os ônibus da linha não prestam serviço em nenhuma das estações. Também foi encontrado o limite para a redução do tempo de viagem da linha com o não atendimento das estações.

Para calcular efetivamente quanto a IBL contribuiu na redução do tempo de percurso desta linha, foi feito um teste aplicando apenas a política de Meia-Viagem na operação de todas as partidas dos ônibus da linha 6913-10, sem a presença da IBL. Neste teste foi obtida uma redução do tempo de percurso de 4,5%. Isso mostra uma contribuição superior a 10% na melhoria da operação desses ônibus pela aplicação da IBL. Estes valores são compatíveis com o encontrado por Zyryanov e Mironchuck (2012) e por Chiabaut e Barcet (2019), apesar da aplicação ser feita de forma distinta.

5.3 SIMULAÇÃO DA TECNOLOGIA IBL EM FAIXAS INTERMITENTES EM COMBINAÇÃO COM TSP E MEIA-VIAGEM

5.3.1 Caso 4: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS

Como descrito no capítulo anterior, havia 64 combinações possíveis de utilização do EPICS a ser aplicada em conjunto com as faixas intermitentes nas estações, de onde foram simuladas quais configurações apresentavam melhor redução no tempo de percurso de todos os ônibus para o primeiro (grupo 1) até o sexto grupo (grupo todos). A Tabela 5-4 apresenta estes melhores resultados, conforme preconizado na Tabela 4-5.

Tabela 5-4: Resultados das simulações das melhores combinações da IBL conjunta com TSP em cada grupo

GRUPO	IBL4 + EPICS50			
	Todos os ônibus		Demais autos	
	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso
Cenário Base	402,8	0,0%	436,9	0,0%
1	397,5	-1,3%	343,2	-21,4%
2	386,8	-4,0%	335,0	-23,3%
3	388,3	-3,6%	338,2	-22,6%
4	387,8	-3,7%	334,2	-23,5%
5	388,4	-3,6%	325,4	-25,5%
Todos	396,3	-1,6%	341,4	-21,9%

Fonte: Autor (2022)

Era esperado que quanto mais semáforos fossem otimizados, maior seria a redução do tempo de viagem. Porém a configuração com 2 semáforos levou ao melhor resultado nestas simulações. Da aplicação do módulo EPICS em outras localidades da Cidade de São Paulo, era conhecido que os melhores resultados seriam alcançados com a aplicação em poucos entroncamentos semaforizados, mesmo este módulo sendo aplicado em conjunto com o módulo BALANCE (BIASE, 2019).

Uma explicação para este resultado é devido à atual configuração dos semáforos da Av. Nove de Julho, onde está programado para que haja uma “onda verde” (um veículo que passe por um semáforo durante sua fase verde chegará aos próximos semáforos nas suas respectivas fases verdes). Uma vez que o EPICS recalcula os ciclos semaforicos localmente, este efeito de “onda verde” é desfeito, possivelmente por isso as maiores reduções de tempo de viagem não estão associadas aos cenários onde o EPICS atua em todos os semáforos.

A partir dos melhores resultados obtidos nas variações do EPICS nas interseções, os novos cenários foram simulados e os resultados destas simulações também estão apresentados na Tabela 5-5, conforme preconizado na Tabela 4-6.

Tabela 5-5: Resultados das simulações da IBL conjunta com TSP

GRUPO	IBL4 + EPICS50				EPICS50				IBL4 + EPICS100			
	Todos os ônibus		Demais autos		Todos os ônibus		Demais autos		Todos os ônibus		Demais autos	
	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso
Cenário Base	402,8	0,0%	436,9	0,0%	402,8	0,0%	436,9	0,0%	402,8	0,0%	436,9	0,0%
1	397,5	-1,3%	343,2	-21,4%	398,8	-1,0%	339,1	-22,4%	398,4	-1,1%	347,0	-20,6%
2	386,8	-4,0%	335,0	-23,3%	384,0	-4,7%	328,7	-24,8%	382,2	-5,1%	330,6	-24,3%
3	388,3	-3,6%	338,2	-22,6%	386,7	-4,0%	326,9	-25,2%	382,1	-5,1%	334,0	-23,5%
4	387,8	-3,7%	334,2	-23,5%	383,9	-4,7%	327,3	-25,1%	383,4	-4,8%	328,3	-24,9%
5	388,4	-3,6%	325,4	-25,5%	390,0	-3,2%	324,1	-25,8%	386,1	-4,2%	335,0	-23,3%
Todos	396,3	-1,6%	341,4	-21,9%	394,1	-2,2%	326,9	-25,2%	395,2	-1,9%	340,4	-22,1%

Fonte: Autor (2022)

A partir da análise da Tabela 5-5 não é possível encontrar diferenças significativas entre a aplicação conjunta do IBL e do EPICS e somente com a aplicação do EPICS, resultado semelhante ao de Chiabaut e Barcet (2019). O que é possível inferir é que o maior peso aos ônibus (no cenário IBL4 + EPICS100) representou uma melhoria para a operação dos ônibus e uma melhoria não tão expressiva para os automóveis, quando comparados os resultados de redução do tempo de percurso deste cenário (IBL4 + EPICS100) em relação ao cenário IBL4 + EPICS50. Também é possível verificar que quando não há a aplicação da IBL, a redução do tempo de percurso dos automóveis é maior do que nos demais cenários, já que os ônibus ficam restritos apenas à faixa exclusiva já existente, não interferindo no trânsito dos autos.

Apesar da pouca variação dos tempos de viagem entre os cenários, percebe-se que o sistema EPICS causou uma redução muito significativa no tempo de viagem dos automóveis, beneficiados pela presença dos ônibus no corredor. A pouca redução dos tempos de viagem dos ônibus possivelmente se dá por estes já estarem utilizando um corredor bem estruturado, onde qualquer alteração em sua infraestrutura não acarretaria em grandes variações destes tempos.

Uma vez que o TSP/EPICS prioriza o fluxo de veículos na Av. Nove de Julho sobre as vias transversais, nestas os automóveis acabam tendo seu tempo de permanência na via aumentado. Estes tempos são calculados a partir das velocidades dos veículos, que são conseqüentemente menores, já que permanecem mais tempo parados aguardando a fase verde. Os atrasos relativos também tendem a aumentar pela mesma razão.

Na simulação de cada grupo da Tabela 5-4 foram calculados os impactos nessas duas variáveis para cada cenário apresentado (IBL4 + EPICS50, EPICS50 e IBL4 + EPICS100). Se fosse optado por adotar a estratégia com o melhor resultado alcançado nos cenários apresentados na Tabela 5-5 (grupo 2 do cenário IBL4 + EPICS100), a Tabela 5-6 mostra os impactos que seriam causados nas vias transversais referentes a esta estratégia.

Tabela 5-6: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	62	84%	17%	14%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	66%	-2%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	37%	1%	8%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Semelhante aos resultados obtidos em um dos experimentos conduzidos por Ma e Xu (2020), nos entroncamentos onde o EPICS atuou houve incremento nos tempos de permanência na via e nos atrasos relativos. Já na Av. Brasil, mesmo com a atuação do EPICS, há muitos veículos trafegando por esta via, equilibrando a prioridade entre a via principal e a transversal.

O restante destes resultados está presente no Apêndice C. Neles, continuamos observando que nos entroncamentos onde o EPICS não atuou não houve alteração nas variáveis medidas, como deveria acontecer.

5.3.2 Caso 5: Aplicação de IBL conjunta com TSP/EPICS e Meia-Viagem em uma linha de ônibus

Também foram realizadas mais 64 simulações utilizando o EPICS em conjunto com as faixas intermitentes (IBL) em todas as estações e com a operação de Meia-Viagem para os ônibus da linha 6913-10, de onde também foram sumarizadas as combinações que apresentaram as maiores reduções nos tempos de viagem, mas desta vez olhando apenas para a frota da linha 6913-10. Os resultados para o primeiro (grupo 1) até o sexto grupo (grupo todos) estão na Tabela 5-7, conforme preconizado na Tabela 4-7. Os resultados dos automóveis não são apresentados por serem semelhantes aos obtidos no item anterior. A análise seria, então, a mesma.

Tabela 5-7: Resultados das simulações das melhores combinações da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem em cada grupo

GRUPO	IBL4 + EPICS50 + MV	
	Linha 6913-10	
	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso
Cenário Base	394,1	0,0%
1	321,2	-18,5%
2	325,2	-17,5%
3	313,2	-20,5%
4	311,8	-20,9%
5	315,8	-19,9%
Todos	319,2	-19,0%

Fonte: Autor (2022)

Novamente, esperava-se que a configuração com seis semáforos apresentasse uma maior redução no tempo de percurso dos ônibus, mas não foi isso o observado. A configuração com quatro semáforos obteve o melhor resultado nestes testes, mais uma vez devido à “onda verde” que foi desfeita.

Semelhante ao item anterior, novos cenários foram simulados e os resultados alcançados para as reduções dos tempos de viagem estão na Tabela 5-8. Novamente, os valores das reduções dos tempos de viagem dos automóveis foram muito semelhantes aos do item anterior, portanto também não estão nesta tabela.

Tabela 5-8: Resultados das simulações da IBL conjunta com TSP e Meia-Viagem

GRUPO	IBL4 + EPICS50 + MV		EPICS50 + MV		IBL4 + EPICS100 + MV	
	Linha 6913-10		Linha 6913-10		Linha 6913-10	
	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso	Tempo de percurso	Redução do tempo de percurso
Cenário Base	394,1	0,0%	394,1	0,0%	394,1	0,0%
1	321,2	-18,5%	375,1	-4,8%	327,7	-16,9%
2	325,2	-17,5%	382,6	-2,9%	320,9	-18,6%
3	313,2	-20,5%	372,0	-5,6%	317,0	-19,6%
4	311,8	-20,9%	379,5	-3,7%	319,6	-18,9%
5	315,8	-19,9%	369,9	-6,2%	318,8	-19,1%
Todos	319,2	-19,0%	367,0	-6,9%	324,2	-17,7%

Fonte: Autor (2022)

Era esperado que os resultados do cenário onde há peso 100 para o EPICS atingissem as maiores reduções nos tempos de viagem dos ônibus da linha

6913-10, por haver um maior peso (uma maior priorização) para os ônibus nas interseções semaforizadas. Mas novamente o desbalanceamento da “onda verde” não permitiu que houvesse esta redução. Mais ainda, as reduções foram menores que o cenário IBL4 + EPICS50 + MV.

Nota-se na Tabela 5-8 que, ao remover as faixas intermitentes, as reduções dos tempos de viagem foram em média 15% menores quando comparadas com as reduções alcançadas nos cenários com IBL, pois estamos aplicando a intervenção de Meia-Viagem aos ônibus da linha 6913-10. Sem a faixa de ultrapassagem, estes ônibus permanecem parados na faixa exclusiva nas estações enquanto aguardam o atendimento dos demais.

Na Tabela 5-5, para todos os ônibus do corredor, não foi possível medir a influência do IBL. Porém, pela Tabela 5-8, vê-se que para os ônibus da linha 6913-10 esse impacto é maior, dado que estes foram submetidos à intervenção de Meia-Viagem.

Novamente, o TSP/EPICS prioriza o fluxo de veículos na Av. Nove de Julho sobre as vias transversais. Na simulação de cada grupo da Tabela 5-8 também foram calculados os impactos das vias transversais para as mesmas duas variáveis de cada cenário apresentado (IBL4 + EPICS50 + MV, EPICS50 + MV e IBL4 + EPICS100 + MV). Se fosse optado por adotar a estratégia com o melhor resultado alcançado nos cenários apresentados na Tabela 5-8 (grupo 4 do cenário IBL4 + EPICS50 + MV), a Tabela 5-9 apresenta os impactos que seriam causados nas vias transversais referentes a esta estratégia.

Tabela 5-9: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	48	71%	9%	8%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	50	39%	9%	14%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	82	50%	53%	53%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	66%	-27%	-10%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	53	40%	-22%	3%

Fonte: Autor (2022)

Novamente, não há variações nos entroncamentos onde o EPICS não atuou. Porém é notável que houve redução nos atrasos dos automóveis na Rua Estados Unidos, contrariando o senso comum. Esta anomalia foi encontrada em todas as simulações em que o EPICS atuou neste entroncamento. Também é notável o fato de haver redução no tempo de permanência na via e aumento do atraso relativo na Rua José Maria Lisboa. Apesar de incomum, isto foi notado em outras simulações dos grupos onde havia atuação do EPICS neste entroncamento.

O restante destes resultados está presente no Apêndice C. Estes resultados corroboram a hipótese referente às ruas transversais à Av. Nove de Julho, comprovando o impacto devido à priorização dos ônibus, dado que os semáforos oferecem maior privilégio ao transporte público em detrimento da passagem dos veículos nas vias transversais. No entanto, os veículos que realizam a manobra de entrada na Av. Nove de Julho passam a receber a vantagem da priorização, pois se tornam parte do fluxo principal, lembrando que a redução no tempo de viagem dos automóveis atingiu cerca de 25%.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Muito raros são os casos onde os ônibus precisam ultrapassar por um ter finalizado o embarque e desembarque de passageiros antes do que está à sua frente. Sendo assim, uma faixa de ultrapassagem mostra-se pouco necessária, tanto que apenas a presença das faixas intermitentes resultou em uma melhoria de apenas 1% no tempo de percurso.

No entanto, ônibus que não estejam prestando serviço, seja em uma estação específica, seja no trajeto inteiro, não podem permanecer parados. Assim, um espaço para ultrapassar aqueles parados nas estações pode ser útil. A geometria da Av. Nove de Julho não permite que, no sentido centro, exista uma quarta faixa na região das estações, como ocorre no sentido bairro. Portanto, para solucionar esta questão, uma faixa de ônibus intermitente pode ser utilizada na realização das ultrapassagens, já que a frequência de utilização desta faixa seria baixa, dentro dos níveis de utilização da IBL como foi concebida, chegando a uma melhoria de até 15% a depender da situação, e pouco prejudicando o tráfego geral de veículos na via.

Para atingir melhores valores nos tempos de percurso dos ônibus, foi utilizada a priorização semafórica (TSP), que é programada para dar ainda mais vantagens aos ônibus. Juntamente com a IBL e a operação de Meia-Viagem, o tempo de percurso dos ônibus pode ter uma redução em mais de 20%. Porém há dois efeitos colaterais de seu uso. Primeiro que os automóveis na via principal se beneficiam do tempo de verde extra que a avenida recebe, o que compensa, e inclusive excede, os aumentos dos tempos de percurso causados pelas faixas intermitentes. Esta redução no tempo de percurso pode chegar a exceder 25% para os automóveis. Segundo que nos entroncamentos onde há priorização semafórica, os automóveis nas vias transversais acabam por ser prejudicados caso não façam a conversão para a via principal, pois aqueles que o fazem passam a receber a priorização junto com os ônibus.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou quantitativamente os impactos das intervenções na infraestrutura, utilizando as técnicas IBL e TSP, e intervenções operacionais na linha de ônibus por meio de serviços *Skip-stop* e Meia-Viagem.

Os resultados das simulações mostram que é possível alcançar reduções de tempo de viagem da ordem de 10% a 20%, mesmo para um trecho de apenas 3km de extensão no corredor de ônibus Nove de Julho – Santo Amaro. Esses resultados são condizentes com os estudos realizados por Zyryanov e Mironchuk (2012) que demonstrou a possibilidade de ganhos de 15% a 25%, e Chiabaut e Barcet (2019), que obtiveram redução de 15% no tempo de viagem, levando-se em considerações as diferenças nas condições de tráfegos.

Observou-se que a técnica IBL aplicada isoladamente não produz uma redução significativa, pois as manobras de entradas e saídas nas faixas intermitentes acarretam perdas, reduzindo a eficiência. Entretanto, a técnica IBL quando combinada com a técnica *Skip-stop* produz ganhos da ordem de 10% em linhas com estações que não possuem espaço para ultrapassagem.

Uma intervenção que combinou as técnicas IBL, TSP e Meia-Viagem alcançou redução de 20,9% para a linha de ônibus estudada. Essa mesma intervenção, resultou em um ganho de 23,5% para os automóveis, que se beneficiaram de maior fluidez de tráfego decorrente da priorização semaforica, além de não precisarem parar nas estações. Esse resultado é significativo considerando que o melhor resultado apontado na literatura aplicando intervenções conjugadas foi de 18,1% (Fu *et al.*, 2003). Os ônibus das outras linhas também foram beneficiados com ganhos de cerca de 5% pelo uso do TSP. Saliente-se que o ganho obtido acarretou um aumento no tempo de espera de cerca de 14,1% dos veículos da principal transversal (Av. Brasil).

Uma das contribuições desta dissertação foi a mensuração de resultados pela aplicação do IBL na faixa de ultrapassagem, conjuntamente com intervenções na frota.

Acrescente-se que este presente estudo pode ser utilizado como um guia pelo gestor público para avaliar e planejar a aplicação de intervenções mais apropriadas para as condições de trânsito e de transporte de sua cidade.

Recomendações de pesquisas futuras

Tendo-se em vista a continuidade desta pesquisa, são sugeridos os seguintes tópicos:

- Desenvolver um método de simulação de faixa intermitente do tipo BLIP, em que os veículos precisam sair da faixa para dar passagem aos ônibus;
- Calcular as reduções de tempo de percurso como custo generalizado para os dois modos estudados (ônibus e automóveis). Isto poderá ser útil em estudos para viabilizar a implantação das tecnologias ITS nos projetos de novos corredores de ônibus;
- Verificar os ganhos ambientais da aplicação das intervenções descritas nesta dissertação e quantificá-los de modo a gerar dados para o poder público viabilizar e implementar estas intervenções;
- Avaliar o potencial de atração de usuários para o sistema de ônibus visando reduzir a quantidade de veículos nas ruas e, conseqüentemente, os congestionamentos causados principalmente por eles;
- Quantificar o ganho operacional com o uso de faixas intermitentes nos acostamentos de rodovias;
- Verificar a possibilidade de substituição das faixas exclusivas permanentes por faixas intermitentes em vias com baixa frequência de passagem de ônibus.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. A. DE; BITTENCOURT, A. DE L.; FREITAS, A. L. P. Avaliação da qualidade do transporte público: um estudo experimental considerando ônibus e vans. **XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção**. 2016.

AHMED, F.; HAWAS, Y. E. An integrated real-time traffic signal system for transit signal priority, incident detection and congestion management. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, V. 60, p. 52–76, 2015.

ALEMÁN, A. M. **Simulation of Transit Signal Priority Strategies for BRT Operations**. Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2013.

ALMEIDA JÚNIOR, A. D. **Método de coordenação semaforica para corredores de transporte coletivo**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 217. 2007.

ANTP [Associação Nacional de Transportes Públicos]. **Série de Cadernos Técnicos: Sistemas Inteligentes de Transporte - Volume 8**, 2012.

ANTP [Associação Nacional de Transportes Públicos]. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público** - Simob/ANTP, 110 p., 2018. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/simob-2016-v6.pdf>.

APTA [American Public Transportation Association]. **Implementing BRT Intelligent Transportation Systems**. Washington, DC, 2010.

ARBEX, R. O.; CUNHA, C. B. da. Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 81, p. 355-376, 2015.

ARENALES *et al.*, **Pesquisa operacional para cursos de Engenharia**. Campos, Rio de Janeiro. 2006.

BALMER, D. W.; PAUL, R. J. Casm. The Right Environment for Simulation. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 37, p. 443-452, Maio, 1986.

BAZAMI, A. Biarticulado com motor dianteiro transportou passageiros pela primeira vez nesta terça-feira em Curitiba. **Diário do Transporte**. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2017/12/05/biarticulado-com-motor-dianteiro-transportou-passageiros-pela-primeira-vez-nesta-terca-feira-em-curitiba>. 2017. Acesso em 01/05/2019.

BAZAMI, A. Vídeo retrata primeiros anos do BRT pioneiro no mundo. **Diário do Transporte**. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2018/12/30/historia-video-retrata-primeiros-anos-do-brt-pioneiro-no-mundo>, 2018. Acesso em 15/03/2019.

BIASE, L. di. **Análise de sistemas de otimização semaforica em tempo real para a melhoria do desempenho da rede viária: um estudo de caso na cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica, São Paulo, 2019.

BRAUN, R.; KEMPER, C.; WEICHENMEIER, F.; MENIG, C.; WEGMANN, J. Comparing different adaptive traffic signal control optimization methods – field test results. **15th World Congress on ITS**, 2008, New York City. Proceedings...New York City, 2008.

BRITO, L. Painéis eletrônicos em pontos de ônibus de SP dão informações erradas. **O Globo**. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL1057079-5605,00-PAINEIS+ELETRONICOS+EM+PONTOS+DE+ONIBUS+DE+SP+DAO+INFORMACOES+ERRADAS.html>. Acesso em 15/03/2019

CANTWELL, M.; CAULFIELD, B.; O'MAHONY, M. Examining the Factors that Impact Public Transport Commuting Satisfaction. **Journal of Public Transportation**, v. 12, n. 2, p. 1-21. 2009.

CASTRO, L.; VON ZUBEN, F. **Tópico 1 - Hill Climbing e Simulated Annealing**, Campinas, 2002.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Mobilidade Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/714822/msvp-2017-volume-e-velocidade.pdf>. Acesso em 12/06/2019.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Mobilidade Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2018**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/969813/relatorio-msvp-2018.pdf>. Acesso em 30/06/2020.

CHALON, R.; DAVID, B.; WANG, C.; YIN, C. Dynamic road lane management study: A Smart City application. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. V. 89, p. 272-287, 2016.

CHIABAUT, N., BARCET, A. Demonstration and evaluation of an intermittent bus lane strategy. **Public Transport**. V. 11, p. 443-456, 2019.

CUNTO, F. J. C.; LOUREIRO, F. G. **O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes. Fortaleza. 2011.

DALE, J.; BAUER, T.; WON, J. **Transit Signal Priority and the Traffic Signal Controller: Partners in BRT Success!** [S.I.]. 2009.

FARO, C. de; SILVA, S. L. Q. da. **A década de 50 e o Programa de Metas**. In: CPDOC, C. DE P. E H. C. DO B. (Ed.). O Brasil de JK. 1a ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, p. 67-105, 1991.

FHWA [Federal Highway Association]. **Automatic Vehicle Location Successful Transit Applications: A Cross-Cutting Study: Improving Service and Safety**. Joint Program Office for Intelligent Transportation Systems, FTA, July 2000. Disponível em: http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/JPODOCS/REPTS_TE/11487.pdf

FREDERICO, C. S. **Aplicativo móvel para uma operação de ônibus comandada pelo viajante: um projeto de experiência do usuário**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GERSHENSON, C.; ROSENBLUETH, D. A. Self-organizing traffic lights at multiple-street intersections. **Complexity**, v. 17, n. 4, p. 23–39, Wiley, 2012.

GUIVER, J. W. Modal talk: Discourse analysis of how people talk about bus and car travel. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n. 3, p. 233–248, 2007.

HAWAS, Y. E. An integrated simulation-based fuzzy logic model for real-time traffic signal control. **Transportmetrica**, v. 7, n. 4, p. 247-278, Taylor&Francis, 2011.

HENSHER, D. A. & LI, Z. Ridership drivers of bus rapid transit systems. **Transportation**. V. 39, n. 6, p. 1209-1221. 2012.

HIDALGO, D.; CARRIGAN, A. **Modernizing public transportation: Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia**. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <http://www.embarq.org/en/modernizing-public-transportation>. 2010.

- HOSHINA, L. N. N.; CHIOVETTI, P. B.; DELUCA, R. S. **Estudo de viabilidade e impactos da aplicação de ferramentas ITS em faixas e corredores de ônibus**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 126 p. 2015.
- HOURLAKIS, J.; MICHALOPOULOS, P. G.; KOTTOMMANNIL; J. Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. **Transportation Research Record**, v.1852, p.130-139,2003.
- ITDP [Institute for Transportation & Development Policy]. **Padrão De Qualidade BRT - Versão em Português**. Rio de Janeiro-RJ. 56 p. 2014.
- KIM, S.; PARK, M.; CHON, K. S. Bus Signal Priority Strategies for Multi-directional Bus Routes. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2011.
- KLEINA, M.; WILHELM, V. E. **Notas de aula da disciplina Tecnologias da Decisão II**. Universidade Federal do Paraná. 2019.
- KUMAR, A.; ZIMMERMAN, S.; AGARWAL, O.P. **International Experience in Bus Rapid Transit Implementation: Synthesis of Lessons Learned from Lagos, Johannesburg, Jakarta, Delhi, and Ahmedabad**. World Bank, Washington, DC. 2012.
- LINDAU, L. A., HIDALGO, D. & LOBO, A. A. Barriers to planning and implementing Bus Rapid Transit systems. **Research in Transportation Economics**. V. 48. p. 9-15. 2014.
- LIU, H. X. *et al.* Real-time queue length estimation for congested signalized intersections. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. V. 17, n. 4, p. 412–427, ago. 2009.
- LIU, H.; XIE, C. Allocating exclusive and intermittent transit lanes in dynamics traffic networks with connected and automated vehicles. **International Journal of Transportation Science and Technology**. 2021.
- MA, C.; XU, X. D. Prviding Spatial-Temporal Priority Control Strategy for BRT Lanes: A Simulation Approach. **Journal of Transportation Engineering Part A: Systems**. V. 146, n. 7, artigo n.º 04020060. 2020.
- MARTE, C. L.; YOSHIOKA, L. **Notas de aula da disciplina PTR2580**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2015.
- MCKENNEY, D.; WHITE, T. Distributed and adaptive traffic signal control within a realistic traffic simulation. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. V. 26, n. 1, p. 574–583, Elsevier, 2013.
- MEDEIROS, A. L. **Aplicabilidade de algoritmos genéticos para calibração de redes viárias urbanas microssimuladas**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Fortaleza, 90 p. 2012.
- MERTZ, J. **Ein mikroskopisches Verfahren zur adaptiven Knotenpunktsteuerung mit Vorrang des öffentlichen Verkehrs**. Veröffentlichung des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung der Technischen Universität München, 2001.
- MING, S. H. **Uma breve descrição do Sistema SCOOT**. Nota Técnica nº 201, CET, São Paulo, 1997.
- MORA, P.; VIANNA, F. **Guia PTV VISSIM**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2017.

NTU [Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos]. **Faixas Exclusivas de Ônibus Urbanos – Experiências de Sucesso**. Brasília, 2013.

NUNES, E. H. M. **Estimativa da ocupação utilizando sensoriamento Wi-Fi de telefones móveis: Uma aplicação no transporte público urbano de passageiros por ônibus**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 90 p. 2018.

OLIVEIRA NETO, F.M. **Priorização do Transporte Coletivo por Ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2004.

OLSTAM, J.; HÄLL, C. H.; SMITH, G.; HABIBOVIC, A.; ANUND, A. **Dynamic bus lanes in Sweden – a pre-study**. Technical report. K2 Research, Lunds universitet, 2015.

ORTÚZAR, J. D. ; WILLUMSEN, L. G. **Modeling Transport**. 4ª Edição. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2011.

PEREIRA, A. L. S. **Intervenções operacionais visando a regularidade e a eficiência de sistemas de ônibus urbanos: resenha de estudos acadêmicos e simulação de aplicações com dados reais**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 228 p. 2018.

PERON, L. **Contribuição Metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 120 p. 2015.

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

POYARES, C. N. **Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

PTV Group. **Epics User Manual**. PTV AG, Karlsruhe, 2016.

ROBERTSON, D. I. **Research on the TRANSYT and SCOOT Methods of Signal Coordination**. ITE Journal, London, 1986.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos. **Pesquisa Origem e Destino 2007 – Região Metropolitana de São Paulo: Síntese das Informações Pesquisa Domiciliar**. São Paulo, 2008.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos. **Pesquisa Origem e Destino 2017 – Região Metropolitana de São Paulo: Síntese das Informações Pesquisa Domiciliar**. São Paulo, 2019.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo – Câmara Municipal de Vereadores. **Projeto aprovado prevê revitalização da av. Santo Amaro**. São Paulo, 2015a. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.leg.br/blog/projeto-aprovado-preve-revitalizacao-da-av-santo-amaro/>. Acesso em 19 abr 2019.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo – Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. **Documento Técnico: Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) e Solicitação de Licença Ambiental de Instalação para Reforma do Corredor Santo Amaro - 9 de Julho e Requalificação da Avenida Santo Amaro – Trecho Juscelino Kubitschek - Bandeirantes**. São Paulo, 2015b.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo – Secretaria Municipal de Transportes. **Instruções para cadastramento do bilhete único comum**. 2019.

STEVANOVIC, A. **Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice**. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Synthesis 403, Transportation Research Board, Washington, 2010.

TIRACHINI, A. Bus dwell time: The effect of different fare collection systems, bus floor level and age of passengers. **Transportmetrica A: Transport Science**. V. 9, n. 1, p. 28-49, 2013.

VALENCIA, A.; FERNANDEZ, R. A method to calculate commercial speed on bus corridors. **Traffic Engineering & Control**. V. 56, n. 6, p. 215-221, 2012.

VUCHIC, V. Bus Semirapid Transit Mode Development and Evaluation. **Journal Of Public Transportation**. V. 5, n. 2, p. 71-95. jun. 2002.

VUCHIC, V. **Urban Transit: Operation, Planning and Economics**. 1ª Edição. University of Pennsylvania: John Wiley & Sons Ltd., 2005.

YANG, I.; JAYAKRISHNAN, R. Real-time network-wide traffic signal optimization considering long-term green ratios based on expected route flows. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. V. 60, p. 241-257, Elsevier, 2015.

ZYRYANOV, V.; MIRONCHUK, A. Simulation study of intermittent bus lane and bus signal priority. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**. N. 48, p. 1464-1471, 2012.

APÊNDICE A

Ferramentas de ITS para o Usuário

As ferramentas a seguir são aquelas das quais o usuário tem benefício diretamente envolvido e os ajudam a tomar decisões sobre o trajeto escolhido, que ônibus utilizar e o conforto garantido na viagem.

a) Informação ao usuário em tempo real

O usuário do TP necessita de informações sobre sua viagem em três momentos distintos: antes, durante e depois da viagem no modal ocorrer.

A primeira informação serve para que o usuário tome a decisão de qual trajeto irá escolher e qual meio de transporte. As estações devem conter informações sobre as linhas que passam por ali, os horários mínimos e máximos de espera, e quanto tempo, até o próximo ônibus de cada linha, levará para chegar ali. Neste último caso, o ideal é que sejam colocados Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) para atualização constante da informação (Figura A-1).

Durante a viagem, ou seja, quando o usuário está embarcado, são necessárias indicações audiovisuais das próximas estações, para que o usuário se localize e saiba quando deverá desembarcar, sem a necessidade de um anúncio do condutor (Figura A-2), além de avisos de interrupção de serviços e informações atualizadas sobre o trânsito.

E após a viagem, utilizando aquele modal, são necessários avisos de eventuais transferências e/ou chegada ao destino final (Figura A-3).

Informações fornecidas desta maneira tendem a dar conforto ao usuário, no sentido de que farão sua viagem dentro de um tempo programado, dado que não ocorra nenhum incidente no trajeto. Para que isso ocorra, no entanto, as informações devem ter um grau de precisão elevado, sendo necessário um sistema de Localização Automática de Veículos (AVL, em inglês).

Figura A-1: PMV



Fonte: Luísa Brito (2009)

Figura A-2: Indicação visual da próxima estação



Fonte: Autor (2022)

Figura A-3: Indicação de baldeações possíveis



Fonte: Autor (2022)

b) Wi-Fi disponível ao usuário

A disponibilização de internet sem fio para os usuários não está ligada diretamente à eficiência do sistema. Fornece-la, no entanto, permite que os

usuários se entretendam e possam acompanhar informações sobre a viagem através de seus dispositivos móveis.

A empresa reguladora do transporte pode (ou não) cobrar tarifas para o uso do Wi-Fi, mediante cadastro, por exemplo. E os roteadores podem estar embarcados nos ônibus/trens ou fixados nas plataformas dos terminais/estações.

c) Cobrança tarifária

A cobrança da tarifa pode ser feita de diversas maneiras. A mais antiga forma é o pagamento em dinheiro pelo usuário para um cobrador no interior dos ônibus. Com o tempo, surgiram os bilhetes para catracas, que o usuário deveria adquirir antes de embarcar e que tem sido usado nos sistemas de metrô e trem desde sua implantação. Isto garante que todos os usuários na plataforma de embarque já tenham pagado a tarifa para utilizar este meio de transporte.

Nos ônibus, o pagamento de uma tarifa para cada embarque era desfavorável para aqueles que precisavam fazer uma ou mais baldeações, enquanto nos sistemas sobre trilhos, a transferência entre trens era gratuita. Para melhorar esta situação, foram implantados sistemas de cartões pré-pagos para o pagamento das tarifas, que permitem aos usuários fazer baldeações sem pagar tarifas extras, dentro de um limite de tempo. Na cidade de São Paulo, foi dado o nome de Bilhete Único (Figura A-4). Dentro dos ônibus, foram instaladas máquinas para fazer a cobrança desta tarifa, onde os usuários devem aproximar seus cartões magnéticos para o débito do valor correspondente (Figura A-5). Aqueles que não possuem crédito suficiente devem pagar a tarifa diretamente ao cobrador. Após algum tempo, o número de baldeações foi limitado a 4 (quatro) no período de duas horas. Hoje, há uma nova regra para as baldeações, sendo limitadas a 3 embarques no período de 3 horas.

Em São Paulo, posteriormente, o uso dos cartões magnéticos foi estendido ao sistema de trilhos e foi permitida uma cobrança parcial da tarifa quando se utilizava tanto ônibus quanto metrô ou trem para a viagem, novamente, dentro de um determinado limite de tempo, com limite de baldeações. Como os sistemas de ônibus e os sistemas sobre trilhos são geridos por esferas diferentes do poder público, o restante da tarifa é pago como subsídio às empresas operadoras de acordo com sua competência.

A compra de créditos para os cartões magnéticos pode ser feita em terminais automáticos ou em guichês nas estações de metrô e trem e nos terminais de ônibus. Para isso, é necessária uma comunicação entre os terminais automáticos com a internet, quando o pagamento é feito com cartões de débito ou crédito.

Os cartões magnéticos possuem agora uma nova modalidade de cobrança tarifária: o modelo temporal. Deste modo, os usuários pagam uma determinada tarifa e podem utilizar os sistemas de ônibus e/ou trens quantas vezes desejarem (sem limite de baldeações) dentro do período correspondente à tarifa paga. Normalmente, são oferecidos para uso semanal ou mensal.

Figura A-4: Cartão Bilhete Único



Fonte: SPTrans (2003)

Figura A-5: Validador de créditos



Fonte: Autor (2022)

d) Vigilância/Segurança

Os sistemas de vigilância e segurança, assim como a disponibilidade de internet sem fio, não estão diretamente ligados à eficiência do sistema. Incluem câmeras de vídeo e alarmes, dentro dos veículos e trens, nas estações e

terminais. Os alarmes são botões acionados tanto por condutores quanto por usuários para se comunicarem entre si ou com um operador externo (Figura A-6).

Novamente, a presença de um dispositivo AVL embarcado é essencial para que sejam permitidos atendimentos rápidos e eficientes em casos de emergência, uma vez que a central de operações consiga localizar o veículo ou trem.

Além disso, os sistemas de segurança dão conforto e confiança aos usuários no sentido de se sentirem protegidos contra furtos, vandalismos e assédios.

Figura A-6: Botoeira para comunicação com o condutor



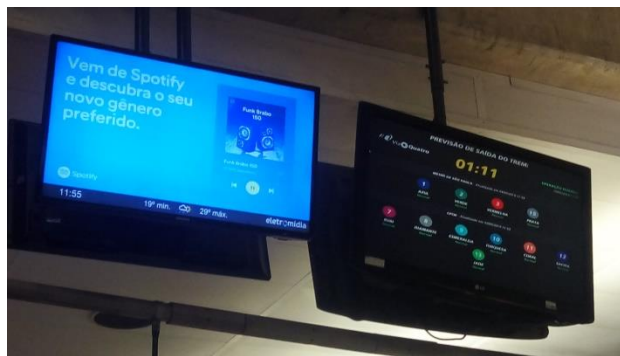
Fonte: Autor (2022)

e) Mídia informativa/comercial

Assim como o Wi-Fi, os sistemas de mídia informativa podem servir para entreter os usuários durante a viagem e também não estão ligados à eficiência dos sistemas de transportes. Consistem em telas de cristal líquido (LCD, em inglês) posicionadas dentro dos veículos e trens ou nas estações e terminais, que exibem propagandas, notícias, informações sobre o clima e alertas sobre a viagem (Figura A-7).

Por entreter os usuários, costumam dar a sensação de uma viagem mais rápida e confortável.

Figura A-7: Tela de mídia informativa



Fonte: Autor (2022)

Ferramentas de ITS para o Veículo

As ferramentas apresentadas nesta seção estão ligadas ao funcionamento, operação e manutenção dos veículos, podendo facilitar sua condução e, através de indicadores obtidos por sensores instalados, dar um *feedback* para motoristas e operadores sobre como melhorar a eficiência dos veículos.

a) Gestão e monitoramento de frota

Este ferramental está na fronteira entre ferramentas para veículos e operadores. Apesar de dar indicativos de distância percorrida, tempo de trajeto, consumo de combustível, quantidade de aberturas/fechamentos de portas, etc., necessários para um controle maior dos operadores com relação à manutenção dos veículos, este monitoramento pode servir para os motoristas realizarem o trajeto de modo a aperfeiçoar sua condução.

Todos os indicadores são gravados e armazenados em um computador de bordo nos veículos, ficando disponíveis para *download* em um sistema central, que os filtra e classifica posteriormente. Quando comparados com os dados de outros veículos, é possível definir estratégias para melhorar o desempenho da viagem deste ou daquele veículo.

b) Sistema preventivo de colisões/Controle automatizado

As tecnologias anticolidões estão se aperfeiçoando a cada dia. Os veículos autônomos têm estado mais presentes no nosso cotidiano. E o sistema preventivo de colisões adota alguns princípios dos veículos autônomos.

Há diferentes tipos deste sistema: os que apenas alertam ao condutor sobre riscos de colisão, para que este tome alguma medida; os que assumem controle parcial do veículo sobre o sistema de freios e mudanças de suspensão; e os que possuem total controle do veículo (totalmente autônomo). Estes sistemas já estão presentes na operação de trens e metrô. Não são, contudo, à prova de falhas, visto que existem casos recentes de colisão entre composições. Este sistema ainda pode ser usado para outros fins, como o veículo não deixar a plataforma de embarque/desembarque com as portas abertas.

O problema principal deste tipo de sistema é o uso de algoritmos que emitem falsos avisos ou que não sejam capazes de diferenciar situações atípicas de ameaças reais. Porém estas situações estão sendo corrigidas e, com mais alguns anos, será possível a autonomia total em todos os veículos.

c) Indicação na faixa de rodagem

Este sistema retorna ao motorista orientações sobre a condução do veículo para um melhor desempenho. O sistema pode ser, como na ferramenta acima, parcialmente autônomo, dando ao condutor a tarefa de acelerar e frear. O trajeto, no entanto, é percorrido automaticamente.

Quando se tratam de ônibus, pode-se adotar uma das seguintes tecnologias: direção guiada por rodas laterais, orientação ótica, orientação magnética ou orientação por GPS. Um exemplo da roda lateral pode ser visto na Figura A-8.

Figura A-8: Direção guiada por roda lateral em ônibus na Austrália



Fonte: Eric Fidler (GGWASH)

Este sistema tem por benefício a redução da largura necessária para a faixa de rolagem do veículo e o aumento do nível de confiabilidade do serviço prestado, já que a direção não depende exclusivamente do motorista. Em compensação, para veículos sobre trilhos, há uma limitação de velocidade entre 70 e 80 km/h.

d) Precisão na acoplagem

Trata-se da capacidade do veículo de se aproximar da plataforma de embarque/desembarque, através de mecanismos ópticos ou mecânicos, com o objetivo de reduzir ao máximo o vão entre ambos. Isto permite a entrada e saída de passageiros de forma mais segura, especialmente para portadores de necessidades especiais, idosos e crianças. Este tipo de sistema pode ser desativado pelos condutores a qualquer momento da viagem.

Pode ainda ser utilizado para que os veículos parem sempre na mesma posição ao chegar a uma plataforma, de modo a alinhar suas portas com as áreas reservadas para embarque e/ou desembarque de passageiros, como é o caso do sistema implantado na Linha 4-Amarela do metrô de São Paulo.

Em algumas linhas de trens e ônibus metropolitanos, é possível encontrar uma pequena plataforma móvel que se abre quando os veículos param nas estações e abrem suas portas, de modo a eliminar o vão deste com a plataforma (Figura A-9).

Normalmente, é auxiliado pelos sistemas de indicação das faixas de rodagem e de controle automatizado.

Figura A-9: Plataforma extensível para embarque/desembarque



Fonte: Cesar Brustolin (2017)

Ferramentas de ITS para o Operador

As ferramentas apresentadas nesta seção são utilizadas pelas empresas operadoras dos sistemas de transporte de modo a otimizar a operação das frotas de ônibus e melhorar seu desempenho.

a) Localização Automática de Veículos (AVL)

Esta ferramenta é utilizada para monitorar, em tempo real, a localização de cada veículo através de sistemas de posicionamento como o GPS. Estas informações são transmitidas dos mesmos para a central de operações para que sejam armazenadas.

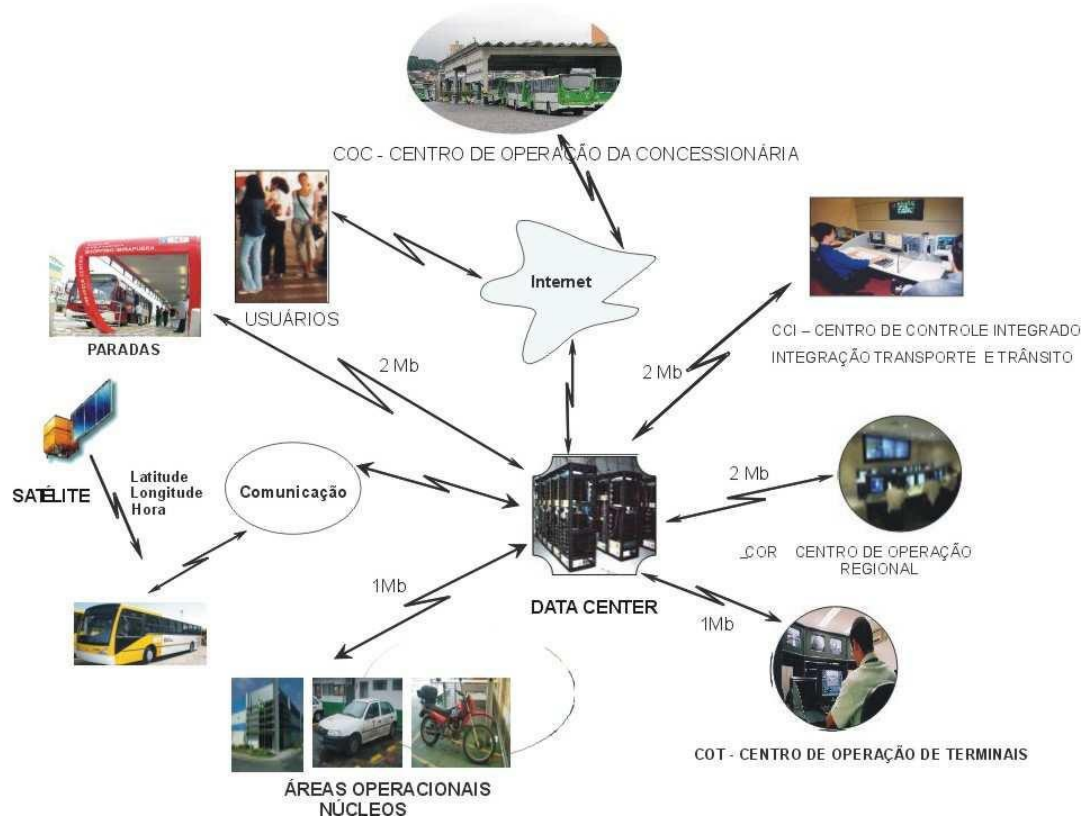
Segundo a *Federal Highway Association* (FHWA), o custo de implantação deste sistema variou de US\$1.000,00 a US\$10.000,00 por veículo, em 2006 (FHWA, 2006, apud APTA, 2010).

Este sistema está diretamente ligado com as ferramentas para os usuários e para o operador e com a qualidade do sistema como um todo: as decisões de viagem tomadas pelos usuários muitas vezes dependem do posicionamento dos veículos (partidas e chegadas dentro do horário previsto); respostas em casos de emergência são realizadas mais rapidamente; baldeação entre veículos pode ser planejada para que se tenha o mínimo de tempo de espera.

Os dados armazenados podem ainda ser utilizados para verificação do cumprimento da programação de partidas ou checagem de velocidades (comparação com os dados de monitoramento da frota). Foi através deste tipo de dado que o autor realizou a pesquisa para seu Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, utilizando os dados de posicionamento dos veículos para calcular suas velocidades médias e fazer a calibração do micromodelo no *software* computacional.

Um esquema do funcionamento deste sistema pode ser visto na Figura A-10 a seguir:

Figura A-10: Sistema de Monitoramento da SPTrans



Fonte: Frederico (2018)

b) Contagem automática de passageiros

Tratam-se de equipamentos embarcados nos ônibus que detectam a entrada e a saída de passageiros. São acionados em cada estação do ônibus, ao se abrir e fechar as portas. Normalmente, um aparelho de contagem utiliza sensores infravermelhos sobre as portas para realizar esta contagem. Esta ferramenta permite aos operadores ter um controle do número de embarques e sobre as tarifas pagas (devem ser proporcionais à quantidade de embarques).

Nunes (2018) realizou uma pesquisa utilizando um sensor desenvolvido por ele mesmo para detectar aparelhos de telefone com Wi-Fi. Este dispositivo fazia a contagem de passageiros embarcados, semelhante aos equipamentos já presentes em alguns veículos.

O sistema realiza uma gravação eletrônica cada vez que é acionado, gerando dados de posicionamento, data, hora e tempo de porta aberta. Isso pode ser útil para o planejamento e remanejamento de veículos da frota.

c) Despacho assistido por computador

É um sistema computacional usado pelos operadores para disponibilizar serviços sob demanda. Um exemplo disso é o caso da rede Atende, na cidade de São Paulo, onde os veículos são enviados para levar pessoas com grandes dificuldades de locomoção para seus destinos (Figura A-11).

Figura A-11: Veículo da rede Atende



Fonte: Autor (2022)

Outra vantagem desta ferramenta é a possibilidade de inserção de veículos no meio do trajeto, seja para substituição de veículos quebrados, seja para aumentar a oferta de transportes, como ocorre nas estações de metrô de São Paulo, por exemplo. Neste caso, trens vazios são despachados para estações com maior concentração de passageiros nas plataformas, de modo a esvaziá-las. Isto afeta inclusive a segurança dos passageiros, evitando que caiam na região dos trilhos.

No caso de estarem indo ao socorro de um veículo quebrado, os veículos vazios não podem ficar presos no tráfego. Isso acarretaria a superlotação de outros ônibus da linha, prejudicando ainda mais o conforto dos usuários.

APÊNDICE B

Anexo B – Tabela B-1: Aplicação do EPICS nos semáforos das interseções, com peso 50 para ônibus, com IBL em todos os pontos de parada

TODOS OS ÔNIBUS		Tempo de viagem	Variação do tempo de viagem
Cenário Base (sem IBL e sem EPICS)		402,8	0,0%
Sem EPICS (Cenário IBL4)		399,2	-0,9%
1 semáforo	Espéria	402,7	0,0%
	Brasil	397,5	-1,3%
	Honduras	401,1	-0,4%
	EUA	409,2	1,6%
	Lorena	403,0	0,0%
	JML	407,8	1,2%
2 semáforos	Espéria + Brasil	386,8	-4,0%
	Espéria + Honduras	405,5	0,7%
	Espéria + EUA	403,5	0,2%
	Espéria + Lorena	403,7	0,2%
	Espéria + JML	409,4	1,6%
	Brasil + Honduras	398,9	-1,0%
	Brasil + EUA	404,0	0,3%
	Brasil + Lorena	398,8	-1,0%
	Brasil + JML	407,8	1,2%
	Honduras + EUA	401,4	-0,3%
	Honduras + Lorena	397,7	-1,3%
	Honduras + JML	409,2	1,6%
	EUA + Lorena	412,4	2,4%
	EUA + JML	416,2	3,3%
Lorena + JML	410,1	1,8%	
3 semáforos	Espéria + Brasil + Honduras	388,3	-3,6%
	Espéria + Brasil + EUA	389,2	-3,4%
	Espéria + Brasil + Lorena	393,8	-2,2%
	Espéria + Brasil + JML	395,7	-1,8%
	Espéria + Honduras + EUA	401,2	-0,4%
	Espéria + Honduras + Lorena	400,9	-0,5%
	Espéria + Honduras + JML	408,4	1,4%
	Espéria + EUA + Lorena	405,1	0,6%
	Espéria + EUA + JML	406,3	0,9%
	Espéria + Lorena + JML	409,0	1,5%
	Brasil + Honduras + EUA	397,3	-1,4%
	Brasil + Honduras + Lorena	397,1	-1,4%
	Brasil + Honduras + JML	407,0	1,0%
	Brasil + EUA + Lorena	407,4	1,1%
	Brasil + EUA + JML	410,9	2,0%
	Brasil + Lorena + JML	405,5	0,7%
	Honduras + EUA + Lorena	405,2	0,6%
	Honduras + EUA + JML	408,3	1,4%
Honduras + Lorena + JML	403,5	0,2%	
EUA + Lorena + JML	418,2	3,8%	

4 semáforos	Espéria + Brasil + Honduras + EUA	392,2	-2,6%
	Espéria + Brasil + Honduras + Lorena	387,8	-3,7%
	Espéria + Brasil + Honduras + JML	396,9	-1,5%
	Espéria + Brasil + EUA + Lorena	396,6	-1,5%
	Espéria + Brasil + EUA + JML	394,9	-2,0%
	Espéria + Brasil + Lorena + JML	397,1	-1,4%
	Espéria + Honduras + EUA + Lorena	406,7	1,0%
	Espéria + Honduras + EUA + JML	406,8	1,0%
	Espéria + Honduras + Lorena + JML	403,2	0,1%
	Espéria + EUA + Lorena + JML	410,1	1,8%
	Brasil + Honduras + EUA + Lorena	402,2	-0,1%
	Brasil + Honduras + EUA + JML	404,7	0,5%
	Brasil + Honduras + Lorena + JML	400,3	-0,6%
	Brasil + EUA + Lorena + JML	414,9	3,0%
Honduras + EUA + Lorena + JML	408,1	1,3%	
5 semáforos	Espéria + Brasil + Honduras + EUA + Lorena	391,2	-2,9%
	Espéria + Brasil + Honduras + EUA + JML	395,7	-1,8%
	Espéria + Brasil + Honduras + Lorena + JML	388,4	-3,6%
	Espéria + Brasil + EUA + Lorena + JML	400,2	-0,6%
	Espéria + Honduras + EUA + Lorena + JML	403,3	0,1%
6 semáforos	Brasil + Honduras + EUA + Lorena + JML	402,9	0,0%
6 semáforos		396,3	-1,6%

Fonte: Autor (2022)

Anexo B – Tabela B-2: Aplicação do EPICS nos semáforos das interseções, com peso 50 para ônibus, IBL em todos os pontos de parada, com a linha 6913-10 em regime de meia viagem

LINHA 6913-10	Tempo de viagem	Variação do tempo de viagem	
Cenário Base (sem IBL, sem MV e sem EPICS)	394,1	0,0%	
Sem EPICS (Cenário IBL4 + MV)	335,3	-14,9%	
1 semáforo	Espéria	336,0	-14,7%
	Brasil	321,2	-18,5%
	Honduras	332,0	-15,8%
	EUA	338,4	-14,1%
	Lorena	336,2	-14,7%
	JML	343,3	-12,9%
	2 semáforos	Espéria + Brasil	326,7
Espéria + Honduras		340,9	-13,5%
Espéria + EUA		335,8	-14,8%
Espéria + Lorena		337,0	-14,5%
Espéria + JML		339,0	-14,0%
Brasil + Honduras		329,0	-16,5%
Brasil + EUA		331,5	-15,9%
Brasil + Lorena		331,8	-15,8%
Brasil + JML		327,6	-16,9%
Honduras + EUA		325,2	-17,5%
Honduras + Lorena		332,3	-15,7%
Honduras + JML		335,1	-15,0%
EUA + Lorena		339,3	-13,9%
EUA + JML		341,1	-13,4%
Lorena + JML		331,2	-16,0%

	Espéria + Brasil + Honduras	332,8	-15,6%	
	Espéria + Brasil + EUA	324,7	-17,6%	
	Espéria + Brasil + Lorena	331,8	-15,8%	
	Espéria + Brasil + JML	333,1	-15,5%	
	Espéria + Honduras + EUA	325,1	-17,5%	
	Espéria + Honduras + Lorena	330,5	-16,1%	
	Espéria + Honduras + JML	335,9	-14,8%	
	Espéria + EUA + Lorena	337,1	-14,5%	
	Espéria + EUA + JML	335,6	-14,8%	
3 semáforos	Espéria + Lorena + JML	331,5	-15,9%	
	Brasil + Honduras + EUA	313,2	-20,5%	
	Brasil + Honduras + Lorena	331,2	-16,0%	
	Brasil + Honduras + JML	337,6	-14,3%	
	Brasil + EUA + Lorena	332,5	-15,6%	
	Brasil + EUA + JML	335,5	-14,9%	
	Brasil + Lorena + JML	323,9	-17,8%	
	Honduras + EUA + Lorena	329,4	-16,4%	
	Honduras + EUA + JML	328,9	-16,5%	
	Honduras + Lorena + JML	331,3	-15,9%	
	EUA + Lorena + JML	339,6	-13,8%	
		Espéria + Brasil + Honduras + EUA	313,3	-20,5%
	Espéria + Brasil + Honduras + Lorena	330,2	-16,2%	
	Espéria + Brasil + Honduras + JML	332,1	-15,7%	
	Espéria + Brasil + EUA + Lorena	332,7	-15,6%	
	Espéria + Brasil + EUA + JML	334,8	-15,0%	
	Espéria + Brasil + Lorena + JML	333,0	-15,5%	
4 semáforos	Espéria + Honduras + EUA + Lorena	330,7	-16,1%	
	Espéria + Honduras + EUA + JML	330,0	-16,3%	
	Espéria + Honduras + Lorena + JML	323,4	-17,9%	
	Espéria + EUA + Lorena + JML	335,1	-15,0%	
	Brasil + Honduras + EUA + Lorena	316,1	-19,8%	
	Brasil + Honduras + EUA + JML	311,8	-20,9%	
	Brasil + Honduras + Lorena + JML	327,8	-16,8%	
	Brasil + EUA + Lorena + JML	325,5	-17,4%	
	Honduras + EUA + Lorena + JML	333,9	-15,3%	
		Espéria + Brasil + Honduras + EUA + Lorena	315,8	-19,9%
		Espéria + Brasil + Honduras + EUA + JML	320,9	-18,6%
		Espéria + Brasil + Honduras + Lorena + JML	316,4	-19,7%
5 semáforos	Espéria + Brasil + EUA + Lorena + JML	330,8	-16,1%	
	Espéria + Honduras + EUA + Lorena + JML	330,5	-16,1%	
	Brasil + Honduras + EUA + Lorena + JML	319,0	-19,1%	
6 semáforos		319,2	-19,0%	

Fonte: Autor (2022)

APÊNDICE C

Anexo C – Tabela C-1: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	48	71%	8%	8%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	52	38%	13%	14%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-2: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	73	88%	37%	19%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	66%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	48	36%	5%	5%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-3: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	56	81%	6%	10%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	69%	1%	5%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	34%	3%	0%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	65	37%	21%	12%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-4: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	58	83%	9%	13%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	73%	3%	11%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	36%	3%	5%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	67	36%	25%	11%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	80	85%	25%	23%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-5: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	52	79%	-3%	8%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	68%	1%	4%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	49	37%	5%	9%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	65	35%	21%	8%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	52	70%	-18%	1%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	50	34%	-27%	-12%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-6: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	78	90%	46%	22%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	47	72%	6%	10%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	50	40%	9%	18%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	64	36%	19%	10%
Rua Estados Unidos	53	74%	40	69%	-24%	-6%
Al. Lorena	64	69%	69	76%	8%	10%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	58	49%	-16%	26%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-7: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	52	72%	17%	10%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	56	40%	22%	17%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	1%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-8: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	58	83%	9%	13%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	62	83%	41%	26%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	59	41%	28%	21%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	1%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-9: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	69	86%	29%	17%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	53	74%	21%	13%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	52	38%	14%	12%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	72	40%	34%	22%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-10: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	62	87%	16%	18%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	52	74%	19%	13%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	54	38%	17%	11%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	64	36%	20%	10%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	50	69%	-21%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-11: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	59	83%	10%	13%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	51	72%	15%	10%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	53	38%	16%	12%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	66	38%	22%	15%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	52	68%	-18%	-2%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	47	33%	-32%	-16%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-12: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	62	84%	17%	14%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	49	71%	11%	8%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	51	38%	11%	11%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	71	39%	33%	20%
Rua Estados Unidos	53	74%	41	68%	-23%	-8%
Al. Lorena	64	69%	44	62%	-30%	-11%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	63	49%	-9%	27%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-13: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	46	68%	5%	3%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	49	36%	6%	7%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-14: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	62	84%	17%	14%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	66%	-2%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	37%	1%	8%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-15: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	61	83%	15%	13%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	40	62%	-10%	-6%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	45	35%	-2%	2%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	81	42%	51%	28%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-16: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	62	81%	16%	10%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	46	71%	4%	8%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	49	36%	6%	5%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	79	43%	47%	31%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	119	93%	87%	35%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-17: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	61	83%	15%	13%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	46	72%	4%	10%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	48	37%	5%	9%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	68	38%	27%	16%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	71	83%	11%	20%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	54	42%	-21%	8%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-18: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4+EPICS100 no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS100			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	57	82%	6%	11%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	68%	0%	3%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	35%	3%	4%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	67	36%	24%	10%
Rua Estados Unidos	53	74%	42	70%	-20%	-5%
Al. Lorena	64	69%	48	69%	-24%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	59	41%	-14%	5%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-19: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	55	74%	3%	1%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	40	65%	-9%	-2%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	45	33%	-3%	-1%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-20: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	54	74%	1%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	66%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	46	34%	0%	0%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	64	35%	18%	7%
Rua Estados Unidos	53	74%	40	67%	-25%	-9%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-21: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	68%	-3%	3%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	46	33%	0%	-2%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	68	37%	27%	12%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	66%	-26%	-11%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-22: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	48	71%	9%	8%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	50	39%	9%	14%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	82	50%	53%	53%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	66%	-27%	-10%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	53	40%	-22%	3%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-23: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	70	87%	31%	18%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	68%	0%	3%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	46	35%	0%	2%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	65	36%	20%	11%
Rua Estados Unidos	53	74%	41	68%	-23%	-8%
Al. Lorena	64	69%	82	84%	29%	22%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-24: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS50 + MV no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL4 + EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	54	81%	2%	10%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	66%	-3%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	36%	3%	7%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	67	36%	25%	10%
Rua Estados Unidos	53	74%	41	69%	-22%	-7%
Al. Lorena	64	69%	88	89%	38%	30%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	49	35%	-28%	-10%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-25: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	55	72%	24%	9%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	57	38%	24%	12%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-26: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	66%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	46	34%	0%	0%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	64	36%	20%	10%
Rua Estados Unidos	53	74%	40	67%	-24%	-9%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-27: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	56	77%	28%	17%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	55	38%	20%	13%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	74	39%	38%	18%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	66%	-26%	-11%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-28: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	52	71%	18%	9%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	55	38%	20%	13%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	73	38%	36%	17%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	66%	-26%	-10%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	57	50%	-17%	28%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-29: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	51	78%	-4%	6%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	53	73%	20%	12%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	54	38%	17%	12%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	69	40%	29%	22%
Rua Estados Unidos	53	74%	42	70%	-20%	-5%
Al. Lorena	64	69%	45	63%	-29%	-9%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-30: Impactos nas vias transversais no cenário EPICS50 + MV no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		EPICS50 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	52	81%	-2%	10%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	67%	1%	2%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	48	37%	5%	9%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	70	39%	30%	19%
Rua Estados Unidos	53	74%	41	68%	-23%	-8%
Al. Lorena	64	69%	45	62%	-30%	-10%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	54	46%	-22%	18%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-31: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 1

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	73%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	69%	1%	5%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	49	36%	7%	7%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	54	33%	0%	0%
Rua Estados Unidos	53	74%	53	74%	0%	0%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-32: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 2

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	44	66%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	46	34%	0%	0%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	65	37%	22%	14%
Rua Estados Unidos	53	74%	41	66%	-23%	-10%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-33: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 3

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	66%	-3%	0%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	48	37%	3%	10%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	71	38%	33%	17%
Rua Estados Unidos	53	74%	40	67%	-24%	-9%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-34: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 4

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	53	74%	0%	0%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	48	73%	10%	12%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	50	37%	10%	10%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	80	44%	50%	33%
Rua Estados Unidos	53	74%	40	68%	-25%	-8%
Al. Lorena	64	69%	64	69%	0%	0%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	52	37%	-24%	-4%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-35: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 5

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	75	88%	40%	20%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	43	68%	-3%	3%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	48	35%	5%	4%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	71	37%	32%	14%
Rua Estados Unidos	53	74%	42	69%	-21%	-6%
Al. Lorena	64	69%	51	71%	-20%	3%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	69	39%	0%	0%

Fonte: Autor (2022)

Anexo C – Tabela C-36: Impactos nas vias transversais no cenário IBL4 + EPICS100 + MV no grupo 6

INTERSEÇÕES	Cenário Base		IBL 4 + EPICS100 + MV			
	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Tempo de permanência médio na via	Atraso relativo médio	Variação do tempo médio de permanência na via	Variação do atraso relativo médio
Rua Espéria	53	73%	65	85%	22%	16%
Av. Brasil (sent. Pinheiros)	44	66%	45	69%	1%	6%
Av. Brasil (sent. Ibirapuera)	46	34%	47	36%	2%	6%
Pça. Guianas/Rua Honduras	54	33%	65	37%	21%	12%
Rua Estados Unidos	53	74%	39	67%	-26%	-10%
Al. Lorena	64	69%	71	83%	12%	21%
Rua José Maria Lisboa	69	39%	49	35%	-28%	-9%

Fonte: Autor (2022)