



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

**Vinícius Gonçalves Ribeiro**

**Camila Cartafina Costa Barbosa**

**Guilherme Iago Rodrigues Diniz**

**Uso de simulação para proposição de melhorias  
em sistemas de transportes**

**São Paulo**

**Dezembro de 2017**

**Vinícius Gonçalves Ribeiro**

**Camila Cartafina Costa Barbosa**

**Guilherme Iago Rodrigues Diniz**

## **Uso de simulação para proposição de melhorias em sistemas de transportes**

**Trabalho de Formatura  
apresentado ao Deptº de  
Engª de Transportes da  
Escola Politécnica da  
Universidade de São  
Paulo como requisito  
para a obtenção do título  
de Bacharel em  
Engenharia Civil.**

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

## Catalogação-na-publicação

Ribeiro, Vinícius

Uso de simulação para proposição de melhorias em sistemas de transportes / V. Ribeiro, C. Barbosa, G. Diniz -- São Paulo, 2017.  
131 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Simulação 2.Sistemas Inteligentes de Transportes 3.VISSIM 4.Ramp Metering 5.Microsimulação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t. III.Barbosa, Camila IV.Diniz, Guilherme

## RESUMO

O crescimento desordenado das cidades e conseqüentemente da demanda de tráfego tem causado impactos no sistema viário, desequilibrando demanda e oferta, resultando, assim, em sistemas viários inseguros, ineficientes e ambientalmente insustentáveis.

Esse trabalho tem como objetivo melhorar a mobilidade urbana da cidade de São Paulo através da análise de um entrelaçamento importante do tráfego. A microrregião estudada é composta por: Avenida Vital Brasil, Avenida Professor Francisco Morato, Ponte Bernardo Goldfarb, Ponte Eusébio Matoso, vias locais e vias de acesso à Marginal do Rio Pinheiros.

Para realização do trabalho foi elaborado um banco de dados com os fluxos de veículos para alguns pares origem/destino. A próxima etapa foi a criação e calibração de um micromodelo capaz de simular os deslocamentos na região de estudo. Através deste e de observações em campo, foi possível elaborar um diagnóstico da situação atual da mobilidade urbana naquela região. O trabalho considerou diferentes modos de transporte e a convivência entre eles.

Em seguida, foram propostas soluções para melhorar os deslocamentos naquela região. Essas soluções estão divididas em dois grandes grupos, que ao final foram mesclados. O primeiro grupo é composto por soluções que envolvem a alteração do projeto das vias que compõem o entrelaçamento. O segundo envolve soluções que se utilizem de ferramentas de *Intelligent Transportation System* (ITS).

Cada uma das alternativas propostas foi simulada, de forma a prever os impactos e os resultados de sua implantação, sendo que, no caso do primeiro grupo, esse processo é iterativo, como será visto adiante. As simulações geraram insumos para a escolha das melhores soluções para o caso estudado, baseado em indicadores elaborados pelo grupo.

Portanto, foram propostas alternativas que maximizam o desempenho do sistema. Antecipando, através das simulações, os impactos positivos e negativos das soluções escolhidas.

Como impactos positivos, quase todas as soluções testadas geraram aumentos no fluxo e na velocidade média, e redução no atraso médio dos veículos da região. Como impacto negativo, para todas as soluções, houve redução no fluxo de veículos que buscam acessar a Av. Eusébio Matoso no sentido Centro pelo acesso da Marginal Pinheiros.

Chegou-se a conclusão, também, que as soluções que geraram os melhores resultados são aquelas que combinaram o uso da tecnologia ITS do Ramp Metering com intervenções estruturais no viário.

**Palavras-Chave:** Simulação; Sistemas Inteligentes de Transportes; VISSIM; Ramp Metering; Microsimulação.

## **ABSTRACT**

The disorderly growth of cities and consequently the increase of traffic demand has caused impacts on the road system, unbalancing the demand and supply of traffic, resulting in unsafe, inefficient and environmentally unsustainable road systems.

This work aims to improve the urban mobility of the city of São Paulo through the analysis of an important intersection of traffic. The micro-region studied is composed of: Vital Brasil Avenue, Professor Francisco Morato Avenue, Bernardo Goldfarb Bridge, Eusébio Matoso Bridge, local roads and access roads to the Pinheiros River Marginal

To carry out the work, a database with the flows of vehicles for some origin / destination pairs was elaborated. Then, solutions were proposed to improve travel in that region. These solutions were divided into two large groups, which in the end were merged. The first group consists of solutions that involve changing the design of the network studied. The second involves solutions using Intelligent Transportation System (ITS) tools.

Each of the proposed alternatives were simulated, in order to predict the impacts and results of its implementation, and in the case of the first group, this process is iterative, as will be seen below. The simulations generated inputs for choosing the best solutions for the case studied, based on indicators developed by the group.

Therefore, it was proposed alternatives that maximize system performance. Anticipating, through the simulations, the positive and negative impacts of the chosen solutions.

As positive impacts, almost all the tested solutions generated improvements on the flow and on the average speed, and reduction on the vehicle average delay of the region. As negative impacts, for all the solutions, there was a reduction of the flow of the vehicles that aimed to access the Eusébio Matoso Bridge towards downtown by the Pinheiros River Marginal access.

In addition, it was concluded that the solutions that generated the best results were those that combined the use of ITS technology with structural interventions in the road.

**Key-Words:** Simulation; Intelligent Transportation System; VISSIM; Ramp Metering; Microsimulation.

## **Agradecimentos**

Ao longo de todo o período da graduação, somos desafiados a todo o momento, seja com trabalhos, com provas ou com conquistas e desafios pessoais. Em especial para os integrantes do nosso grupo, todos tivemos o desafio de deixarmos nossa terra natal, nossos familiares e antigos amigos para nos adaptarmos ao ambiente e à cidade de São Paulo, a fim de realizarmos o sonho de ingressar em uma universidade pública de alta qualidade reconhecida em todo o país.

Para vencermos esses desafios, cada pessoa que participou e contribuiu de alguma forma para a nossa vida foi essencial para chegarmos vitoriosos ao final da graduação. Deste modo, gostaríamos de deixar nossos sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram conosco ao longo desses anos na universidade.

Agradecemos, primeiramente, ao nosso orientador Prof. Dr. Claudio Luiz Marte, que se disponibilizou a nos orientar durante o processo de elaboração deste projeto, apesar das inúmeras obrigações que ele tem como docente e como orientador de outros trabalhos, tanto a nível de graduação quanto de pós-graduação.

Agradecemos de modo especial ao Olímpio Mendes de Barros e ao Luciano Peron, que fizeram parte da banca avaliadora e nos deram orientações fundamentais para a elaboração do nosso projeto. Somos muito gratos, também, à Maria Inês Garcia Lippe e ao Alejandro Antúnez de Mayolo, que, como representantes da PTV no Brasil, nos disponibilizaram as licenças do VISSIM e de suas extensões para a elaboração das simulações do projeto.

Agradecemos à Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) pelo apoio dado à coleta de dados, fornecendo-nos os tempos semaforicos e as filmagens do local estudado.

Agradecemos à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que nos possibilitou todo o aprendizado ao longo da graduação, com grande qualidade e de forma gratuita. Agradecemos a todos os demais docentes que

contribuíram à construção do conhecimento obtido durante todos esses anos, dedicando tempo e paciência para a sólida formação de engenheiros civis.

Agradecemos a nossos pais, demais familiares e amigos que foram (e continuam sendo) peças fundamentais para o nosso desenvolvimento como graduandos, como profissionais, como seres humanos e como cidadãos, sempre acreditando e apoiando a nossa formação, tanto em momentos bons quanto naqueles de dificuldades.

Por fim, agradecemos a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente à nossa formação, pois cada experiência vivida, cada desafio superado e cada etapa cumprida foi essencial para a nossa formação.

### **Particulares**

Gostaria de agradecer especialmente aos meus pais, Alessandra e Mario, pois não teria chegado até aqui sem o apoio e carinho deles. Desde o momento em que decidi sair de casa para estudar a quase mil quilômetros de minha cidade natal eles estavam ao meu lado, me incentivando a correr atrás dos meus sonhos. Foram muitas dificuldades e momentos ruins, mas o amor e os conselhos deles nunca falharam. E hoje, alcanço esse sonho de ser engenheira, e não poderia desejar melhor companhia para compartilhar o momento. Muito obrigada por tudo mamãe e papai!

Camila Cartafina Costa Barbosa

Reforço meus agradecimentos ao Prof Dr. Claudio Luiz Marte pela oportunidade que me deu desde o início do Programa Unificado de Bolsas da USP – 2016/2017, pois todo o aprendizado obtido durante o programa, todas as pessoas que pude conhecer e com elas aprender, e todos os colegas com os quais pude trabalhar foram fundamentais para a obtenção da base de conhecimento necessária à elaboração deste projeto. Agradeço também aos meus pais, Ondina e José Antonio, que foram (e são) meus principais pilares ao longo da minha graduação e da minha vida.

Vinícius Gonçalves Ribeiro

## Sumário

1.	Introdução.....	18
1.1	Contextualização .....	18
1.2	Importância.....	19
1.3	Objetivos .....	20
1.4	Método .....	21
1.5	Estrutura.....	22
2.	Desenvolvimento .....	23
2.1	Modelos e Simulações .....	23
2.1.1	Uso de Modelos e Simulações .....	23
2.1.2	Micromodelos de simulação .....	23
2.1.3	Software utilizado.....	24
2.2	Modelagem computacional do software VISSIM .....	24
2.2.1	Modelo de <i>car-following</i> de Wiedemann .....	25
2.2.2	Modelo de <i>car-following</i> utilizado pelo VISSIM .....	29
2.2.3	Modelo de <i>lane-changing</i> utilizado pelo VISSIM.....	33
2.3	Modelagem aplicada pelas ferramentas do VISSIM.....	35
2.3.1	Módulo Vissig: Uso de Semáforos .....	35
2.3.2	PTV Epics: Priorização Semaforica .....	36
2.3.3	PTV Balance: Otimização de Redes Semaforizadas .....	39
2.4	Calibração do modelo: Aspectos Teóricos .....	41
2.5	AutoCAD .....	45
3.	Parte Prática .....	47
3.1	Trechos escolhidos .....	47
3.2	Compilação do Volume de Tráfego .....	48
3.3	Coleta de dados .....	52

3.4	Método de Calibração .....	62
3.4.1	Ajustes nos dados de contagem .....	62
3.4.2	Dados de <i>Input</i> e <i>Output</i> .....	64
3.4.3	Mudanças comportamentais nos veículos .....	65
3.4.4	Passagem de motocicletas por entre os carros .....	68
3.4.5	Prioridade de fluxo .....	70
3.5	Resultados da Calibração .....	71
3.6	Diagnóstico da situação atual.....	74
3.7	Alternativas propostas .....	76
3.7.1	Propostas com alteração da rede viária.....	76
3.7.2	Propostas com ferramentas ITS .....	85
4.	Soluções Simuladas .....	87
4.1	Soluções ITS .....	88
4.1.1	Solução 1A – Epics & Balance .....	88
4.1.2	Solução 1B – Ramp Metering .....	93
4.2	Soluções Estruturais.....	98
4.2.1	Solução 2A – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros .....	98
4.2.2	Solução 2B – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres.....	101
4.3	Soluções Mistas .....	104
4.3.1	Solução 3A – Ramp Metering + Passarela de Pedestres ..	105
4.3.2	Solução 3B – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Ramp Metering .....	108
4.3.3	Solução 3C – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres + Ramp Metering .....	111
5.	Resultados.....	114
6.	Considerações Finais .....	120
6.1	Dificuldades encontradas .....	120

6.2 Conclusão .....	121
Referências .....	122

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Av. Prof. Francisco Morato, entre Av. Lineu de Paula Machado e R. Carlos Ferreira. ....	50
Tabela 2 - Av. Eusébio Matoso, entre R. Cardeal Arcoverde e Av. das Nações Unidas. ....	50
Tabela 3 - Fluxo de veículos por hora no sentido centro. ....	58
Tabela 4 - Fluxo de veículos por hora no sentido bairro. ....	59
Tabela 5 - Veículos por hora contados em campo. ....	60
Tabela 7 – Tempos de verde, amarelo (para veículos) ou piscante (para pedestres) e vermelho de cada grupo, bem como os estágios associados. ...	61
Tabela 6 – Grupos de Movimento identificados no entrelaçamento. ....	61
Tabela 8 - Coeficientes de majoração dos fluxos registrados em função dos cortes das câmeras de filmagens utilizadas nas contagens. ....	63
Tabela 9 - Valores de fluxo buscados durante o processo de calibração da rede. ....	63
Tabela 10 - Fluxos de veículos no modelo após etapa de calibração. .	71
Tabela 11 - Comparação entre os fluxos obtidos após a calibração e os fluxos desejados. ....	72
Tabela 12 - Situação atual da região, em termos de velocidade média e atraso médio dos veículos. ....	74
Tabela 13 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Epics e Balance. ....	91
Tabela 14 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Epics e Balance. . ....	92
Tabela 15 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Ramp Metering. ....	96
Tabela 16 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Ramp Metering. ....	97
Tabela 17 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros. . ....	99
Tabela 18 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o a modificação no acesso à Marginal Pinheiros. ....	100

Tabela 19 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. .... 102

Tabela 20 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. . .... 103

Tabela 21 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Ramp Metering em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. . .... 106

Tabela 22 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Ramp Metering em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. . .... 107

Tabela 23 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering. . .... 109

Tabela 24 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering. . .... 110

Tabela 25 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering e a implantação da Passarela de Pedestres. . .... 112

Tabela 26 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering e a implantação da Passarela de Pedestres. . 113

Tabela 27 - Resumo das medidas implantadas: códigos e tipos adotados. .... 114

Tabela 28 - Resumo das informações de fluxo após a simulação de todas as soluções. .... 115

Tabela 29 - Resumo das informações de variação de fluxo após a simulação de todas as soluções. .... 115

Tabela 30 - Resumo das velocidades médias após a simulação de todas as soluções. . .... 116

Tabela 31 - Resumo comparativo da variação das velocidades médias em relação ao cenário atual após a simulação de todas as soluções. .... 116

Tabela 32 - Resumo dos atrasos médios após a simulação de todas as soluções. ....	116
Tabela 33 - Resumo comparativo da variação dos atrasos médios em relação ao cenário atual após a simulação de todas as soluções. ....	117
Tabela 34 - Quantidade de veículos por movimento. ....	126
Tabela 35 - Quantidade de veículos por movimento. ....	126
Tabela 36 - Quantidade de veículos por movimento. ....	127
Tabela 37 - Quantidade de veículos por movimento. ....	127
Tabela 38 - Quantidade de veículos por movimento. ....	128
Tabela 39 - Quantidade de veículos por movimento. ....	128
Tabela 40 - Quantidade de veículos por movimento. ....	129
Tabela 41 - Quantidade de veículos por movimento. ....	129
Tabela 42 - Quantidade de veículos por movimento. ....	130
Tabela 43 - Quantidade de veículos por movimento. ....	130
Tabela 44 - Frequência horária de ônibus. ....	131

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Fluxo na Av. Prof. Francisco Morato, entre Av. Lineu de Paula Machado e R. Carlos Ferreira .....	51
Gráfico 2 - Fluxo na Av. Eusébio Matoso, entre R. Cardeal Arcoverde e Av. das Nações Unidas .....	51
Gráfico 3 - Fluxo de veículos por hora no entrelaçamento. ....	59

## Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução das viagens diárias por modo.....	18
Figura 2 - Gráfico da representação da modelagem de Wiedemann (1974) .....	25
Figura 3 - Gráfico da comparação entre os modelos W74 e W99 quanto ao comportamento da distância mínima de following.....	30
Figura 4 - Layout do Vissig. As medidas de tempo ilustradas estão em segundos.....	36
Figura 5 - Entrelaçamento estudado.....	47
Figura 6 - Detalhamento da Rota 01.....	48
Figura 7 - Detalhamento da Rota 17.....	49
Figura 8 - Localização da câmera. ....	52
Figura 9 – Final Av. Francisco Morato (à direita) e início da Av. Eusébio Matoso (à esquerda) . ....	53
Figura 10 - Av. Francisco Morato e Av. Vital Brasil (à direita). ....	53
Figura 11 - Pte. Bernardo Goldfarb e Pte. Eusébio Matoso (à direita) ..	54
Figura 12 - Av. Vital Brasil. ....	54
Figura 13 - Movimentos do entrelaçamento. ....	56
Figura 14 - Movimentos do entrelaçamento. ....	57
Figura 15 - Movimentos do entrelaçamento. ....	57
Figura 16 - Movimentos do entrelaçamento. ....	58
Figura 17 - Alteração na configuração do comportamento dos motoristas diante da fase amarela e do vermelho de segurança. ....	66
Figura 18 - Principais configurações relativas ao comportamento dos veículos na área de conflito entre a R. Bento Frias e a Av. Eusébio Matoso. .	67
Figura 19 – Tabela de configurações para alteração comportamental dos motociclistas no VISSIM. ....	69
Figura 20 - Prioridades de fluxo definidas para calibração do modelo. .	71
Figura 21 - Modificação nos Acessos.....	76
Figura 22 - Detalhe de Posto ao lado da Marginal Pinheiros. ....	77
Figura 23 - Detalhe Poste e Placa de informação .....	78
Figura 24 - Mudanças no acesso à Marginal.....	78

Figura 25 - Novo acesso: Marginal Pinheiros -> Eusébio e Francisco Morato/Vital Brasil -> Marginal Pinheiros. ....	79
Figura 26 - Detalhe de ponto de táxi e calçada a ser modificada. ....	80
Figura 27 - Detalhe do acesso para passarela com escada e elevador. . .....	82
Figura 28 - Vista em Planta da Passarela. ....	83
Figura 29 - Postes a serem reposicionados, possível remoção de arbustos.....	83
Figura 30 - Outro acesso à passarela, em frente à Odebrecht.....	84
Figura 31 - Dois casos, (a) sem e (b) com a tecnologia de ramp metering. ....	85
Figura 32 – Ilustração dos sentidos considerados na análise. ....	88
Figura 33 - Situação da região durante o uso do Epics e Balance. Destaque para a região da elipse amarela, local onde se concentra o principal gargalo da região. . ....	93
Figura 34 - Sistema de Ramp Metering bloqueado a passagem dos veículos da R. Bento Frias enquanto as condições de brecha mínima não são satisfeitas. . ....	94
Figura 35 - Sistema de Ramp Metering liberando a passagem dos veículos da R. Bento Frias enquanto as condições de brecha mínima são satisfeitas. . ....	94
Figura 36 - Sistema de Ramp Metering liberando a passagem dos veículos da R. Bento Frias. Neste caso, não é necessário verificar as condições de brecha mínima, pois o semáforo da Av. Eusébio Matoso encontra-se fechado para veículos. . ....	95

# 1. Introdução

## 1.1 Contextualização

As cidades brasileiras crescem de forma desordenada, resultando, muitas vezes, no fenômeno de *sprawling* urbano, ou seja, crescimento da cidade de forma esparramada. Esse fenômeno aumenta as distâncias e, consequentemente, obriga as pessoas a realizarem cada vez mais viagens em seu dia a dia. De acordo com a Pesquisa de Mobilidade elaborada pelo metrô de São Paulo, em 2012, foram realizadas diariamente 43,7 milhões de viagens na RMSP, volume com valor 15% maior que o levantado em 2007, para um aumento de 2% na população durante o mesmo período.

A Figura 1 representa o crescimento do número de viagens diárias, realizadas na RMSP de 1977 a 1987, divididas em quatro modos principais: bicicleta, a pé, individual e coletivo. É possível verificar que a distribuição das viagens motorizadas entre os modos coletivo e individual passou de 55% e 45% respectivamente, em 2007, para 54% e 46% em 2012.

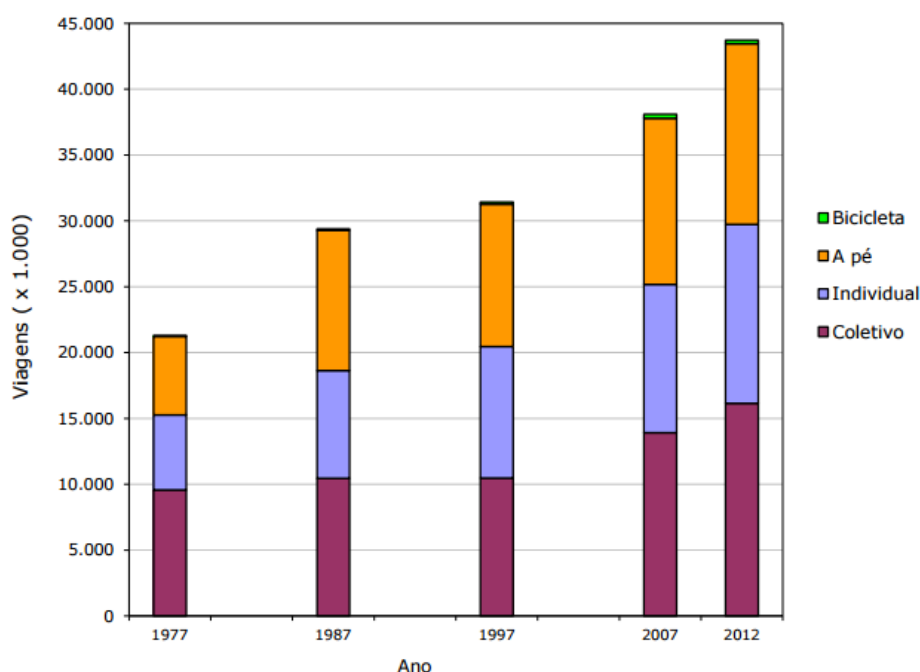


Figura 1 - Evolução das viagens diárias por modo. Fonte: Pesquisa de Mobilidade, 2012.

O crescimento da demanda de tráfego não é acompanhado pela oferta viária, causando impactos no sistema viário. Tais impactos podem ser

relacionados à dificuldade de circulação, aos prejuízos na acessibilidade e mobilidade, aos congestionamentos, à queda dos níveis de desempenho e de serviço dos sistemas de transporte, à diminuição da segurança tanto de veículos quanto de pedestres e da qualidade de vida da comunidade que reside na redondeza dos sistemas viários. (Tolfo, 2006)

A associação da falta de planejamento com o crescimento dos diversos meios de transporte urbano resulta em um inevitável aumento do conflito entre os modos. Um caso que será analisado na intersecção estudada é o conflito que ocorre na transição de vias destinadas ao transporte individual com os corredores de ônibus, localizados na faixa da esquerda ou para vias com faixa exclusiva de ônibus, localizadas na faixa da direita. Ao realizar a troca de faixas, o ônibus precisa cruzar todo o fluxo de veículos, geralmente em um espaço reduzido.

Outro conflito que deve ser analisado é entre os motociclistas e os outros veículos. Os primeiros apresentam um comportamento diferenciado na cidade de São Paulo, transitando em altas velocidades em “corredores” formados entre as faixas de circulação. Esse fluxo de motociclista entra em conflito com veículos que desejam mudar de faixa. A situação agrava-se quando os motoristas não estão familiarizados com o trânsito na capital.

## **1.2 Importância**

Em meio ao cenário caótico apresentado, é de extrema importância que o sistema de transporte seja planejado. Afinal, alterações nesse - em geral - requerem altos investimentos, demandando resultados concretos. Além disso, as medidas propostas impactam no dia a dia da população, portanto precisam ser pensadas com cuidado.

Dessa forma, como será visto adiante, decidiu-se trabalhar com um modelo de microsimulação, visando prever, da forma mais precisa possível, os impactos de alternativas futuras, a serem propostas. Escolheu-se uma intersecção com alto fluxo diário de veículos, visando uma análise abrangente de possíveis problemas.

Portanto, foram estudadas soluções para problemas recorrentes no tráfego da cidade de São Paulo, envolvendo a melhora na fluidez, segurança, acessibilidade e qualidade ambiental. Sendo assim, as alternativas propostas para esse entrelaçamento poderão ser analisadas e implantadas em outras regiões críticas da cidade.

### 1.3 Objetivos

O **objetivo principal** desse trabalho é propor soluções em transporte com o uso de alterações na configuração do sistema viário e no projeto de vias e/ou com a utilização de ferramentas de ITS. Essas soluções propostas foram avaliadas com o uso de softwares de projeto de construção e de construtores de micromodelos (microsimulação). Dessa forma, o estudo foi dividido em três etapas principais.

Primeiramente (**objetivo específico 1**), propõe-se diagnosticar a situação atual da mobilidade urbana numa microrregião. Visa-se desenvolver um estudo de caso em um entrelaçamento com grade fluxo diário de veículos na cidade de São Paulo. Para tal, serão considerados: o transporte coletivo, o transporte privado, os pedestres e a convivência entre eles.

A segunda etapa (**objetivo específico 2**), consiste no estudo e elaboração de cenários alternativos, com possíveis intervenções a serem realizadas no entrelaçamento estudado. Essas intervenções poderão ser alcançadas com mudanças no sistema viário.

Finalmente (**objetivo específico 3**), pretende-se estudar a utilização de ferramentas de *Intelligent Transportation System* (ITS), em especial a priorização semaforica e outras alternativas em ITS, visando a seleção da que propicie melhor fluidez ao entrelaçamento. Para mensurar a melhora operacional do trecho foram propostos e avaliados indicadores que quantificam o aumento da velocidade, a redução no atraso médio e o fluxo de veículos.

## 1.4 Método

Inicialmente, foi necessário entender detalhadamente a situação atual da mobilidade urbana na microrregião estudada. Para tal, foi realizado um diagnóstico, partindo de observações em campo e por vídeo, visando levantar os principais problemas da região, considerando-se o transporte coletivo, o transporte privado, os ciclistas, os pedestres e a convivência entre eles.

Em seguida, foram propostas alternativas visando resolver os problemas levantados nesse diagnóstico. Essas alternativas estão divididas em dois grupos principais: aquelas que envolvem o reprojeto de vias, e aquelas que envolvem a aplicação de ferramentas de ITS. Ao final, foram propostas soluções que mesclam esses dois grandes grupos.

Para a proposição e análise de alternativas envolvendo a alteração no projeto das vias do entrelaçamento em estudo, foi realizado um processo iterativo. Inicialmente foi proposta uma nova configuração para a região, baseada nos problemas levantados no diagnóstico. Essas alterações foram projetadas no software de projeto de vias AutoCAD Civil 3D. Em seguida, baseado no novo projeto das vias, foram realizadas as alterações necessárias no micromodelo estudado e novas simulações foram rodadas. A partir dos *outputs* gerados foi possível avaliar a efetividade das alterações propostas e, quando necessário, recomeçar o processo, até a proposição de uma solução que atingiu as expectativas.

Para a proposição de alternativas envolvendo a utilização de ferramentas ITS, inicialmente foram pesquisadas tecnologias utilizadas globalmente. Diante dessa base inicial de opções, foram estudadas as que melhor se adequassem à microrregião do projeto, com enfoque especial para a priorização semafórica. Após a simulação das alternativas mais apropriadas, foi realizada uma avaliação e priorização das soluções, considerando indicadores que quantificam o aumento da velocidade, a redução no atraso médio dos veículos e o fluxo nos sentidos que apresentassem maiores problemas de fluidez.

## 1.5 Estrutura

Capítulo 1 - Introdução: caracterizou o contexto em que se insere este trabalho e a motivação do grupo para realizá-lo. Além disso, determinou os objetivos a serem alcançados e os benefícios que serão gerados para a sociedade.

Capítulo 2 - Desenvolvimento: Justifica a utilização de modelos e microssimulação para o desenvolvimento do projeto. Além disso, realiza-se um estudo detalhado da modelagem computacional utilizada pelo software escolhido e por suas ferramentas. Em seguida, o capítulo explica como é realizado o processo de calibração do modelo. Por último, há uma exposição de como o software AutoCAD Civil 3D, da Autodesk, foi utilizado em auxílio com o VISSIM, da PTV, para proposição de soluções que alterem os projetos iniciais das vias estudadas.

O Capítulo 3 - Parte Prática: Caracteriza os trechos escolhidos para a realização do trabalho e descreve as motivações do grupo para trabalhar com tais regiões. Em seguida, explica o processo de coleta de dados e a análise da região desenvolvida a partir das informações colhidas. Apresenta, também, alguns passos importantes seguidos durante a etapa de calibração. Por último, apresenta detalhadamente as soluções propostas para a resolução dos problemas levantados em diagnóstico.

O Capítulo 4 - Soluções Simuladas: Revela os indicadores obtidos após as simulações das soluções e analisa solução por solução, avaliando tanto pontos negativos quanto positivos.

O Capítulo 5 - Resultados: Resume comparativamente as melhores soluções obtidas e revela as melhores opções de escolha.

Considerações Finais: Expõe as dificuldades encontradas durante o andamento do projeto e aponta as conclusões finais.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1 Modelos e Simulações**

#### **2.1.1 Uso de Modelos e Simulações**

O planejamento e a análise de sistemas de transporte envolvem diversos fatores, como questões de caráter socioeconômico, urbanístico, territorial e institucional. Portanto, a complexidade desses problemas requer a elaboração de modelos que representem a realidade de forma simplificada. Para ser útil, o modelo deve representar bem a realidade e ao mesmo tempo ser simples, de forma a facilitar o seu entendimento e manipulação (Poyares, 2000).

Através de simulações utiliza-se o modelo para prever o desempenho de um sistema de transporte em certas condições, permitindo a proposição de alternativas para sua otimização. Assim, a simulação permite escolher as combinações de fatores que maximizam o desempenho de determinado sistema de transporte. Ela facilita a geração e teste de diferentes alternativas destinadas a melhorar o desempenho da malha viária (Tolfo e Portugal, 2006).

Sendo assim, o processo de tomada de decisões é facilitado com a utilização de modelos de simulação. Afinal, permite-se a análise de vários cenários, antecipando-se os impactos positivos e negativos de uma determinada alternativa (Poyares, 2000).

#### **2.1.2 Micromodelos de simulação**

Os modelos de simulação de tráfego podem ser classificados em três tipos: microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos (Gomes, 2004). Um modelo macroscópico considera o fluxo de tráfego como um fluido, desprezando-se a individualidade dos veículos e usuários (Portugal, 2005). O mesoscópico, por sua vez, agrupa os veículos em pelotões (Franco e Silva, 2016).

Um micromodelo de simulação permite um alto grau de detalhamento, pois trata cada veículo e usuário de forma individual. Esses modelos são considerados precisos, pois permitem tratar de forma mais detalhada e realista a interação entre fluxos de redes congestionadas, garantindo maior fidelidade à realidade (Tolfo e Portugal, 2006).

Como o foco desse trabalho é a avaliação de um entrelaçamento, ou seja, uma área reduzida, foi utilizado um modelo de simulação microscópico. Dessa forma, foi possível considerar cada veículo individualmente, dando um maior grau de detalhamento, aproximando-se da realidade, mas utilizando-se de ferramentas de fácil interface. Além disso, como os modelos de otimização utilizados levam em conta a interação veículo a veículo, fez-se ainda mais necessário o uso de um simulador com modelagem microscópica.

### **2.1.3 Software utilizado**

Foi escolhido para o desenvolvimento do trabalho o software de microsimulação VISSIM 9 da empresa PTV. Esse programa permite simular cenários reais, compostos de vias, cruzamentos, corredores de ônibus, faixas de pedestre, a partir de múltiplos parâmetros, como comportamento dos motoristas, volume de automóveis, tempo de reação, dentre outros.

Ao final, o programa fornece resultados sobre tempos de viagem e atrasos. Além disso, através de ferramentas de extensão, permite a modelagem de intersecções e ultrapassagens com priorização e otimização semafórica.

## **2.2 Modelagem computacional do software VISSIM**

O comportamento dos motoristas, utilizado no VISSIM, é baseado em dois algoritmos distintos: *car-following* e *lane-changing*. O primeiro destes é responsável pela modelagem do comportamento de um veículo quanto às interações longitudinais ao longo da via, estabelecendo parâmetros e limites referentes a sua aceleração, desaceleração, percepção dos demais veículos adiante e atitudes a serem tomadas durante a condução, impactando, com isso, na densidade e na velocidade média encontradas no tráfego. Já o

segundo diz respeito à modelagem das condições de troca de faixa e ultrapassagem dos veículos. Aquele considerado mais complexo, no entanto, é o modelo *car-following*, pois impacta diretamente sobre a capacidade e sobre o nível de serviço simulado na rede viária do software.

### 2.2.1 Modelo de *car-following* de Wiedemann

O modelo de *car-following* existente no VISSIM é baseado no modelo proposto por Wiedemann (1974), o qual busca uma modelagem do tipo psicofísica, em que o motorista seguidor responde aos estímulos do veículo líder com base na aparência da variação de suas dimensões. Esse modelo pode ser melhor compreendido a partir da Figura 2. O eixo das abscissas representa a diferença de velocidade  $\Delta V$  entre os veículos seguidor e líder, enquanto o das coordenadas representa a distância  $\Delta X$  que os separa.

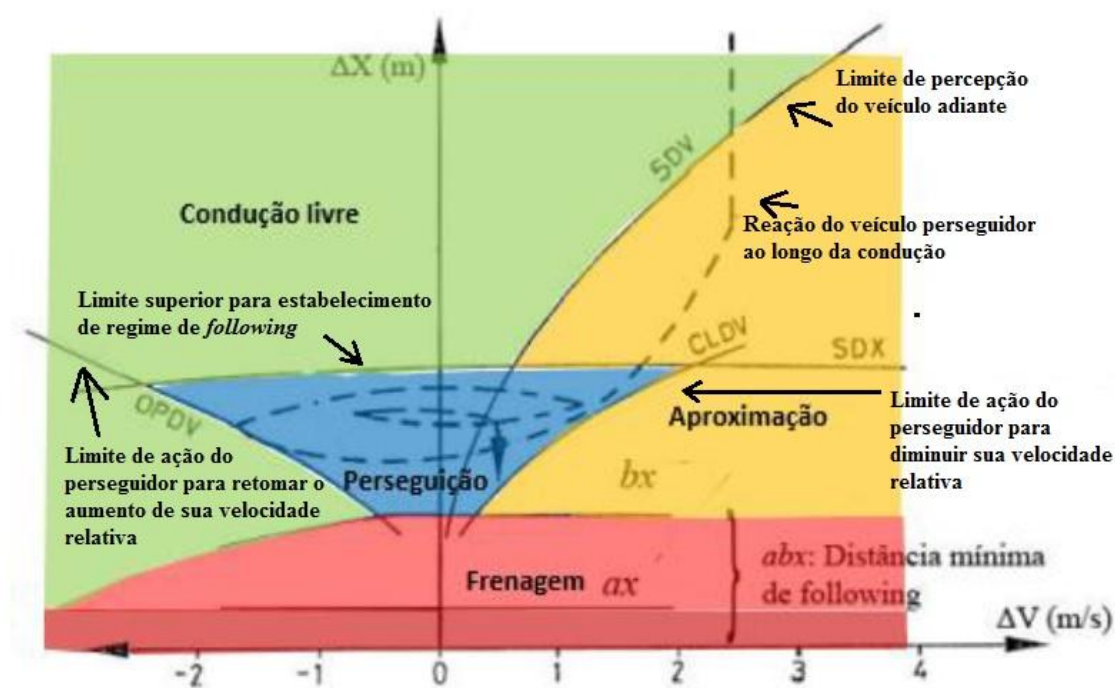


Figura 2 - Gráfico da representação da modelagem de Wiedemann (1974) - Fonte: Adaptada de Neto et al, 2016.

Segundo Bethonico (2016), as curvas SDX, SDV, OPDV e CLDV podem ser definidas conforme mostrado a seguir:

SDX (*maximum following distance*): Máxima distância desejada entre o veículo líder e o seguidor. É o limite de distância máxima para entrada ou saída do modelo de *car-following*, e é calculada em função dos parâmetros CC0, CC1 e CC2, que serão definidos mais adiante neste trabalho, no Modelo de Wiedemann (1999).

SDV (*seletive vechicle detection*): Limiar em que o motorista reconhece que está se aproximando de um veículo mais lento. É a posição em que o condutor passa a perceber que há um veículo mais lento à frente. Esse limiar é variável de acordo com a diferença entre as velocidades dos veículos. Esse limite ocorre quando não se estabeleceu totalmente o regime de *following*.

OPDV (*opening difference in velocity*): Limiar para a diferença de velocidade durante um afastamento na condição de *car-following*. É o instante em que o condutor do veículo seguidor percebe que se afastou muito do veículo líder, e passa a acelerar novamente. Esse limiar varia segundo a diferença de velocidade entre os veículos seguidor e líder.

CLDV (*closing difference in velocity*): Limiar para a diferença de velocidade durante uma aproximação na condição de *car-following*. É o instante em que o condutor do veículo seguidor percebe que se aproximou muito do veículo líder, e passa a desacelerar novamente. Esta condição ocorre quando já está estabelecido o regime de *following*.

Conforme exposto por Neto et al (2016), no gráfico da Figura 2, é demonstrada a trajetória pontilhada de um veículo que se aproxima de outro com diferença de velocidade  $\Delta V$ , em um estado de comportamento de “condução livre”, mantendo a velocidade que desejar. Atingindo o limiar SDV, o condutor passa a perceber o veículo adiante, iniciando uma manobra de desaceleração moderada, correspondente ao estado comportamental de “aproximação”. A diferença entre as velocidades continua a diminuir, mantendo-se, no entanto, positiva, até o limiar CLDV ser atingido, no qual há redução de velocidade com desaceleração mais acentuada. Tem-se, então, o início do estado comportamental de “perseguição”, no qual o veículo desacelera quando próximo ao CLDV e acelera quando próximo ao OPDV. Contudo, caso o veículo não respeite esses limiares e atinja uma zona em que

$\Delta X$  possui módulo inferior a  $b_x$ , o veículo passará a um estado de “frenagem”. Este estado pode ocorrer, por exemplo, em caso de necessidade de mudança brusca de velocidade, como uma frenagem brusca provocada pelo fechamento de um semáforo.

Para esclarecer o comportamento do gráfico, Lacerda & Neto (2014) ainda fornecem um exemplo mais aplicado: Considere que um veículo seguidor esteja se aproximando de um veículo líder. Considere o veículo líder trafegando com velocidade constante ( $v_{líder}$ ). O veículo seguidor se aproxima com velocidade aproximadamente constante ( $v_{seguidor}$ ), o que significa dizer que o  $\Delta X$  vai diminuindo e o  $\Delta V$  permanece aproximadamente constante. Ao cruzar o limite de percepção do veículo adiante SDV, o veículo seguidor começa a reduzir sua velocidade levemente, mas  $\Delta X$  continua diminuindo, porém, de forma mais branda. Desta forma, pode-se inferir que o SDV é um limite para início da ação de desaceleração, enquanto o veículo ainda não entrou em regime de *following* (ou seja, enquanto a trajetória da linha pontilhada da Figura 2 não cruzou o limite SDX). O veículo seguidor continua diminuindo sua velocidade até que  $v_{seguidor}$  se torne menor que  $v_{líder}$ . Neste ponto, a distância entre ambos os veículos começa a crescer. Ao perceber que o espaçamento para o veículo da frente começa a aumentar, o veículo seguidor retorna a acelerar no ponto OPDV, onde o  $\Delta V$  começa a crescer, embora o  $\Delta X$  ainda aumente, pois  $v_{seguidor}$  ainda é menor que  $v_{líder}$ . Quando  $v_{seguidor}$  passa a ser maior do que  $v_{líder}$ , ou seja, quando  $\Delta V$  se torna positivo novamente,  $\Delta X$  recomeça a diminuir, e o motorista continua a acelerar até chegar próximo do ponto CLDV, em que reduz sua aceleração. A partir daí, o veículo seguidor se aproxima com menor intensidade do líder, pois o  $\Delta V$  ainda é positivo e, com isso, o  $\Delta X$  continua diminuindo. Em seguida, quando  $v_{líder}$  se torna maior que  $v_{seguidor}$ , ( $\Delta V$  negativo) o espaçamento entre os veículos volta a aumentar, até que o ponto de ação OPDV seja atingido novamente. O ciclo, então, é repetido enquanto o perseguidor permanecer na região de *following*, conforme ilustrado na Figura 2.

O *headway*, ou o espaçamento entre a traseira do veículo da frente e a frente do veículo de trás, no estado de *following* varia entre o limite inferior  $b_x$  e o limite superior SDX.

O parâmetro  $ax$  significa o menor *headway*, que ocorre entre os veículos, ou seja, quando estão parados, sendo definido por:

$$ax = L + ax_{add} + rndl(I) \cdot ax_{mult} \quad (1)$$

Em que:

$ax$ : distância entre os veículos quando parados em fila [m];

$L$ : comprimento do veículo [m];

$ax_{add}$ : fator aditivo de  $ax$  [m];

$ax_{mult}$ : fator multiplicativo de  $ax$  [m];

$rndl(I)$ : variável aleatória  $N(0,5;0,15)$ , truncada entre 0 e 1.

O parâmetro  $bx$ , também chamado de distância de segurança, é a distância adicional deixada pelo veículo seguidor pelo fato de estar em movimento, já que os *headways* aumentam com o aumento da velocidade. O  $bx$  é dado pela seguinte equação:

$$bx = (bx_{add} + rndl(I) \cdot bx_{mult}) \cdot \sqrt{v} \quad (2)$$

Em que:

$bx$ : distância de segurança [m];

$bx_{add}$ : fator aditivo de  $bx$ ;

$bx_{mult}$ : fator multiplicativo de  $bx$ ;

$v$ : velocidade do líder, enquanto houver aproximação dos veículos, ou velocidade do seguidor, enquanto houver distanciamento [m/s].

A partir dessas equações, pode-se concluir que o modelo de Wiedemann considera que o *headway* mínimo no regime de *following* é proporcional à raiz quadrada da velocidade. Deste modo, Wiedemann justifica que, para grandes velocidades, os motoristas tendem a sobre-estimar a distância de segurança. Além disso, valores elevados de  $ax$  e  $bx$  indicam maiores distâncias mínimas de *following*, o que implica em menor capacidade viária. Esses parâmetros podem variar de acordo com as características do tráfego da localidade analisada a partir deste modelo.

## 2.2.2 Modelo de *car-following* utilizado pelo VISSIM

Existem dois modelos que o software utiliza: o Wiedemann-74 (W74) e o Wiedemann-99 (W99). Ambos os modelos são baseados no trabalho de Wiedemann (1974). O fabricante recomenda que o primeiro seja utilizado em modelagens de tráfego urbano, enquanto que o segundo, em modelagens de tráfego rodoviário, sem apresentar, no entanto, justificativas para tais usos.

### 2.2.2.1 Wiedemann-74

O modelo W74 adota o uso do parâmetro  $ax$ , possuindo o mesmo significado do modelo de Wiedemann. “Seu valor *default* é de 2,0m, variando segundo uma distribuição normal com desvio padrão 0,3m, com valores truncados entre 1,0m e 3,0m” (Lacerda & Neto, 2014, p. 4). A cada nova simulação, cada veículo possui um  $ax$  inicial diferente e, até o final da mesma, seu valor é constante. Vale salientar que o valor do parâmetro  $ax_{mult}$ , que é parte integrante do parâmetro  $ax$ , segundo Lacerda & Neto (2014), é inalterável pelo usuário no modelo W74, possuindo valor constante igual a 1,0m.

O significado de  $bx$  também é idêntico ao do Wiedemann (1974), possuindo valor *default* de  $bx_{add}$  igual a 2,0 e de  $bx_{mult}$  igual a 3,0. Com isso, a distância mínima de *following* ( $d$ ) no software é dada pela soma  $ax + bx$ . Sendo  $abx$  o *headway* dos veículos no trabalho de Wiedemann e  $L$  o comprimento médio dos veículos, tem-se que  $L + abx = d$ .

Outro aspecto importante do W74 é que os parâmetros das curvas SDV, SDX, CLDV e OPDV são predefinidos e inalteráveis pelo usuário. Deste modo, caso seja necessário alterá-los para adequar as simulações às características do tráfego real, o modelo mais indicado é o W99.

### 2.2.2.2 Wiedemann-99

O W99 permite alterações nos parâmetros relativos às curvas SDV, SDX, CLDV e OPDV, que impactam diretamente no comportamento do veículo em regime de *following*. Além disso, enquanto a distância mínima de *following*

$d$ , no modelo W74, varia proporcionalmente à raiz quadrada da velocidade do veículo (vide equação (1)), no modelo W99, essa distância é definida como:

$$d = CC0 + CC1 \cdot v \quad (3)$$

Em que  $v$  é a velocidade do veículo e  $CC0$  e  $CC1$  são constantes que serão definidas posteriormente. Desta forma, para o W74, velocidades menores implicam em espaçamentos proporcionalmente maiores, quando comparado ao W99, conforme ilustrado pela Figura 3. Essa afirmação pode ser mais bem esclarecida a partir do uso da Figura 3. As linhas referentes ao W74 mostram pequenas variações feitas por Lacerda & Neto (2014) no modelo. É importante atentar-se, neste caso, apenas ao formato das curvas.

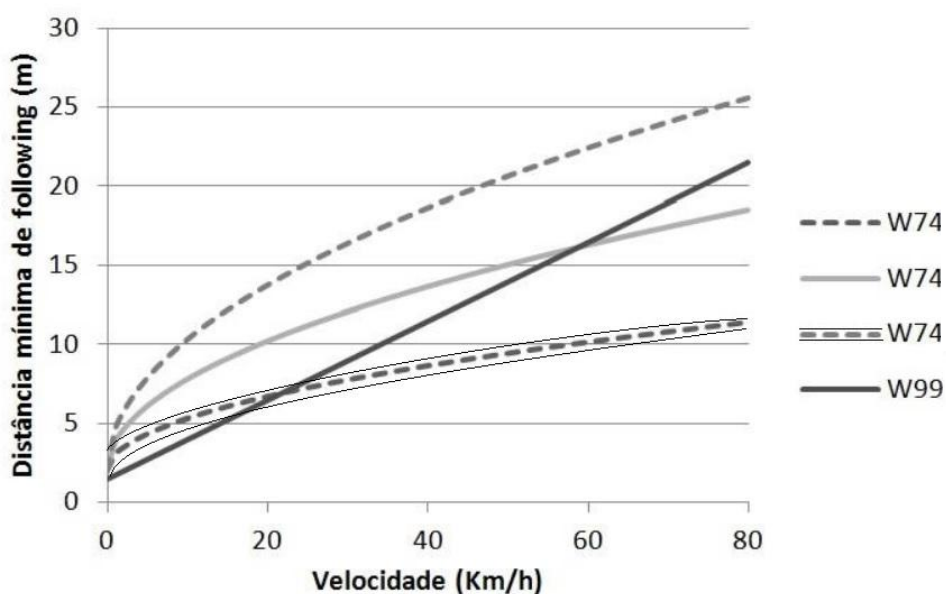


Figura 3 - Gráfico da comparação entre os modelos W74 e W99 quanto ao comportamento da distância mínima de following. Fonte: Adaptado de Lacerda & Neto, 2014.

Outro ponto importante do modelo W99 é que ele possui dez parâmetros possíveis de serem alterados, o que mostra que sua complexidade é superior ao W74. A seguir, estão descritos esses parâmetros:

- $CC0$  (*standstill distance*) [m]: módulo da distância entre a frente do veículo perseguidor e a traseira do veículo perseguido, quando ambos estão em repouso. Este parâmetro se assemelha ao  $ax$  do W74, de modo que vale a seguinte relação:

$$ax = CC0 \quad (4)$$

- CC1 (*headway time*) [s]: tempo necessário para o veículo perseguidor atingir a posição do veículo perseguido no instante inicial. Quanto maior esse valor, mais cauteloso o condutor. Esse parâmetro é semelhante ao  $bx$  do W74, de modo que ele é calculado da seguinte forma:

$$bx = CC0 + CC1 \cdot v_{seguidor} \quad (5)$$

- CC2 (*following variation*) [m]: parâmetro que funciona como uma espécie de oscilação da distância de segurança percebida pelo perseguidor, mantendo-a no intervalo compreendido entre  $bx$  e SDX, conforme o gráfico da Figura 2, de modo que:

$$SDX = bx + CC2 \quad (6)$$

Quanto menor o valor de CC2, mais agressivo o comportamento do condutor.

- CC3 (*threshold for entering following*) [s]: relacionado ao tempo em que o condutor do veículo perseguidor percebe um veículo à frente, esse parâmetro define o tempo necessário entre o início do processo de frenagem e o instante em que o veículo atinge a distância de segurança:

$$SDV = CC3 \quad (7)$$

- CC4 (*negative following threshold*) e CC5 (*positive following threshold*): limites de *following* negativo e positivo, respectivamente. Esses parâmetros controlam a diferença de velocidade entre o perseguidor e o perseguido. Valores com módulos mais baixos indicam um condutor mais sensível às mudanças de velocidade do veículo perseguido, indicando maior agressividade em seu comportamento.
- CC6 (*speed dependency of oscillation*): parâmetro adimensional que define a influência da distância de segurança na oscilação da velocidade durante o regime de *following*. Valores menores indicam menor dependência entre a oscilação da velocidade do perseguidor e a distância de segurança.
- CC7 (*oscillation acceleration*) [ $m/s^2$ ]: representa a oscilação da aceleração do veículo perseguidor. Pode ser visto como a aceleração do veículo em regime de *following*. Quanto maior seu módulo, maiores as taxas de aceleração e desaceleração.

- CC8 (*standstill acceleration*) [m/s<sup>2</sup>]: representa a aceleração desejada pelo veículo perseguidor ao sair do repouso. Pode ser considerada a aceleração de arrancada e pode ser associada ao desempenho do motor do veículo.
- CC9 (*acceleration at 80 km/h*) [m/s<sup>2</sup>]: aceleração que é desejada pelo veículo quando se encontra a uma velocidade acima de 80km/h, limitada de acordo com o desempenho do veículo.

Definidos estes parâmetros, é possível estabelecer todas as equações relativas aos limiares utilizados pelo software. Como os limiares  $ax$ ,  $bx$  e SDX estão definidos, respectivamente, pelas equações 4, 5 e 6, faz-se necessário apenas estabelecer as equações dos outros limiares. Vale lembrar que o limite SDV já foi estabelecido pela equação 7, mas ele pode ser descrito, alternativamente, pela seguinte expressão:

$$SDV = -\frac{\Delta X - SDX}{CC3} - CC4 \quad (8)$$

Onde  $\Delta X$  é a distância que separa os veículos perseguidor e perseguido, conforme a Figura 2. Os limiares CLDV e OPDV podem ser definidos como se segue:

$$CLDV = \frac{CC6}{17000 \cdot (\Delta X - L)^2} - CC4 \quad (9)$$

$$OPDV = -\frac{CC6}{17000 \cdot (\Delta X - L)^2} - \delta \cdot CC5 \quad (10)$$

Em que:

- L, conforme já mencionado anteriormente, é o valor, em metros, do comprimento médio dos veículos;
- $\delta$  é igual a um, caso a velocidade do veículo em questão for maior que CC5, ou zero, se for menor ou igual.

Além destes, segundo Bethonico (2016), o simulador disponibiliza outros parâmetros, os quais servem de ajuste na distância de visibilidade a jusante e a montante do condutor (*look ahead distance* e *look back distance*), definidos em metros, além do número de veículos observados OBSVEH (*observed vehicles*) simultaneamente para a tomada de decisões no regime de *following*. O VISSIM

predefine o OBSVEH como sendo 2 veículos em vias expressas e 4 veículos nas demais vias urbanas. Por fim, há também um parâmetro relativo à probabilidade de desatenção do condutor (*temporary lack of attention*).

### 2.2.3 Modelo de *lane-changing* utilizado pelo VISSIM

É um modelo que rege o comportamento dos veículos no software quanto à ação de mudança de faixa e que foi originalmente desenvolvido por Sparmann (1978). Para realizar esta troca o veículo precisa avaliar três aspectos: se existe a possibilidade da mudança de faixa, se as condições oferecidas pela faixa adjacente são favoráveis e se há a intenção do veículo em realizar essa troca.

Existem dois modelos diferentes quanto ao comportamento do veículo nessa mudança:

- Mudança de faixa necessária: Neste caso, o veículo precisa mudar de faixa a fim de alcançar uma via ou um acesso desejável em seu trajeto.
- Mudança de faixa livre: Nesta situação, o veículo pode realizar a mudança de faixa se lhe for mais conveniente (em caso, por exemplo, de ser possível mudar para uma faixa menos congestionada ou com velocidade média mais condizente com o desejo do condutor), embora não seja necessariamente obrigatória para desenvolver seu trajeto.

Segundo Bethonico (2016), quando ocorre a situação de mudança livre, o comportamento do motorista pode ser simulado de duas maneiras: a seleção de faixa livre (*free lane selection*) e a regra do lado direito (*right-side rule*). O que diferencia estes dois modelos é o parâmetro “*to slower lane if collision time above*”, o qual está presente apenas no modo “*right-side rule*”. Conforme descrito no trabalho de Bethonico (2016, p. 25),

Trata-se de um *headway* mínimo, em segundos, para que haja a mudança de faixa de um veículo na faixa rápida para a faixa lenta. Quando este parâmetro é ativado, os veículos tendem a circular nas faixas mais à direita da pista, e a mudança de faixa é regida pelo espaçamento permitido pelo *headway* mínimo.

Os parâmetros apresentados a seguir estão presentes em ambos os modelos de mudança de faixa descritos acima e são passíveis de calibração:

- *Necessary lane change (route)*: Parâmetro de desaceleração relacionado à mudança de faixa necessária para percorrer a rota desejada.
- *Waiting time before diffusion*: Tempo máximo de espera de um veículo, quando parado atrás de outro, até ser retirado da rede. Depois de decorrido este tempo, aparece uma mensagem de erro ao final da simulação, mostrando quantos veículos não puderam cumprir sua rota devido a esta ocorrência.
- *Min. Headway (front/rear)*: Menor *headway* possível para um veículo mudar de faixa quando está parado atrás de outro. Assim, por exemplo, caso este parâmetro seja definido como 2,0m, o veículo que está atrás de outro, em situação de repouso, não tentará mudar de faixa se estiver a uma distância inferior a esse valor.
- *Safety distance reduction factor*: Fator de redução que multiplica a distância de segurança durante a mudança de faixa. “Ele permite que o veículo que realiza a mudança de faixa esteja mais próximo do veículo da frente ou do veículo de trás” (Neto et al. 2016, p. 137), permitindo que o condutor “realize a mudança de faixa em um intervalo menor de distâncias, ampliando as possibilidades de alteração de faixas” (Neto et al. 2016, p. 137). Por exemplo, caso este fator seja definido como 0,7, a distância de segurança seria reduzida em 30%.
- *Maximum deceleration for cooperative braking*: Fator que define a máxima desaceleração que um veículo pode sofrer para permitir que outro entre em sua faixa, à sua frente. Por exemplo, caso um veículo A queira mudar de faixa e, para tanto, precise entrar na frente do veículo B, se a desaceleração que o veículo B precisar realizar for superior à estabelecida por este fator, o veículo A não tentará realizar a mudança de faixa.
- *Cooperative lane change*: Modelo de troca de faixas entre veículos, em que um veículo colabora para a mudança de faixa de outro, desacelerando e cedendo-lhe espaço à sua frente.

Além desses parâmetros apresentados, existe ainda mais um parâmetro que impacta na modelagem das trocas de faixa, denominado *meso reaction time*. Ele corresponde ao tempo médio de reação considerado para cada veículo.

## **2.3 Modelagem aplicada pelas ferramentas do VISSIM**

Definidos os aspectos necessários à compreensão das modelagens do *car-following* e do *lane-changing*, aplicadas ao VISSIM, faz-se necessário compreender os modelos que são aplicados para o funcionamento dos semáforos simulados no programa. Além disso, será necessário apresentar, posteriormente, o funcionamento de algumas das extensões do VISSIM, responsáveis pela otimização do fluxo de tráfego e que se aplicam a entroncamentos semaforicos, a fim de que medidas que visam à melhoria do tráfego, em situações reais, possam ser testadas antes de serem implementadas.

### **2.3.1 Módulo Vissig: Uso de Semáforos**

O VISSIM, por si só, é um software de microsimulação de tráfego. Com a entrada de dados apropriados e corretos, e realizada uma boa calibração, o programa traz resultados condizentes com a realidade. Com uso apenas do VISSIM, pode-se testar hipóteses do impacto de soluções estruturais na via, como, por exemplo, a colocação de mais faixas de rolamento em um determinado local, a inversão de sentido de faixas de tráfego em um trecho de uma avenida, ou ainda a simulação do impacto no tráfego - provocado pela construção de pontes e viadutos - em uma determinada região.

Para a simulação de situações que envolvem o uso de semáforos, por outro lado, o programa necessita de extensões que traduzem a programação semaforica, desejada pelo usuário, para uma linguagem que o VISSIM leia e aplique durante a simulação. Quando se trata do uso de semáforos, o VISSIM utiliza o módulo Vissig, que, além de gerar arquivos com a linguagem apropriada, permite ao usuário definir os tempos de verde e entreverde para cada ciclo de cada semáforo criado. A Figura 4 ilustra o layout do Vissig. Pode-

se notar a fácil visualização dos tempos de verde, amarelo e vermelho de segurança para cada estágio.

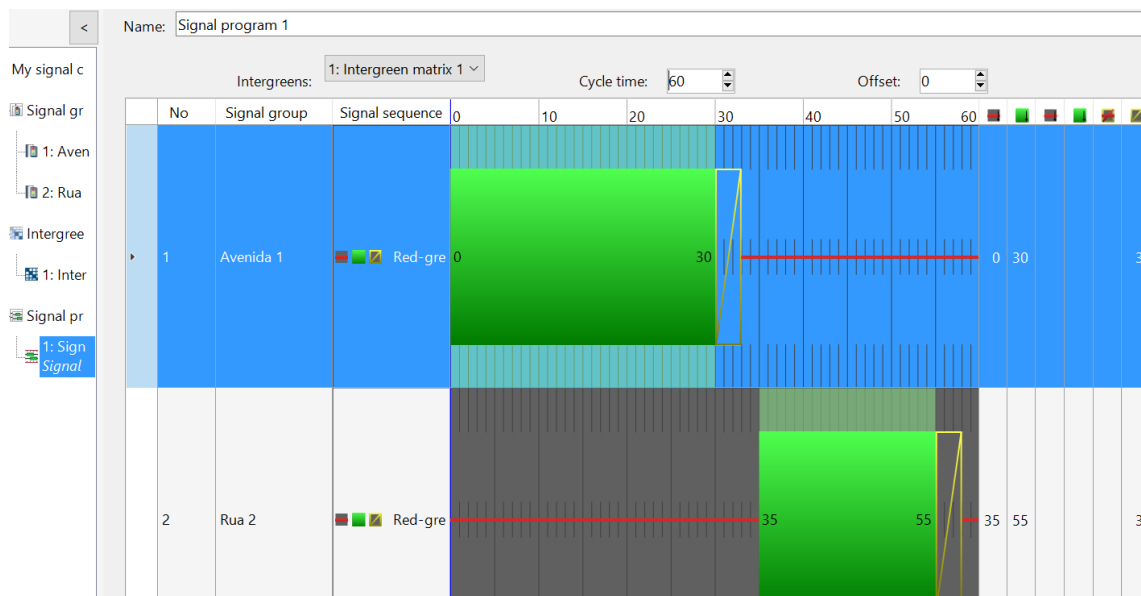


Figura 4 - Layout do Vissig. As medidas de tempo ilustradas estão em segundos. Fonte: adaptado de Camargo & Ribeiro, 2017.

Com o Vissig, os estados de sinal são criados. Ao final de sua criação, é gerado um arquivo em formato .sig, cujo código pode ser lido e executado pelo VISSIM. Com o uso do Vissig, o VISSIM pode simular a implantação de semáforos e de diferentes tempos de ciclo desejados. Com isso, algoritmos de otimização semafórica podem ser aplicados a uma intersecção, como o Epics, uma extensão do VISSIM ideal para estes casos.

### 2.3.2 PTV Epics: Priorização Semafórica

Desenvolvido na Universidade Técnica de Munique, em 2001, pelo professor Dr. Joachim Mertz, o PTV Epics é uma ferramenta que busca minimizar o atraso total que todos os usuários de transporte urbano experimentam. Ele consiste em um tipo de controle adaptativo local, desenvolvido para atuar em uma única intersecção semafórica.

O PTV Epics analisa as condições de tráfego locais e determina o melhor faseamento semafórico em um determinado nó. Em poucos segundos, seu modelo é capaz de determinar se um estágio deve ser omitido, abreviado ou prolongado, ou, alternativamente, se a sequência de estágios semafóricos

deve ser trocada. Com o adequado ajuste, o PTV Epics também é capaz de dar prioridade ao transporte público (geralmente, o transporte por ônibus), buscando gerar o menor impacto possível na intersecção.

#### **2.3.2.1 Modelo de filas de tráfego adotado**

Pelo fato do PTV Epics ser um recurso ideal para uso em uma única intersecção, seus algoritmos utilizam o modelo de fila vertical, que é assim chamado por não considerar as limitações do espaço físico, ocupado pelos veículos automotores, retornando apenas o número de veículos parados e seu atraso. Embora seja um modelo mais simplificado, se utilizado em trechos de intersecções suficientemente distantes de outros cruzamentos, pode apresentar resultados satisfatórios.

#### **2.3.2.2 Detectores**

A otimização gerada a partir do PTV Epics se inicia por meio de detectores colocados no viário, nas proximidades de um semáforo alvo. Eles captam informações relativas ao fluxo de tráfego num determinado ponto e, com isso, ajustam seu modelo matemático para calcular os efeitos de diferentes tipos de controle semafórico na região. Em poucos segundos, por meio da otimização do Índice de Performance Total, o programa calcula um valor ótimo para os tempos dos semáforos.

Os detectores do PTV Epics podem ser utilizados com uma grande variedade de posições na rede de simulação, mas seu melhor desempenho é apresentado para distâncias entre 40-50 metros do ponto de parada na intersecção.

#### **2.3.2.3 Algoritmo de otimização do PTV Epics**

##### **2.3.2.3.1 Função Objetiva**

Para operar corretamente, o PTV Epics deve receber dados do controlador de sinais – no caso da PTV, o próprio Vissig – relativos aos tempos de cada estágio. O usuário deve definir, também, os limites básicos dos

parâmetros relativos ao programa semafórico adotado, como os tempos mínimo e máximo de duração de verdes de cada grupo de sinais e as configurações permitidas para a sequência de fases possíveis. Além disso, o programa trabalha com a atribuição de pesos para dar prioridade a diferentes elementos.

Cada peso é somado para o cálculo de um Índice de Performance (*Performance Index - PI*), que é um parâmetro que serve como indicador de desempenho do elemento analisado. Por exemplo, para o cálculo do Índice de Performance relativo ao atraso de diferentes modos de transporte, pode-se atribuir maior peso para o atraso dos ônibus em relação ao atraso dos carros. Desta forma, os atrasos provocados ao transporte público terão maior impacto no crescimento do PI.

O algoritmo de otimização do PTV Epics, por sua vez, buscará minimizar esse índice, dando prioridade semafórica ao transporte público, pois a redução no atraso dos ônibus geraria maior redução no PI. Analogamente, pesos também podem ser atribuídos de forma a priorizar, por exemplo, a passagem de pedestres ou o fluxo de veículos em vias de maior hierarquia.

Com isso, pode-se dizer que a base do algoritmo de otimização do PTV Epics é voltada para buscar o valor mínimo do Índice de Performance, que também pode ser definido como sendo a menor soma ponderada dos atrasos em todas as aproximações, ponderando-se de acordo com o modo de transporte e/ou de acordo com a via de maior hierarquia.

#### **2.3.2.3.1 Funcionamento Geral**

O modelo do PTV Epics se utiliza de três informações sobre as proximidades da intersecção:

1. As informações atual e passada - captadas pelo detector;
2. O transporte público presente nas proximidades;
3. O estimador de comprimento de fila.

Essas informações são usadas para estimar o fluxo de tráfego afluente à intersecção a cada segundo, pelos próximos 100 segundos subsequentes. Estas estimativas servem como base para o algoritmo de otimização, que

também é processado a cada segundo. Este, por sua vez, é executado em duas etapas: primeiramente, a etapa mais curta, que é um algoritmo que escolhe a sequência correta dos estágios; posteriormente, um algoritmo mais complexo, que refina o ponto de início dos interestágios. Ao final dessas etapas, o objetivo é obter-se a menor soma ponderada dos atrasos para todas as aproximações e modais de transporte detectados na intersecção, ou seja, o menor valor de PI, adotando-se a configuração semafórica correspondente a esse valor.

### **2.3.3 PTV Balance: Otimização de Redes Semaforizadas**

É um controlador adaptativo de rede desenvolvido na Universidade Técnica de Munique pelo Professor Dr. Bernhard Friedrich, durante os anos 1990. Assim como o PTV Epics, o PTV Balance é baseado nos estágios e interestágios semafóricos. Por outro lado, ele é utilizado para otimização de uma sequência de semáforos, presentes ao longo de várias intersecções de uma rede viária. Ele calcula, a cada cinco minutos, um plano de tempos semafóricos que se adapta de modo ótimo à demanda gerada pelo tráfego na rede, buscando favorecer a formação de uma onda verde de tráfego. Deste modo, quando em uso concomitantemente ao PTV Epics, pode proporcionar uma configuração ótima para uma rede de semáforos como um todo, tanto sob o ponto de vista microscópico (levando-se em conta os diferentes modais de transporte e as diferentes hierarquias viárias) quanto sob o ponto de vista macroscópico (considerando-se a análise dos fluxos na rede como um todo).

#### **2.3.3.1 Modelos de tráfego e de otimização**

O PTV Balance utiliza uma combinação de modelos de fluxo de tráfego para computar atrasos, número de paradas e comprimento de filas para cada aproximação. Ele combina os modelos macro e mesoscópico a fim de realizar diferentes tratamentos aos dados de entrada.

O modelo macroscópico incorporado ao PTV Balance estima as relações de tráfego de cada entrada da rede para cada saída. Os volumes e a proporção de conversões geradas no VISSIM também podem ser utilizados.

Flutuações estocásticas no tráfego, bem como condições de sobredemanda, também são capturadas pelo modelo macroscópico de filas. Ao final, o modelo macro obtém como resultado diferentes estruturas de planos semaforicos.

Já a modelagem mesoscópica, por sua vez, computa a parte determinística dos cálculos do modelo, calculando os diferentes planos de controle semaforico nas múltiplas intersecções, levando em conta o efeito de cada plano nos tempos de espera, número de paradas dos veículos e os *blocking backs*<sup>1</sup>. Os resultados gerados pelo modelo meso e macroscópico são agregados por um indicador, denominado Índice de Performance (IP), que, igualmente ao caso do PTV Epics, é usado como indicador do desempenho de um parâmetro analisado.

Ao final, busca-se a configuração global de menor IP, correspondente à configuração ótima do conjunto de planos semaforicos para a rede. Feito isso, cada plano semaforico é transmitido ao controlador local de cada intersecção, onde esses planos são aplicados diretamente ou, alternativamente, são refinados localmente, por meio de outra ferramenta de otimização, como o PTV Epics, por exemplo.

### **2.3.3.2 Aplicação de Algoritmos Genéticos**

De acordo com Weichenmeier & Hildebrandt (2015), algoritmos genéticos são usados nas otimizações do PTV Balance. Seus métodos se baseiam no processo da Seleção Natural, analogamente àquele teorizado por Charles Darwin: melhores programações semaforicas prevalecerão sobre as outras gerações de programas e serão aperfeiçoadas durante o processo. A Evolução no PTV Balance, diferentemente, conduz a uma solução ótima em apenas cinco minutos. Segundo Weichenmeier & Hildebrandt (2015), algoritmos genéticos têm mostrado sua alta probabilidade de sucesso em soluções espaciais para problemas complexos, e, além disso, seus resultados têm-se mostrado muito próximos às soluções ótimas teóricas. Por fim,

---

<sup>1</sup> *Blocking Backs* são bloqueios gerados pelo acúmulo de filas em uma determinada intersecção, gerando o bloqueio de outras intersecções a montante do fluxo.

Weichenmeier & Hildebrandt (2015) afirmam que o PTV Balance utiliza um algoritmo genético cuja qualidade foi provada na defesa de uma tese de doutorado na Universidade Técnica de Munique, em 2008.

Tendo-se essa ideia da Seleção Natural como pano de fundo, o PTV Epics e o PTV Balance foram utilizados de forma a se obter a melhor configuração semafórica para a região, atualizando-se dinamicamente, eliminando-se aquelas que se demonstrarem ineficientes ou menos eficientes a cada novo ciclo semafórico. Como o foco do trabalho será um entrelaçamento, a tendência é que seja maior a contribuição do PTV Epics, já que esta extensão é indicada para intersecções singulares.

Entretanto, a região analisada pode sofrer influência direta de outros semáforos próximos. Com isso, pode ser fundamental o papel do PTV Balance na otimização do fluxo. Por fim, o uso interativo dessas soluções ITS com soluções infraestruturais, que serão testadas com uso de ferramenta CAD, poderão conduzir os resultados do trabalho à solução ótima do ponto de vista de melhoria das condições de trafegabilidade, ainda que, dependendo da necessidade de alteração viária, não se atinja uma solução ótima do ponto de vista financeiro.

## **2.4 Calibração do modelo: Aspectos Teóricos**

Para se realizar intervenções no tráfego, é necessário, primeiramente, diagnosticar os problemas encontrados, e, posteriormente, modelar a situação detectada, ajustando os valores do modelo adotado aos observados na realidade. Esta etapa de ajuste é a chamada calibração. Para a realização das intervenções neste trabalho, conforme já mencionado, será utilizado o software VISSIM.

Esta etapa consiste em alterar parâmetros nos *inputs* dos fluxos de veículos nas vias para que os valores de *outputs* gerados pelo programa sejam coerentes com os dados reais coletados. Além disso, outros parâmetros como configuração geométrica viária, velocidade desejada pelos veículos e

prioridades de fluxo também podem ser alteradas com vistas a obter-se um modelo calibrado.

É importante lembrar também que, conforme visto nas seções anteriores, o software possui um modelo básico de funcionamento (modelos baseados no trabalho de Wiedemann (1974)), e extensões para proposição de otimizações. Desta forma, o processo de calibração da rede inicial considerou as diferenças entre os modelos W74 e W99, a fim de que os dados gerados inicialmente pelo programa fossem compatíveis com a situação atual do tráfego na região analisada.

Como o algoritmo de *car-following* é o responsável pelas interações longitudinais dos veículos, seu impacto sobre o fluxo de tráfego no programa é mais significativo que o gerado pelo algoritmo de *lane-changing*. Desta forma, o processo de calibração poderia envolver a alteração nos parâmetros do *car-following*, de forma a se obter um modelo consistente com a realidade.

Conforme mencionado no item 2.2.2, o fabricante do VISSIM recomenda, sem justificar o porquê, que o W74 seja utilizado em modelagens de tráfego urbano, enquanto que o W99 é recomendado para tráfego rodoviário. Buscaram-se em pesquisas bibliográficas trabalhos que justificassem essa escolha ou explicitassem os motivos pela preferência da aplicação do W74 no contexto urbano, entretanto, constatou-se que a bibliografia existente sobre o assunto é escassa.

Um trabalho que trata sobre o assunto foi desenvolvido por Lacerda & Neto (2014) e apresenta alguns resultados relativos à tentativa de aplicação do W74 e do W99 ao tráfego urbano, numa via arterial unidirecional com duas faixas de tráfego misto, em região com intenso movimento de veículos, na cidade de Fortaleza – CE.

No trabalho desenvolvido por esses autores, é feita a aplicação do W74 e do W99 em ambiente urbano, buscando-se comparar os resultados obtidos da calibração de ambos os modelos ao cenário estudado, avaliando-se o efeito de cada um “*no tempo médio de viagem na via e no atraso veicular médio na primeira aproximação semaforica da via em estudo*” (Lacerda e Neto. 2014, p. 7). Para tanto, eles realizam alterações nos valores dos parâmetros de CC3 a

CC9, existentes apenas no modelo W99, a fim de se detectar a influência dos mesmos sobre a calibração dos fluxos.

Primeiramente, eles alteram o valor de um parâmetro por vez, mantendo os demais com valor *default*, a fim de se analisar a “*sensibilidade dos parâmetros [...] adicionais trazidos pelo W99 com relação ao W74*” (Lacerda & Neto. 2014, p. 7). Posteriormente, eles analisam dois diferentes tipos de comportamento de motoristas: um considerado mais “agressivo”, e o outro, mais “cauteloso”. Como resultado, Lacerda & Neto (2014) concluem que a diferença média existente entre a aplicação do W74 e do W99 na velocidade média desenvolvida pelos veículos é de apenas 2,0 km/h, o que, para o ambiente urbano, é pouco significativo. Com isso, também chegaram à conclusão de que o modelo mais indicado ao tráfego urbano é o próprio W74, já que “*os efeitos dos parâmetros extras trazidos pelo modelo de Wiedemann-99 no tempo de viagem e no atraso veicular são praticamente desprezíveis*” Lacerda & Neto (2014, p. 11).

Diante deste fato, podem ser feitas algumas contestações.

A primeira delas é que o W99 testado no trabalho destes autores foi aplicado em uma via com apenas duas faixas de tráfego unidirecionais. Como se verá mais adiante, o local que será simulado neste trabalho consiste no entroncamento de várias vias importantes na Cidade de São Paulo, com fluxo de tráfego em ambos os sentidos.

A segunda, por sua vez, é que o modelo W74, que possui muitos parâmetros predefinidos e inalteráveis (que, no W99, são passíveis de alteração), foi elaborado com base no tráfego de grandes cidades alemãs, já que os estudos de Wiedemann e o software VISSIM foram desenvolvidos na Alemanha. Isso lembra o fato de que não há cidades alemãs com porte similar ao da Cidade de São Paulo. Segundo informações de Destatis (2016), Berlim é a cidade alemã mais populosa, com cerca de 3.520.000 habitantes, enquanto que, segundo estimativas disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Demografia e Estatística (IBGE), a população da cidade de São Paulo ultrapassa os 12.030.000 habitantes. Além disso, a cidade de Fortaleza, onde foi realizado o trabalho de Lacerda & Neto (2014), segundo o IBGE, possui

cerca de 2.610.000 habitantes. Diante deste quadro, é possível inferir que o comportamento dos motoristas na capital paulista pode ser bastante diferente do comportamento dos condutores na capital alemã, onde o software foi elaborado, ou na capital cearense, onde o estudo de Lacerda & Neto (2014) foi feito. Isso, por sua vez, pode conduzir à necessidade de se alterar pelo menos alguns dos parâmetros de CC3 à CC9 do W99 para a realização deste trabalho. Com isso, para as calibrações realizadas, foram avaliados os modelos W74 e W99, a fim de se verificar qual deles melhor se adequaria ao cenário inicial analisado.

Entretanto, ao testarem-se as diferenças entre o W74 e o W99, foi verificada uma diferença muito pequena entre os fluxos dos veículos nos diferentes modelos. Com isso, o W74 pôde ser adotado, conforme recomendação do manual do VISSIM e conforme recomendado por Lacerda & Neto (2014), para dar maior fluidez e agilidade aos estudos deste trabalho.

Além disso, para a realização das simulações, também foram levados em conta outros cuidados com relação ao método de calibração. Um ponto importante constatado por Lacerda & Neto (2014, p. 10) é que, durante a calibração, deve-se

[...] avaliar a coerência e a validade do valor de cada parâmetro que julgar relevante, pois o baixo erro pode ser observado apenas para a rede na situação atual, e não para os cenários de intervenção de interesse. Por exemplo, um cenário de intervenção com maior volume de tráfego poderá produzir um aumento expressivo no número de trocas de faixas, o que requererá que o modelo de mudança de faixa esteja bem calibrado. Tal calibração pode ter sido equivocadamente dispensada pelo analista ao ver que a rede inicial – com menor volume e com menos troca de faixas – apresentou baixos erros de estimação.

Outro cuidado, mencionado por Lacerda & Neto (2014, p. 11), diz respeito à calibração dos parâmetros *car-following*  $bx\_add$  e  $bx\_mult^2$ ,

---

<sup>2</sup> No trabalho de Lacerda & Neto (2014),  $bx\_add$  e  $bx\_mult$  correspondem, respectivamente, aos parâmetros  $bx_{add}$  e  $bx_{mult}$ , ambos relativos ao modelo W74.

referentes ao uso do modelo W74. Em seu trabalho, ao utilizar o W74, esses autores afirmam que:

O fluxo de saturação é a melhor variável para a calibração dos mencionados parâmetros, pois estes definem os *headways* de *following*, ou seja, os *headways* de saturação. Além disto, uma grande vantagem em se calibrar  $bx_{add}$  e  $bx_{mult}$  com base no fluxo de saturação reside no fato de que esta variável não é influenciada por parâmetros dos modelos de mudança de faixa, aceitação de brecha ou escolha de rotas.

Com isso, os autores concluem que a calibração de  $bx_{add}$  e  $bx_{mult}$ , baseada apenas no fluxo de saturação, pode conduzir a valores mais realistas destes parâmetros, enquanto que a calibração feita “tendo-se como alvo uma medida de desempenho como tempo de viagem [...] pode resultar em estimativas equivocadas dos parâmetros, já que o tempo de viagem é influenciado por outros modelos comportamentais” (Lacerda & Neto, 2014, p.11).

A partir dessa informação, o parâmetro principal que foi utilizado na calibração diz respeito ao fluxo de veículos nos diversos sentidos estudados. Também foi considerado o comprimento das filas, pois elas podem ser um bom indicativo se a calibração está coerente ou não. Além disso, a região estudada neste trabalho envolve a formação de gargalos com presença de semáforos, e, neste caso, ter-se uma noção do comprimento das filas é importante para se perceber quão carregado está o sistema viário.

Por fim, todos os cuidados expostos nesta seção, somados à experiência adquirida ao longo da graduação, também foram utilizados para a realização da calibração do modelo aplicado neste trabalho.

## 2.5 AutoCAD

Com o auxílio do software AutoCAD da Autodesk, alguns redesenhos do entrelaçamento foram idealizados para posterior verificação no VISSIM. Tal ferramenta é apresentada aos alunos da Escola Politécnica na disciplina Projeto de Infraestrutura de Vias de Transporte Terrestre - PTR 2378

(atualmente Projeto de Vias de Transporte - PTR 3321), para o desenvolvimento do Trabalho semestral do curso, que consiste num projeto de um pequeno trecho rodoviário (pouco mais de 6 quilômetros), apresentando algumas das dificuldades encontradas em trabalhos desta natureza, tal como o cuidado com o balanço de massas – que deve ser buscado para um traçado mais econômico.

O software foi utilizado, inicialmente, para projetar soluções que alterarão o desenho estrutural do entrelaçamento, também servindo para verificar a dificuldade de se implantar tais soluções, devido às restrições existentes.

### 3. Parte Prática

#### 3.1 Trechos escolhidos

A microrregião analisada foi o entrelaçamento da Avenida Vital Brasil, Avenida Professor Francisco Morato, Ponte Bernardo Goldfarb, Ponte Eusébio Matoso, vias locais e vias de acesso à Marginal do Rio Pinheiros (Figura 6). Esse trecho foi escolhido inicialmente devido à proximidade e, portanto, com impacto direto no cotidiano dos estudantes e trabalhadores da Universidade de São Paulo.

Além disso, é preciso destacar a Av. Prof. Francisco Morato como um dos principais corredores da Zona Oeste Paulista. Já a Av. Vital Brasil recebe grande parte dos veículos que tem como destino/origem a USP, e possui a estação terminal de metrô Butantã, da Linha 4 – Amarela.

Outro fator levado em conta na escolha do local estudado foi a familiaridade dos integrantes do grupo com a região. Todos os três estudam, moram e trabalham próximo à região, trafegando pelas vias estudadas diariamente.



Figura 5 - Entrelaçamento estudado Fonte: Google Earth (modificado).





Ano	Horário	Automóveis	Ônibus		Caminhões	Motos
			Urbano	Fretado		
2008	Pico Manhã	2.782	327	10	7	1.463
	Pico Tarde	2.828	216	65	31	664
2009	Pico Manhã	3.280	320	4	9	1631
	Pico Tarde	2.585	217	62	27	666
2010	Pico Manhã	2.443	244	6	6	1.546
	Pico Tarde	2.807	195	55	8	669
2011	Pico Manhã	3.043	200	11	50	1.476
	Pico Tarde	2.796	171	30	41	656
2012	Pico Manhã	2.481	209	7	16	1.390
	Pico Tarde	2.928	165	44	13	653
2013	Pico Manhã	2.796	186	5	11	1.752
	Pico Tarde	3.121	141	36	20	704
2014	Pico Manhã	0	0	0	0	0
	Pico Tarde	0	0	0	0	0
2015	Pico Manhã	3.435	151	3	12	1.781
	Pico Tarde	2.788	113	29	18	691

Tabela 1 - Av. Prof. Francisco Morato, entre Av. Lineu de Paula Machado e R. Carlos Ferreira. Fonte: Elaboração Própria.

Obs.: O relatório de 2014 não possui medição da Av. Prof. Francisco Morato.

Ano	Horário	Automóveis	Ônibus		Caminhões	Motos
			Urbano	Fretado		
2008	Pico Manhã	3.688	320	41	40	855
	Pico Tarde	3.900	275	21	29	1.902
2009	Pico Manhã	3.860	242	44	20	884
	Pico Tarde	4.073	250	29	12	2.027
2010	Pico Manhã	4.300	292	52	26	857
	Pico Tarde	4.195	253	9	15	2.263
2011	Pico Manhã	3.990	383	2	45	943
	Pico Tarde	4.054	228	8	24	1.890
2012	Pico Manhã	4.007	270	1	12	667
	Pico Tarde	4.119	236	15	12	1.906
2013	Pico Manhã	4.016	270	5	24	920
	Pico Tarde	3.483	252	8	5	2.256
2014	Pico Manhã	2.918	224	16	18	595
	Pico Tarde	3.038	271	1	12	1.862
2015	Pico Manhã	2.794	269	1	9	766
	Pico Tarde	2.274	270	14	7	1.913

Tabela 2 - Av. Eusébio Matoso, entre R. Cardeal Arcoverde e Av. das Nações Unidas. . Fonte: Elaboração Própria.

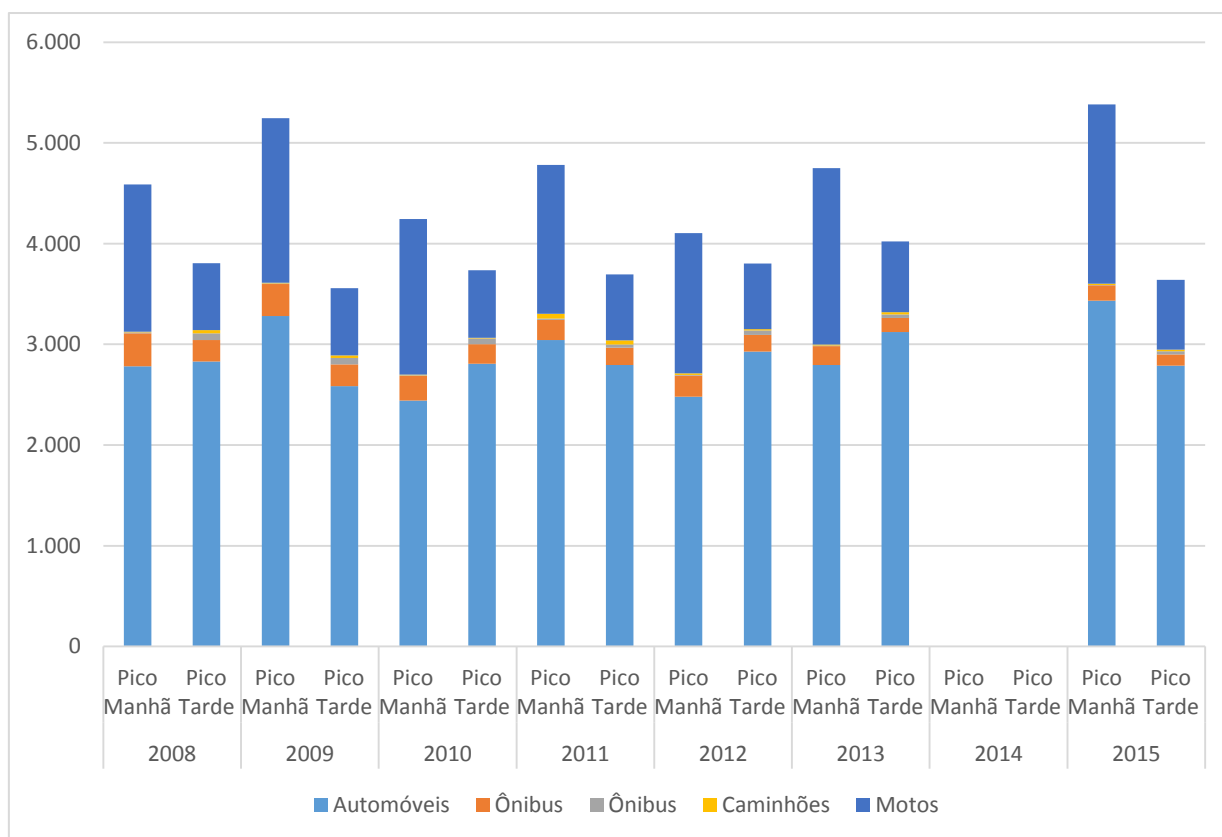


Gráfico 1 - Fluxo na Av. Prof. Francisco Morato, entre Av. Lineu de Paula Machado e R. Carlos Ferreira. Fonte: Elaboração Própria.

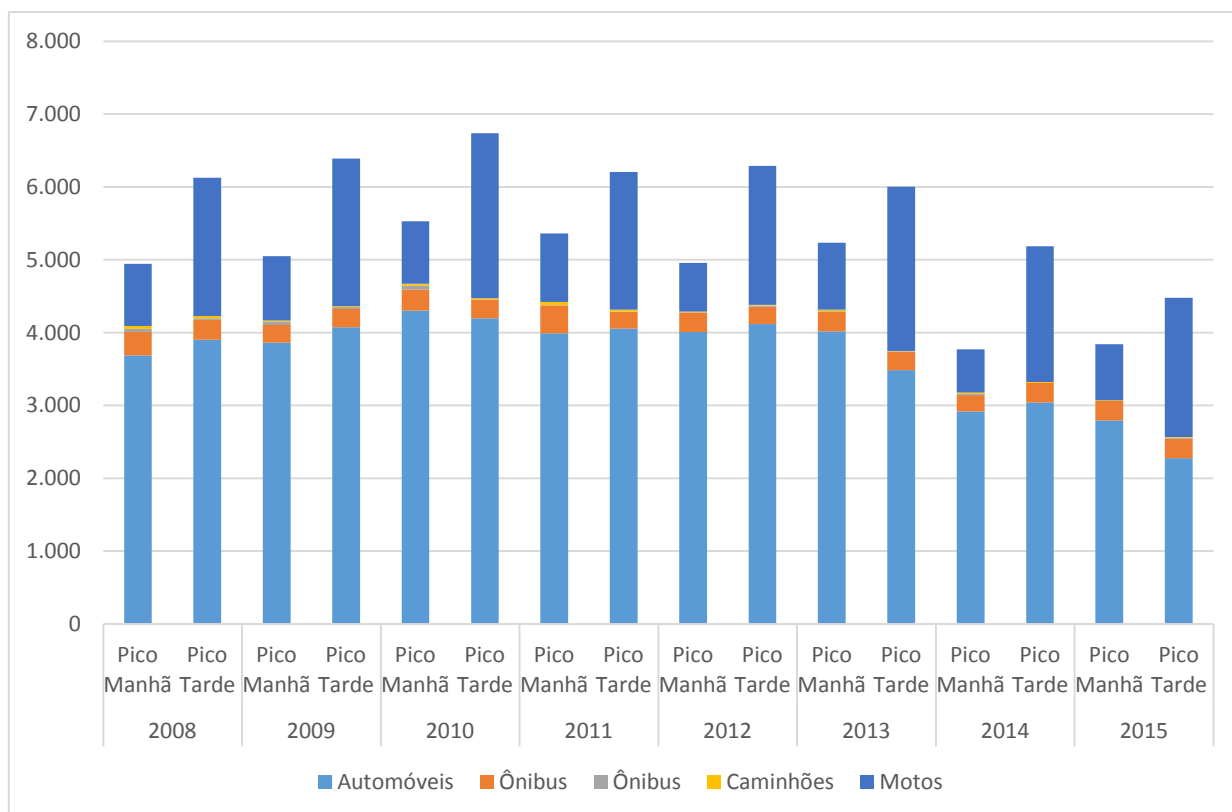


Gráfico 2 - Fluxo na Av. Eusébio Matoso, entre R. Cardeal Arcoverde e Av. das Nações Unidas. Fonte: Elaboração Própria.

Dos gráficos anteriores (Gráfico 1 e Gráfico 2) nota-se uma diminuição no volume de tráfego nos pontos analisados, podendo ser devido a uma desconcentração do emprego em relação à região central da cidade ou devido à inauguração da Linha Amarela do metrô, ocorrida em duas etapas, durante os anos de 2010 e 2011, alterando um pouco as rotas. Apesar de uma diminuição quanto aos volumes de tráfego nos trechos em estudo, também é possível observar nos relatórios uma leve redução na velocidade média dos trechos, que - a princípio - pode parecer ir num sentido contrário à redução dos volumes de tráfego, mas pode ter relação com o aumento de faixas exclusivas de ônibus nessas vias.

### 3.3 Coleta de dados

Após o estudo inicial dos relatórios fornecidos pela CET o grupo buscou uma fonte alternativa que fornecesse dados mais completos. Em uma visita ao centro de monitoramento da zona Oeste da CET foram obtidas filmagens do cruzamento. Estas foram realizadas por uma câmera fixa localizada como indicado na Figura 8 pela seta vermelha.

A câmera possui quatro ângulos de visão fixos, permitindo visualizar os quadrantes mostrados nas Figuras 9 até 12.



Figura 8 - Localização da câmera. Fonte: Adaptado de Google Maps.



Figura 9 – Final Av. Francisco Morato (à direita) e início da Av. Eusébio Matoso (à esquerda) . Fonte: CET



Figura 10 - Av. Francisco Morato e Av. Vital Brasil (à direita). Fonte: CET

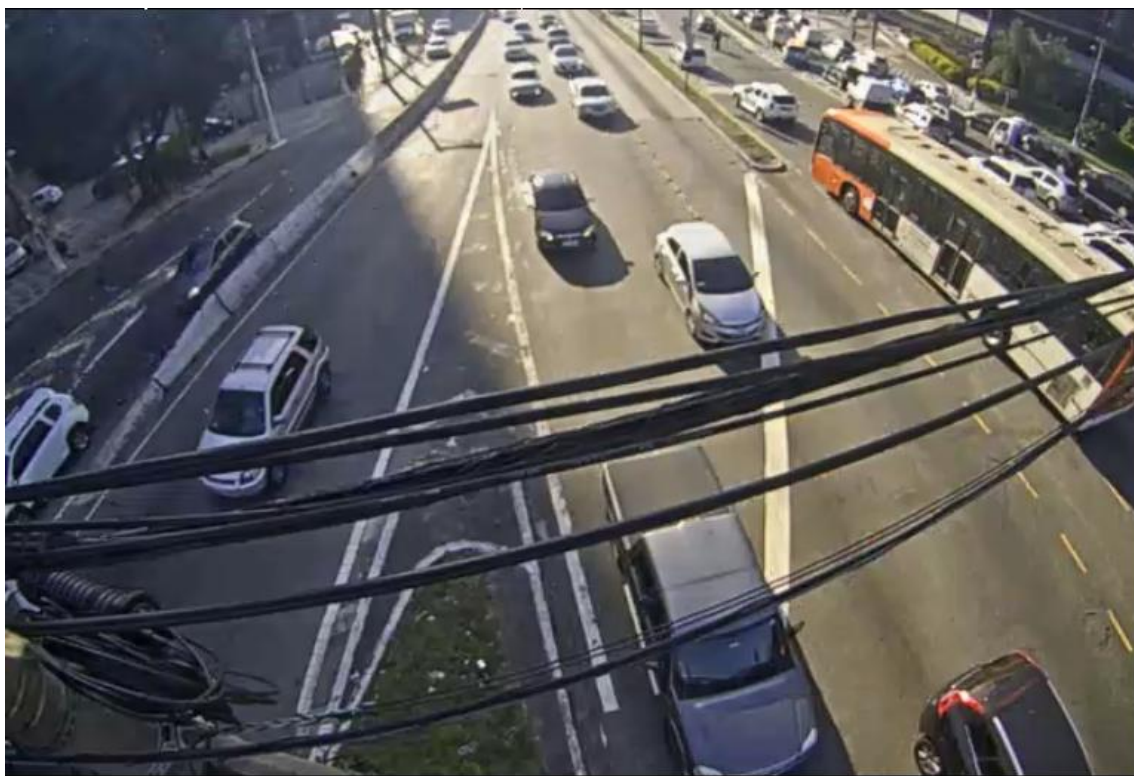


Figura 11 - Pte. Bernardo Goldfarb e Pte. Eusébio Matoso (à direita). Fonte: CET



Figura 12 - Av. Vital Brasil. Fonte: CET

Foram coletadas filmagens do dia 11/07/2017, terça-feira, das seis horas da manhã até as nove horas e trinta minutos da manhã do mesmo dia.

Através das filmagens foram realizadas as contagens dos fluxos de veículos, segregando-os em carros, ônibus, caminhões, ciclistas e motociclistas. Devido à baixa qualidade das imagens e descontinuidade do vídeo, como será visto a seguir, não foi possível identificar as linhas de ônibus que trafegavam pela região com precisão. Portanto, foram utilizados dados complementares de frequência, por linha, obtidos no site da SPTrans e EMTU.

Além disso, outros três pontos importantes precisam ser destacados. O primeiro é o fato de as contagens terem sido realizadas durante as férias escolares, diminuindo o fluxo de veículos que trafegam na região por motivos relacionados à USP. Apesar disso, os dados coletados mostram um entrelaçamento trabalhando sempre próximo ou acima da capacidade.

O segundo ponto a se destacar é o fato de que as filmagens não eram contínuas, apresentando pequenos cortes ao longo do período estudado, o que afetou as contagens. Dependendo da câmera e do horário da filmagem, houve maior ou menor quantidade de cortes. Para contornar esse problema, todos os fluxos foram superestimados, de acordo com a tabela de coeficientes de majoração, a qual será exposta posteriormente, levando em consideração um valor próximo do tempo médio perdido nas filmagens e a semelhança entre o comportamento do tráfego, visto em campo, e o comportamento do mesmo no modelo.

Finalmente, é preciso destacar o fato de que nem todos os movimentos relevantes ao estudo estavam visíveis nas filmagens. Portanto, foi necessário realizar duas contagens adicionais em campo. Essas contagens foram realizadas nos dias 15/08/2017, terça-feira, e 24/08/2017, quinta-feira, das 8h15 às 9h15, hora pico manhã determinada pelo grupo, como será explicado a seguir. É importante mencionar que o dia 15/08 foi um dia predominantemente chuvoso na cidade de São Paulo. Até o momento final da contagem, contudo, não havia chovido na região analisada. Entretanto, poucos minutos após seu término, começou a chover. Devido ao clima naquele dia, é possível que, durante a contagem, possa ter chovido em outras regiões da cidade, de forma a influenciar macroscopicamente o tráfego na região. Por exemplo, uma possível chuva ocorrida no centro da cidade, durante o processo de contagem, pode levar à propagação de lentidão ao longo de todo o corredor

Rebouças, afetando a fluidez do tráfego nas avenidas Eusébio Matoso e Francisco Morato. Com isso, possíveis erros de contagem, relacionados à possibilidade de chuva, foram considerados no processo de calibração, conforme será exposto posteriormente.

Devido aos eventos atípicos levantados acima, o modelo não representa fielmente a realidade do local, mas permite diagnosticar os principais problemas. Tendo em vista que o foco desse trabalho é analisar as melhorias obtidas a partir das soluções propostas pelo grupo, os dados coletados são suficientes para o desenvolvimento do estudo, mesmo sem a parametrização do modelo.

Para a realização das contagens, o entrelaçamento foi dividido em movimentos, como mostrado na Figura 13 até Figura 16. Entretanto, nem todos os movimentos foram considerados relevantes para o estudo. Assim, foram desconsiderados no estudo os movimentos I, L, O e P. Os movimentos contados em campo foram os fluxos de J e K. Vale mencionar também que, após as contagens e simulações, os fluxos que não apresentaram problemas relevantes, ou que não influenciaram, de forma relevante, quanto aos problemas encontrados, não foram analisados durante as simulações.



*Figura 13 - Movimentos do entrelaçamento. Fonte: Google Earth (modificado)*



Figura 14 - Movimentos do entrelaçamento. Fonte: Google Earth (modificado)



Figura 15 - Movimentos do entrelaçamento. Fonte: Google Earth (modificado)

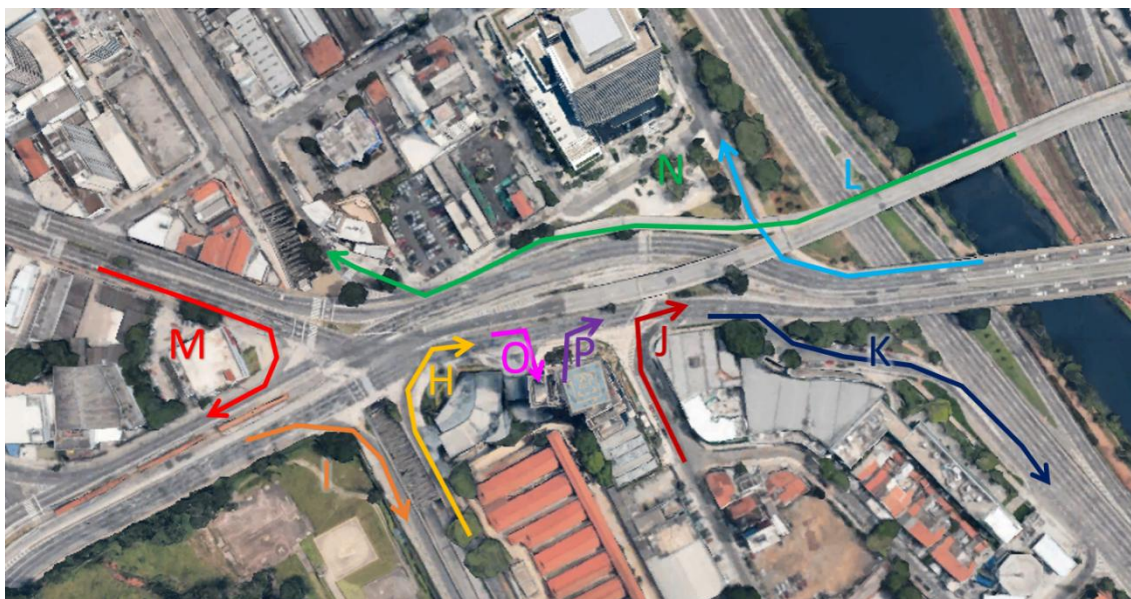


Figura 16 - Movimentos do entrelaçamento. Fonte: Google Earth (modificado)

As Tabelas Tabela 3 e Tabela 4 mostram os fluxos (veículos/hora) levantados a partir das filmagens. Para a determinação da hora pico manhã (HPM), usada posteriormente como período a ser simulado, foi considerado o maior fluxo no sentido centro. Portanto, a HPM determinada foi das 8h15 às 9h15 da manhã.

CENTRO	carro	moto	caminhão	bicicleta	total
06:00-07:00	2311	373	100	10	2794
06:15-07:15	2369	475	86	13	2943
06:30-07:30	2348	557	64	14	2983
06:45-07:45	2264	559	81	12	2916
07:00-08:00	2375	626	78	10	3089
07:15-08:15	2167	589	61	9	2826
07:30-08:30	2295	575	64	6	2940
07:45-08:45	2357	625	43	4	3029
08:00-09:00	2316	694	66	6	3082
08:15-09:15	2467	692	99	5	3263
08:30-09:30	2384	672	110	6	3172

Tabela 3 - Fluxo de veículos por hora no sentido centro. Fonte: elaboração própria.

BAIRRO	carro	moto	caminhão	bicicleta	total
06:00-07:00	1357	203	45	2	1607
06:15-07:15	1428	220	45	2	1695
06:30-07:30	1506	247	40	1	1794
06:45-07:45	1614	273	36	0	1923
07:00-08:00	1384	249	29	0	1662
07:15-08:15	1362	250	29	0	1641
07:30-08:30	1310	224	35	0	1569
07:45-08:45	1183	192	38	0	1413
08:00-09:00	1331	188	48	0	1567
08:15-09:15	1431	202	68	0	1701
08:30-09:30	1518	194	107	0	1819

Tabela 4 - Fluxo de veículos por hora no sentido bairro. Fonte: elaboração própria

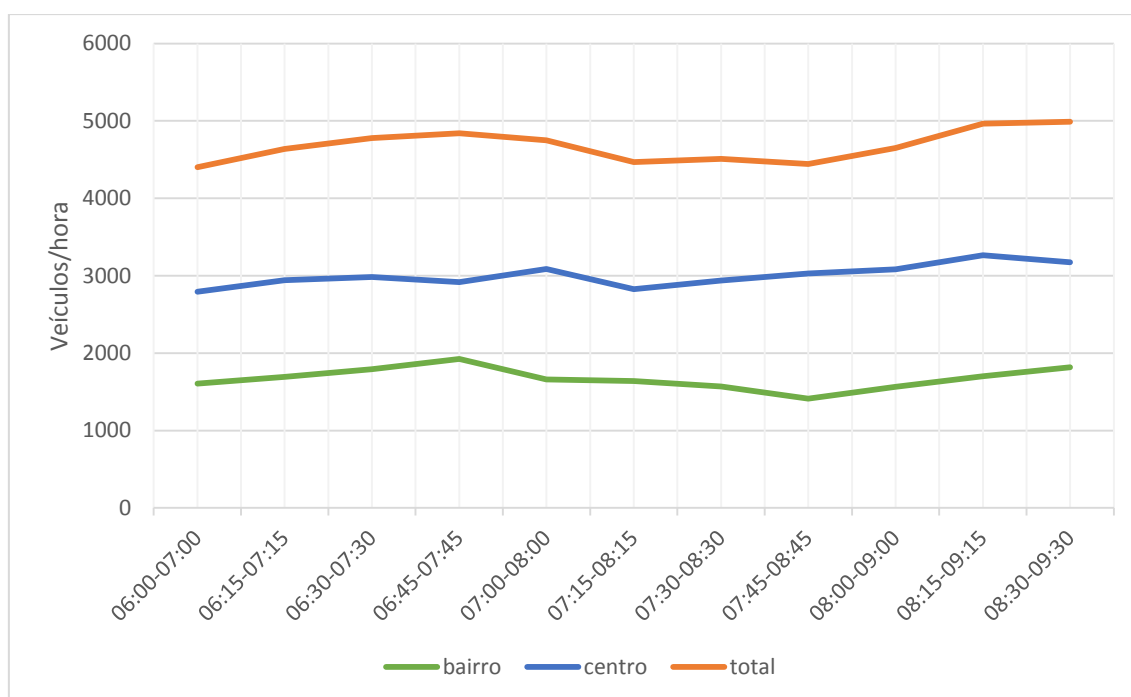


Gráfico 3 - Fluxo de veículos por hora no entrelaçamento. Fonte: Elaboração própria

As tabelas do Anexo A detalham os fluxos de veículos por movimento.

A Tabela 5 mostra os dados coletados em campo. É importante destacar que, durante os períodos de contagens em campo, nenhum ônibus foi detectado. Por isso a Tabela 5 contém apenas 3 tipos de modal de transporte.

<i>Movimento</i>	<i>Carro</i>	<i>Moto</i>	<i>Caminhão</i>	
<i>K</i>	492	348	20	
<i>J</i>	936	292	20	

*Tabela 5 - Veículos por hora contados em campo. Fonte: Elaboração própria*

Para o registro desses volumes, as contagens foram realizadas dentro da hora-pico. Entretanto, o período total de cada contagem foi de 15 minutos, de modo que o volume obtido nesse tempo foi multiplicado por 4 para a obtenção do volume de hora-pico. Esse método de contagem, no entanto, pode estar passível de erros, os quais buscaram ser acertados de acordo com o modelo na etapa de calibração.

Durante a visita ao centro de monitoramento da CET, também foram obtidos os tempos semaforicos da região. A Tabela 6 mostra a divisão dos grupos de movimento para a modelagem no VISSIM. Já a Tabela 7 mostra os tempos semaforicos coletados no centro de monitoramento.

Nº Grupo	Grupos de Movimento
1	Eusébio Matoso B/C na Travessia de Pedestre do acesso à marginal
2	Semáforo de Pedestre oposto ao movimento 1
3	Eusébio Matoso C/B + Corredor de Ônibus Eusébio Matoso B/C
4	Semáforo de Pedestre oposto ao movimento 3
5	Francisco Morato B/C
6	Corredor de Ônibus Francisco Morato B/C
7	De Eusébio Matoso C/B para Francisco Morato C/B
8	Vital Brasil B/C
9	Eusébio Matoso C/B para Vital Brasil C/B
10	Semáforo de Pedestre oposto ao movimento 9
11	Semáforo de Pedestre oposto ao movimento 8
12	Semáforo de Pedestre oposto aos movimentos 5, 6 e 9
13	Semáforo na Vital Brasil C/B e B/C fora do cruzamento

Tabela 6 – Grupos de Movimento identificados no entrelaçamento. Fonte: Elaboração Própria.

	Duração de cada fase (em segundos) dentro do ciclo de 144s			
Nº Grupo	Verde	Amarelo/Piscante	Vermelho*	Nº Estágio
1	5 a 132	132 a 136	136 a 5	3
2	137 a 144	0 a 5	5 a 137	3
3	5 a 126	126 a 130	130 a 5	2
4	131 a 144	0 a 5	5 a 131	2
5	6 a 95	95 a 99	99 a 6	1
6	6 a 95	95 a 99	99 a 6	1
7	6 a 95	95 a 99	99 a 6	1
8	101 a 144	0 a 4	4 a 101	1
9	30 a 80 e de 102 a 8	80 a 84 e de 8 a 12	84 a 102 e de 12 a 30	4
10	13 a 25 e de 85 a 97	25 a 29 e de 97 a 101	29 a 85 e de 101 a 13	4
11	6 a 95	95 a 99	99 a 6	1
12	101 a 144	0 a 4	4 a 101	1
13	100 a 74	74 a 78	78 a 100	5

\*incluindo o tempo de vermelho de segurança

Tabela 7 – Tempos de verde, amarelo (para veículos) ou piscante (para pedestres) e vermelho de cada grupo, bem como os estágios associados. Fonte: Elaboração Própria.

É importante mencionar que a Tabela 7 mostra os tempos de cada fase ao longo do ciclo de 144 segundos. Note que os grupos 9 e 10, na verdade, possuem um ciclo de 72 segundos que, na tabela, estão adaptados para os 144 segundos.

### 3.4 Método de Calibração

A etapa de calibração do modelo no VISSIM é a parte mais demorada e mais difícil do trabalho, visto que exige a realização de sucessivas simulações, realizando-se pequenas mudanças a cada nova simulação, a fim de se obter no modelo dados coerentes com a realidade.

Em se tratando de uma região com fluxo de veículos intenso em uma metrópole como São Paulo, foi necessário realizar modificações, não somente no *input* de veículos e na configuração viária, mas também no comportamento dos motoristas em diferentes alças do entrelaçamento. Por exemplo, o comportamento dos veículos próximos, partindo da R. Bento Frias em direção à Av. Eusébio Matoso mostrou-se mais agressivo que o comportamento dos veículos do modelo na configuração *default*. Com isso, foi necessário realizar mudanças comportamentais para ajustar o modelo à realidade.

A seguir, são apresentados os ajustes realizados e as considerações adotadas para a calibração do modelo.

#### 3.4.1 Ajustes nos dados de contagem

Conforme observado anteriormente, os vídeos utilizados para obtenção dos dados de contagem possuíam cortes durante as filmagens, de modo que isso gerava prejuízos à contagem, levando à minoração dos problemas encontrados no entrelaçamento. Além disso, cada câmera diferente possuía tempos de corte diferentes. É importante lembrar, também, que alguns dos dados de contagem foram obtidos em campo, o que leva a crer que possuem valor absoluto mais confiável que aqueles obtidos a partir dos vídeos.

Levando-se em conta essas informações, foi necessário ajustar os valores de contagem esperados no *output* do VISSIM para que eles fossem compatíveis com os problemas encontrados em campo, como atrasos e formação de filas. Para tanto, para cada sentido, foram considerados diferentes coeficientes de ajuste, os quais devem multiplicar os valores registrados dos fluxos. A Tabela 8 mostra os coeficientes de majoração adotados de acordo com o sentido.

COEFICIENTES DE MAJORAÇÃO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	1,27	1,27	1,27	1,00
Vital	Eusébio	1,27	1,27	1,27	1,00
Francisco	Goldfarb	1,38	1,38	1,38	1,00
Francisco	Eusébio	1,38	1,38	1,38	1,00
Marginal	Eusébio	1,00	1,00	1,00	-
Eusébio	Marginal	1,00	1,00	1,00	-

*Tabela 8 - Coeficientes de majoração dos fluxos registrados em função dos cortes das câmeras de filmagens utilizadas nas contagens. Fonte: Elaboração Própria.*

Os valores desta tabela refletem o erro médio gerado pelos cortes nas filmagens. Nas direções onde o tráfego era mais carregado, houve maiores cortes nas filmagens. Por isso, os coeficientes relativos aos fluxos provenientes da Av. Francisco Morato são maiores. No caso dos ônibus (cujos dados de fluxo foram coletados a partir das tabelas de frequência fornecidas pela SPTrans) e das duas últimas linhas (cujos dados foram obtidos a partir de contagem em campo), não houve coleta de dados a partir de filmagens, o que justifica o valor unitário de seus coeficientes de majoração.

Após considerados os valores dos coeficientes de majoração, tem-se a Tabela 9 com os valores-alvo da calibração, ou seja, os valores buscados durante este processo.

FLUXO DE VEÍCULOS POR HORA: VALORES-ALVO DA CALIBRAÇÃO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	364,3	73,4	13,9	62,8
Vital	Eusébio	364,3	225,2	8,9	32,4
Francisco	Goldfarb	489,5	143,0	19,3	42,4
Francisco	Eusébio	1307,6	463,4	71,5	72,0
Marginal	Eusébio	936,0	292,0	20,0	-
Eusébio	Marginal	492,0	348,0	20,0	-

*Tabela 9 - Valores de fluxo buscados durante o processo de calibração da rede. Fonte: Elaboração Própria.*

### 3.4.2 Dados de *Input* e *Output*

Conforme foi mencionado no item anterior, parte dos fluxos registrados na região foi obtida a partir de contagem por vídeo. Esses dados possuem erros devido aos cortes presentes durante as filmagens. Além disso, cada câmera possui um tempo de corte diferente da outra. Isso influencia diretamente no processo de calibração, pois, se fossem adotados os valores absolutos contados por vídeo, os fluxos seriam minorados, o que levaria à minoração dos problemas enfrentados pelo tráfego na região.

Além disso, é importante ressaltar que os fluxos registrados, por meio das contagens por vídeo, referem-se à quantidade de veículos que, efetivamente, passam pelos semáforos. Ou seja, os veículos acumulados nas filas formadas antes das seções dos semáforos não são contabilizados no mesmo instante. Deste modo, por exemplo, pode haver uma quantidade  $X$  de veículos efetivamente passando pela seção de contagem em um determinado instante e uma quantidade hipotética  $2,5X$  de veículos desejando passar pela seção de contagem no mesmo instante. Essa diferença de quantidade de  $1,5X$  seria o valor correspondente à fila formada a montante do fluxo.

Por um lado, são estes valores os mais difíceis de serem estimados no entrelaçamento, pois, devido à grande quantidade de veículos na região, a fila formada pode atingir a ordem de grandeza de centenas de metros. Com isso, seu tamanho pode passar a sofrer influências de outros cruzamentos (semaforizados ou não) presentes nas proximidades. E, de fato, conforme observado em campo, há a influência do cruzamento da Av. Morumbi e da R. Sapetuba com a Av. Francisco Morato, na formação de filas do entrelaçamento estudado.

Por outro lado, os valores de fila formada são imprescindíveis, pois eles retratam a dimensão do problema do gargalo formado na região. Talvez não sejam necessários os valores exatos dos comprimentos dessas filas (sabendo-se que, neste caso, é um dado muito difícil de ser obtido com relativa precisão), mas uma noção visual do seu tamanho já é suficiente para se realizar uma boa análise dos problemas do tráfego da região.

Tendo as informações acima como base, as filas formadas foram observadas qualitativamente em campo para estimar a quantidade de veículos que desejam passar pelo entrelaçamento. Além disso, também foi utilizado o último relatório de pesquisa de fluidez da CET, de 2016, para ajudar a estimar essa quantidade. Assim, foi possível chegar a um valor de *input* de veículos, em cada via avaliada nas simulações, tal que, além de ter um módulo razoável, levou à formação de filas no modelo, com tamanho semelhante aos observados em campo.

Com os valores de *output* gerados pelo VISSIM (ou seja, a quantidade de veículos que efetivamente passam pela região e que corresponde aos dados de contagem), fazendo-se pequenas alterações, simulação após simulação, foi-se desenvolvendo os passos para a calibração do modelo.

É importante ressaltar que, durante a obtenção dos valores de *output*, foram descontados os primeiros 10 minutos de simulação, de modo que esse tempo inicial serviu para o carregamento da rede. Com isso, ao todo, cada tempo de simulação equivaleu a 1 hora e 10 minutos de tempo real, sendo validadas no *output* apenas os registros relativos aos últimos 60 minutos de cada simulação.

Por fim, depois de realizados os devidos ajustes no programa, com os dados de *input* coerentes com a dimensão das filas formadas observadas, e com os dados de *output* coerentes com os dados das contagens, foi possível obter um modelo devidamente calibrado, tomado como referência para a implantação e avaliação das melhorias propostas.

### **3.4.3 Mudanças comportamentais nos veículos**

Foram realizadas diversas mudanças comportamentais nos veículos, simulação após simulação, durante a etapa de calibração. As modificações apresentadas aqui, no entanto, refletem apenas aquelas que surtiram os maiores efeitos para o ajuste dos fluxos, dado que o foco do trabalho seria a proposição de melhorias para o transporte da região. Inicialmente, foram testados os modelos W74 e W99, entretanto, as diferenças no fluxo apresentadas entre ambas as modelagens foi muito pequena. Com isso, diante

da recomendação observada nos manuais do VISSIM e pelo fato de a diferença prática entre o Wiedemann-74 e o Wiedemann-99 ser pequena, o que também é reforçado pelo trabalho de Lacerda & Neto (2014), optou-se pelo uso do modelo W74.

Dentre as configurações comportamentais mais importantes que tiveram que ser ajustadas, destaca-se o comportamento dos veículos diante do sinal amarelo. Como *default*, o VISSIM considera que os veículos, ao aproximarem-se de um semáforo na fase amarela, iniciam o processo de frenagem. Em São Paulo, diferentemente, os condutores mantêm seu movimento como se avistassem a fase verde ou, por vezes, até aceleram. Com isso, para que este comportamento fosse refletido no modelo, a configuração do comportamento dos motoristas diante da fase amarela (ou, no inglês, *amber*) e do vermelho de segurança teve que ser alterado conforme ilustra a Figura 17.

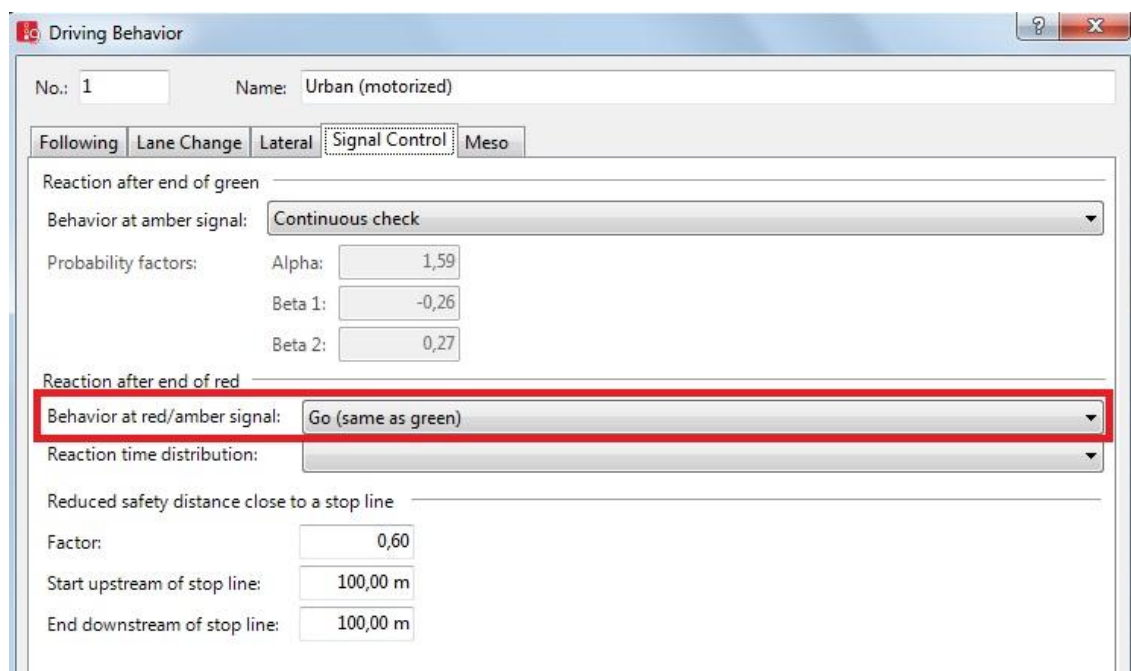


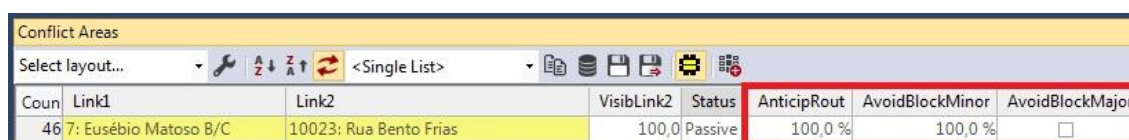
Figura 17 - Alteração na configuração do comportamento dos motoristas diante da fase amarela e do vermelho de segurança. Fonte: Elaboração Própria.

Outro ponto importante considerado na etapa de calibração diz respeito à velocidade média desejada. Em geral, os veículos desejam circular pela região com velocidade em torno de 50 a 60 km/h. Para a calibração, foi adotado o valor de 50 km/h para os veículos que trafegassem pela Av. Vital

Brasil e pela Av. Francisco Morato. Como o entrelaçamento analisado fica numa região de São Paulo que dá acesso direto a algumas das principais vias que ligam o centro da cidade (como a Av. Rebouças e a Rua da Consolação, por exemplo) é natural que, ao longo do percurso até o centro, haja diversos pontos de gargalo. Tendo isso em mente, foi necessário considerar o efeito do trânsito na Av. Eusébio Matoso mais adiante do entrelaçamento, no sentido Bairro-Centro. Por outro lado, como o caso analisado trata-se de uma microssimulação, não é viável microssimular os gargalos que ocorrem ao longo de toda a Av. Eusébio Matoso.

Tendo-se essas ideias como base, foi necessário forçar os veículos que percorrem a Av. Eusébio Matoso no sentido Centro, a partir da ponte Eusébio Matoso, a se locomoverem a velocidades condizentes com a realidade encontrada. Com isso, a partir do último relatório de Pesquisa de Fluidez divulgado pela CET, de 2016, a velocidade média adotada para esses veículos no modelo foi de 16,7 km/h. Deste modo, os veículos que quisessem prosseguir no sentido Centro pela Av. Eusébio Matoso, ao chegarem à ponte, reduziam sua velocidade média desejada de 50 km/h para 16,7 km/h. Essa modificação foi essencial para simular o constante gargalo presente no entrelaçamento ao longo de todo o período de simulação.

Por fim, é importante mencionar uma série de modificações comportamentais realizadas referentes aos veículos nas proximidades do cruzamento da R. Bento Frias com a Av. Eusébio Matoso. A calibração do fluxo relativo à R. Bento Frias foi o mais difícil de ser realizado, pois foi aquele que apresentava os valores mais distantes dos medidos após sucessivas simulações. A Figura 18 mostra as três configurações relativas ao comportamento dos veículos em área de conflito que foram essenciais para a calibração do fluxo nesta rua.



Coun	Link1	Link2	VisibLink2	Status	AnticipRout	AvoidBlockMinor	AvoidBlockMajor
46	7: Eusébio Matoso B/C	10023: Rua Bento Frias	100,0	Passive	100,0 %	100,0 %	<input type="checkbox"/>

Figura 18 - Principais configurações relativas ao comportamento dos veículos na área de conflito entre a R. Bento Frias e a Av. Eusébio Matoso. Fonte: Elaboração Própria.

As configurações adotadas para a calibração são as mesmas representadas na Figura 18. Seu significado está explicado como se segue:

**AnticipRout:** *Anticipate Routes* – Equivale à porcentagem de veículos que, conhecendo a sua rota, irá evitar zonas de conflito. Isto vale tanto para o fluxo de veículos em vias principais quanto em secundárias. Isso permite, por exemplo, que aqueles veículos provenientes da Av. Francisco Morato e da Av. Vital Brasil que prosseguirão adiante na Av. Eusébio Matoso procurem as faixas mais à esquerda, evitando conflito com os veículos advindos da R. Bento Frias.

**AvoidBlockMinor:** *Avoid Blocking the Minor Flow* – Equivale à porcentagem de veículos provenientes da via de maior fluxo, que buscará evitar bloquear o fluxo dos veículos provenientes de vias de menor fluxo. Isso permite que todos os veículos que passarem pela Av. Eusébio Matoso no sentido Centro evitem bloquear o fluxo dos veículos advindos da R. Bento Frias. Evidentemente, os veículos que buscariam entrar na Marginal Pinheiros dificilmente poderiam evitar o bloqueio, mas aqueles que seguiriam adiante na Av. Eusébio Matoso, farão o possível para evitá-lo.

**AvoidBlockMajor:** *Avoid Blocking the Major Flow* - Equivale à porcentagem de veículos provenientes da via de menor fluxo que buscará evitar bloquear o fluxo dos veículos provenientes de vias de maior fluxo. Neste caso, dado o comportamento real agressivo dos motoristas em regiões de conflito, para que o fluxo de veículos provenientes da R. Bento Frias fosse compatível com a realidade, foi preciso considerar que nenhum motorista proveniente desta rua evitaria o bloqueio dos veículos presentes na Av. Eusébio Matoso.

#### 3.4.4 Passagem de motocicletas por entre os carros

Uma das principais características no tráfego brasileiro, com destaque para cidade de São Paulo devido a sua enorme frota, é o fato de as motocicletas, em condições de lentidão ou em região próxima a semáforos, passarem por entre os demais veículos, frequentemente trafegando sobre as

linhas que dividem as faixas de rolamento. Este comportamento reflete diretamente na capacidade das vias em comportar o fluxo de motocicletas.

Por *default*, as motocicletas do VISSIM não passam por entre os carros. O simulador, no entanto, permite mudanças de comportamento dos veículos de modo a forçar esta característica. Para ajustar este comportamento, os veículos foram liberados a realizar ultrapassagens sobre veículos da mesma faixa. Deste modo, as motocicletas não precisariam trocar de faixa para realizar ultrapassagens, abrindo-lhes a possibilidade de ultrapassar passando por cima das linhas que dividem as faixas de rolamento. A Figura 19 mostra este ajuste realizado no VISSIM.

Outro detalhe fundamental para ajustar o comportamento das motocicletas diz respeito à distância lateral mínima de ultrapassagem. Essa distância mínima ocorre quando os veículos estão em repouso. Conforme sua velocidade aumenta, a distância lateral mínima cresce até atingir o valor de 50 km/h, o que intuitivamente condiz com a realidade. Conforme o ajuste também indicado na Figura 19, a 0km/h a distância mínima de ultrapassagem adotada é de 0,05m, enquanto que a 50km/h, esta distância é de 0,30m.

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Lane Change Lateral Signal Control Meso

Desired position at free flow: Middle of lane

☒ Keep lateral distance to vehicles on next lane(s)

☐ Diamond shaped queuing

☐ Consider next turning direction

Collision time gain: 2,00 s

Minimum longitudinal speed: 3,60 km/h

Time between direction changes: 0 s

Default behavior when overtaking vehicles on the same lane or on adjacent lanes

Overtake on same lane

☒ On left

☒ On right

Minimum lateral distance

Distance standing: 0,05 m at 0 km/h

Distance driving: 0,30 m at 50 km/h

Exceptions for overtaking vehicles of the following vehicle classes

Coun	VehClass	OvtL	OvtR	LatDistStand	LatDistDrive
------	----------	------	------	--------------	--------------

OK Cancel

Figura 19 – Tabela de configurações para alteração comportamental dos motociclistas no VISSIM. Fonte: Elaboração Própria.

Este ajuste, no entanto, permite que, além das motos, os ônibus, carros e caminhões também possam realizar ultrapassagens seguindo estes valores mínimos de distância lateral. No entanto, como as dimensões físicas das motocicletas são muito menores que a dos demais tipos de veículos e como cada faixa de rolamento na região possui largura da ordem de 3 a 4 metros, apenas as motos possuem capacidade física para realizar tais ultrapassagens, permitindo, com isso, o ajuste ao comportamento dos motociclistas paulistanos.

Com estes ajustes, os valores de fluxo de motocicletas do modelo puderam ser compatíveis com os registrados pelas contagens.

#### **3.4.5 Prioridade de fluxo**

Um aspecto particular da intersecção no pico da manhã diz respeito à ocorrência de *blocking backs* causados pelos veículos que trafegam no sentido Vital Brasil – Eusébio Matoso. Conforme observado em campo e por meio das filmagens na intersecção, entre o semáforo para pedestres, próximo à R. Bento Frias, e o final da Av. Francisco Morato, no sentido Centro, frequentemente formam-se filas que impedem a passagem imediata dos veículos que partem da Av. Vital Brasil. Alguns desses veículos, no entanto, tentam avançar no sentido Centro quando o semáforo lhes aparece verde, mesmo com a formação da referida fila, permanecendo parados por alguns segundos no meio do cruzamento e, conseqüentemente, bloqueando a passagem dos veículos que desejam prosseguir no sentido Eusébio Matoso – Francisco Morato.

Para simular este comportamento agressivo dos motoristas que partem da Av. Vital Brasil e a formação dos *blocking backs*, foi atribuída prioridade de passagem dos veículos no sentido Vital Brasil – Eusébio Matoso em relação aos veículos no sentido Eusébio Matoso – Francisco Morato, conforme é ilustrado pela Figura 20, retirada do modelo no VISSIM.

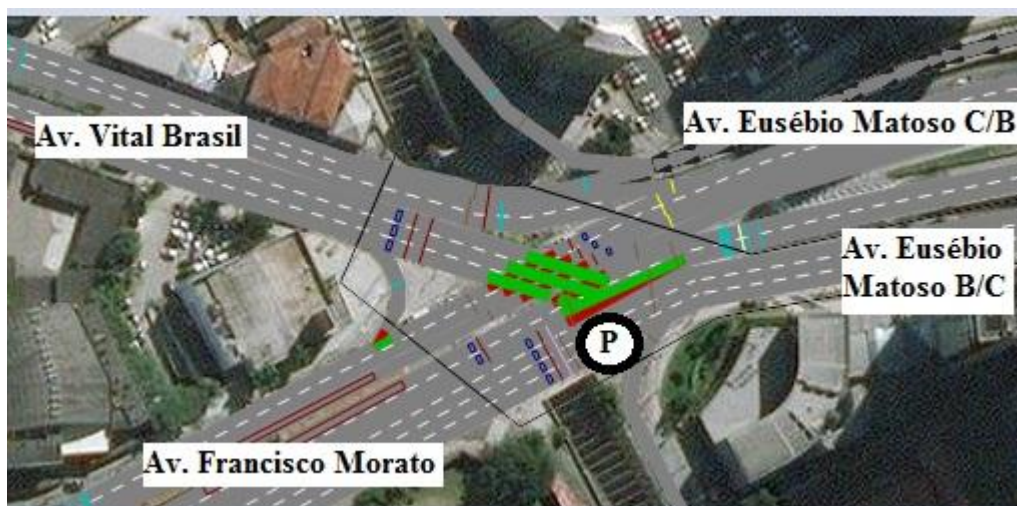


Figura 20 - Prioridades de fluxo definidas para calibração do modelo. Fonte: Elaboração Própria.

Observe que as faixas pintadas em cor verde indicam prioridade no conflito em relação às faixas de cor vermelha. Isso permitiu que os veículos advindos da Av. Vital Brasil avançassem, quando o semáforo lhes estivesse verde, mesmo que a fila acumulada no sentido Av. Francisco Morato - Av. Eusébio Matoso estivesse chegando ao ponto P, mostrado na figura anterior.

### 3.5 Resultados da Calibração

Depois de realizadas todas as etapas descritas anteriormente, com o ajuste dos valores dos dados e com todos os ajustes na modelagem, foram obtidos os seguintes valores, expostos na Tabela 10, após o processo de calibração. É importante lembrar que esses valores são considerados como base de comparação para as intervenções simuladas na região.

CENÁRIO ATUAL: FLUXO DE VEÍCULOS PÓS CALIBRAÇÃO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-

Tabela 10 - Fluxos de veículos no modelo após etapa de calibração. Fonte: Elaboração Própria.

Todo processo de contagem está sujeito a erros. Além disso, os fluxos registrados podem sofrer variações, dependendo do dia, das variações climáticas, da época do ano, dentre outros fatores. Levando-se isso em consideração, foi admitida uma margem de erro em torno de 10%, conforme PERON, L (2015), para mais ou para menos, por tipo de veículo e por sentido de fluxo em relação ao *output* ideal buscado. A Tabela 11 compara os dados expostos nas tabelas Tabela 9 e Tabela 10, mostrando também a proporção entre o fluxo atingido e o buscado durante o processo de calibração.

FLUXO ALVO DA CALIBRAÇÃO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	364,3	73,4	13,9	62,8
Vital	Eusébio	364,3	225,2	8,9	32,4
Francisco	Goldfarb	489,5	143,0	19,3	42,4
Francisco	Eusébio	1307,6	463,4	71,5	72,0
Marginal	Eusébio	936,0	292,0	20,0	-
Eusébio	Marginal	492,0	348,0	20,0	-
FLUXO APÓS A CALIBRAÇÃO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
PROPORÇÃO ENTRE FLUXO OBTIDO E DESEJADO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	101%	100%	86%	97%
Vital	Eusébio	99%	102%	75%	96%
Francisco	Goldfarb	101%	93%	88%	99%
Francisco	Eusébio	102%	97%	93%	99%
Marginal	Eusébio	89%	90%	66%	-
Eusébio	Marginal	149%	75%	152%	-

Tabela 11 - Comparação entre os fluxos obtidos após a calibração e os fluxos desejados. Fonte: Elaboração Própria.

Com esta comparação, devem ser feitas algumas considerações sobre a margem de erro aceitável:

- Como os valores de fluxo de caminhões são muito menores que o fluxo de carros e motos, percebe-se que, para quase todos os sentidos, uma diferença de apenas 2 caminhões entre o número ideal e o buscado leva a erros superiores a 10%. Com isso, para fluxos inferiores a 25 veículos por hora, é razoável aceitar como válida uma diferença de até 7 automóveis entre o valor ideal e o calibrado.
- O fluxo mais difícil de ser calibrado durante o processo foi aquele no sentido Marginal – Eusébio, pois seu valor, inicialmente, chegava a ordem de 40% do que deveria. Quando seu fluxo atingia o valor de 100% ou um pouco mais, os valores dos demais fluxos descalibravam-se completamente. Com isso, depois de inúmeras tentativas de calibração, ter chegado a 89% do valor de fluxo de carros pode ser considerado aceitável.
- Os fluxos no sentido Eusébio – Marginal ficaram com módulos muito diferentes dos contados em campo. Isso pode ter ocorrido em função de um comportamento atípico do tráfego no dia da contagem. Conforme afirmado no item 3.3, minutos após o término da contagem neste acesso, que foi realizada no dia 15 de agosto, começou a chover no local. Além disso, foi um dia predominantemente chuvoso na cidade inteira. Mesmo que o pavimento da região não estivesse molhado antes e durante o período de contagem, pode ter chovido em outros locais da cidade (mais próximos do centro, por exemplo), o que pode ter influenciado na grande diferença entre o valor de fluxo medido e o valor possivelmente normal para a região. Além disso, o fato de os demais fluxos estarem com boa calibração sugere que houve uma atipia na coleta de dados deste acesso.

Realizadas essas considerações, puderam ser aceitos os resultados da Tabela 10 como válidos e como referência para o teste das alternativas de solução propostas.

### 3.6 Diagnóstico da situação atual

Para a adequada análise das soluções, também devem ser considerados outros parâmetros relativos ao tráfego na região, além do fluxo de veículos. Nesta análise, serão considerados os valores de velocidade média, em km/h, e atraso médio, em minutos, dos veículos que percorrerem os sentidos críticos. É importante mencionar que, neste caso, o sentido crítico seria todo o sentido de fluxo que possui grande volume de tráfego e que sofra ou possa sofrer com problemas de congestionamento no horário de pico. A Tabela 12 mostra os valores de velocidade e atraso médios para cada sentido crítico existente.

SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11

*Tabela 12 - Situação atual da região, em termos de velocidade média e atraso médio dos veículos. Fonte: Elaboração Própria.*

A velocidade média e o atraso médio levam em conta o tempo que os veículos ficam parados aguardando o verde dos semáforos. Além disso, para o cálculo do atraso, toma-se como referência o tempo que o veículo realizaria seu percurso se não tivesse qualquer restrição de velocidade, como as provocadas pela formação de filas, além da presença do semáforo no vermelho.

Seria ideal também medir a extensão das filas formadas. Entretanto, como mencionado no item 3.4.2, existem interferências de outros cruzamentos, próximos da região analisada, o que torna muito difícil estimar o tamanho real de fila provocado apenas pelo entrelaçamento isoladamente.

Com as observações de campo realizadas para a coleta de dados e com o término do processo de calibração, foi diagnosticada lentidão no fluxo de veículos no trecho, principalmente para os veículos provenientes da Av.

Francisco Morato e da R. Bento Frias (esta com fluxo no sentido J mostrado na Figura 16) para a Av. Eusébio Matoso. Por outro lado, não foram observados potenciais problemas no fluxo de veículos no sentido Centro-Bairro da Av. Eusébio Matoso no pico da manhã. Por isso, este sentido foi desconsiderado nas análises.

Nas proximidades da R. Bento Frias, foi verificado um gargalo formado entre o fluxo no sentido centro da Av. Eusébio Matoso e o fluxo dos veículos provenientes dessa rua para a Eusébio. Além disso, forma-se um conflito entre os veículos que desejam chegar ao acesso da Marginal (sentido K mostrado na Figura 16) e entre os veículos que desejam sair da Marginal (sentido J da mesma figura, ou seja, os veículos que saem da R. Bento Frias são, em geral, egressos da Marginal Pinheiros). A soma deste gargalo com esse entrelaçamento gera uma grande lentidão que, somada à existência de um semáforo para pedestre no local, torna difícil o tráfego do local, ou um verdadeiro “nó”.

Foi observado, também, que a Av. Vital Brasil opera muito próxima de seu limite de capacidade, de modo que um pequeno incremento de veículos nesta avenida ou uma pequena obstrução no semáforo ao seu fluxo pode gerar a formação de filas, que poderiam se estender até a esquina com o metrô Butantã.

É interessante observar que, inicialmente, o grupo de trabalho pensou que o entrelaçamento fosse causa dos constantes problemas de lentidão na Av. Vital Brasil. Com as observações de campo, no entanto, foi percebido que o gargalo desta avenida ocorre nas proximidades do metrô Butantã, no cruzamento com a R. Pirajussara, o que foge do escopo deste trabalho.

Diagnosticados esses problemas, serão propostas a seguir soluções ITS, estruturais e combinações entre ambas para melhoria nas condições de fluidez, velocidade e atraso na região.

## 3.7 Alternativas propostas

### 3.7.1 Propostas com alteração da rede viária

#### 3.7.1.1 Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros

Ao final da apresentação parcial deste trabalho, o grupo recebeu uma sugestão de um dos avaliadores (Olímpio Barros) para o entrelaçamento em questão, de forma a eliminar parte do conflito entre os veículos: mudar a forma de acesso à Marginal Pinheiros e da Marginal para a Av. Eusébio Matoso.

Nesta proposta, o atual acesso à via expressa seria fechado (mantendo a via apenas como acesso às edificações locais), e duas ruas locais seriam utilizadas como vias de acesso, sendo que a Rua Bento Frias teria que comportar dois trechos de mão dupla (indicados pelas elipses amarelas na Figura 21) e a Rua Pero Leão (via onde está posicionado o cursor de mouse indicado na Figura 21) só seria utilizada para o tráfego no sentido Marginal – Av. Eusébio Matoso, conforme ilustra Figura 21.

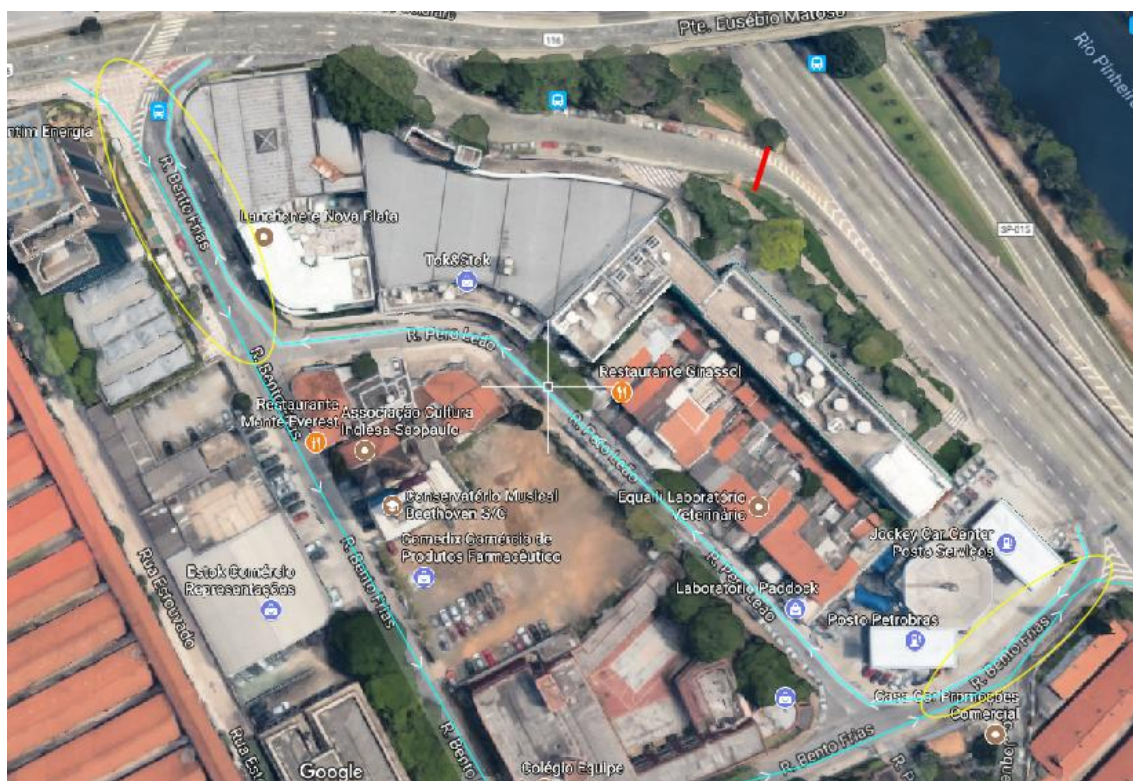


Figura 21 - Modificação nos Acessos. Fonte: Google Street View (modificado)

Para esta modificação, algumas intervenções estruturais seriam necessárias.

A Rua Bento Frias possui, próxima à Marginal Pinheiros (na região indicada pela elipse amarela na parte inferior direita da Figura 21), aproximadamente 6 metros de largura. A Figura 22 mostra uma fotografia da configuração atual do local. Entre o limite do posto (faixa amarela) e a via, há um espaço de 2 metros e meio; como a outra calçada já é muito estreita, fica difícil pensar em reduzi-la para aumentar a largura da via. Com isso, propõe-se a redução do espaço entre o limite do posto e a via, alargando a Rua Bento Frias em 1,4 metro (para que assim tenham-se 3,5m de faixa de rolamento para cada lado com 20 cm de sarjeta).



*Figura 22 - Detalhe de Posto ao lado da Marginal Pinheiros. Fonte: Elaboração própria.*

Também seria necessária a mudança de posicionamento do poste e das placas de informação que constam na Figura 23, para que um pedaço desta calçada seja incorporada à via.

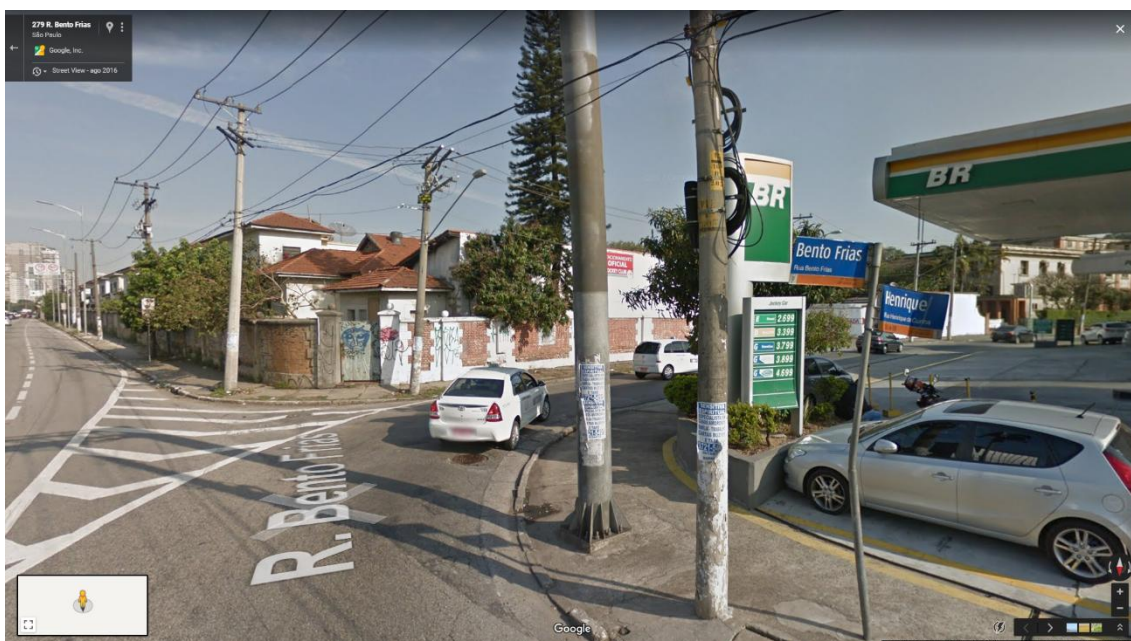


Figura 23 - Detalhe Poste e Placa de informação. Fonte: Google Street View

Após as modificações, o acesso ficaria conforme mostra a Figura 24. Em verde, a área que atualmente é calçada e que seria incorporada à via para ter a largura citada anteriormente. Na parte superior direita aparece a Marginal.

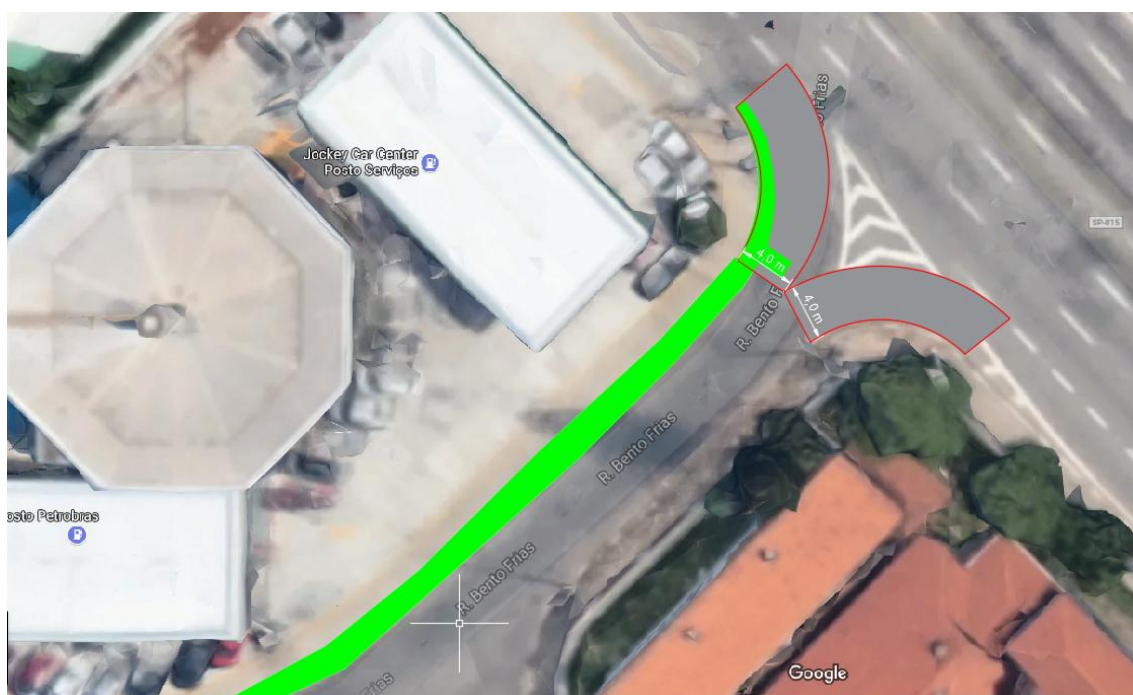


Figura 24 - Mudanças no acesso à Marginal. Fonte: Google Maps (modificado).

No acesso à Marginal pela Av. Eusébio Matoso, também haveriam mudanças a serem feitas:

- Possível remoção de ponto de táxi, na região indicada pela elipse amarela na Figura 25;
- Incorporação de uma parte da calçada/passeio para a criação do acesso dos veículos provenientes das Av. Francisco Morato/Vital Brasil para a Marginal.

A Figura 25 mostra a configuração em planta do acesso com tais modificações:

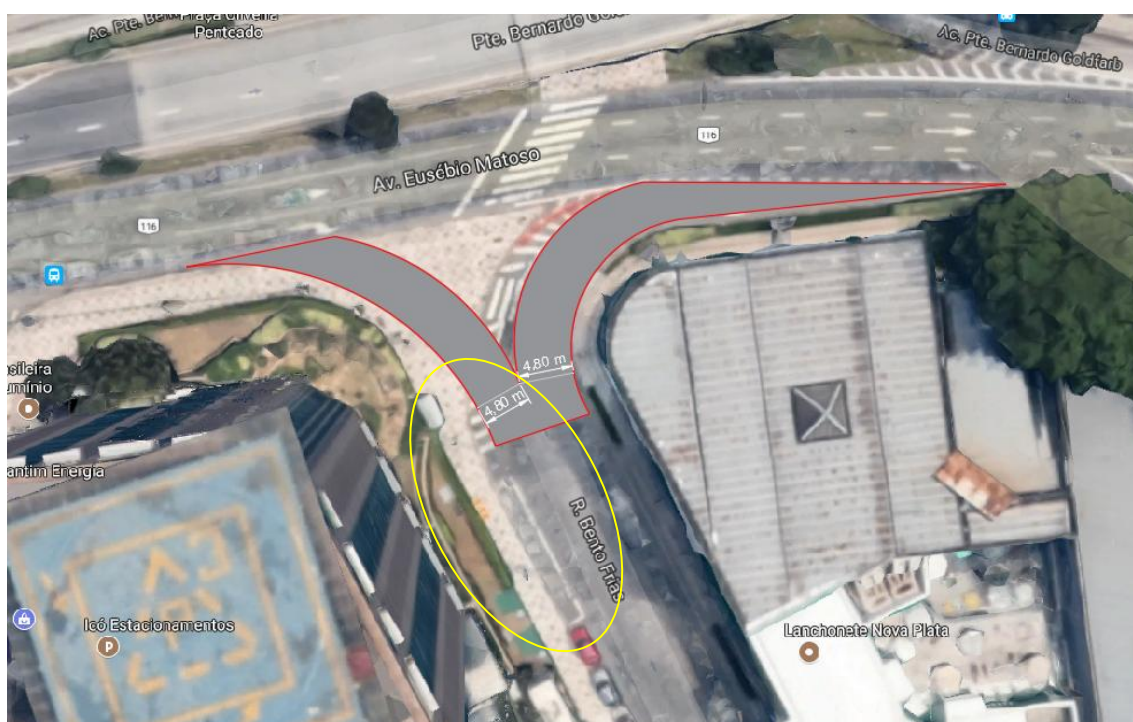


Figura 25 - Novo acesso: Marginal Pinheiros -> Eusébio e Francisco Morato/Vital Brasil -> Marginal Pinheiros. Fonte: Google Maps (modificado).

A Figura 26 ilustra a configuração atual no calçamento próximo ao cruzamento entre a R. Bento Frias e a Av. Eusébio Matoso. A remoção do ponto de táxi, destacado na mesma figura pela elipse amarela, seria necessária para não haver conflito com o grande fluxo de veículos que o trecho passaria a receber numa direção e sentido que atualmente não possui. Além disso, ela mostra que seria necessária a remoção do poste de iluminação próximo à via, bem como de algumas barreiras de contenção e do próprio calçamento de

parte do passeio, para que seja colocado o pavimento adequado para o tráfego futuro.



Figura 26 - Detalhe de ponto de táxi e calçada a ser modificada. Fonte: Google Maps

### 3.7.1.2 Construção de Passarela de Pedestres

Com o intuito de reduzir o tempo de interferência no tráfego, aumentando assim o fluxo dos veículos que circulam pela Av. Eusébio Matoso, foi proposta a construção de uma passarela que possibilitaria a remoção das faixas de pedestres e dos seus respectivos semáforos, próximo à Ponte Bernardo Goldfarb. A NBR 9050 (Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos) foi tomada como referência para verificação da inserção de tal passarela no trecho, que possui pouco espaço disponível.

As dimensões dos pisos e espelhos devem ser constantes em toda a escada, atendendo às seguintes condições:

- a) pisos (p):  $0,28\text{ m} < p < 0,32\text{ m}$ ;
- b) espelhos (e)  $0,16\text{ m} < e < 0,18\text{ m}$ ;
- c)  $0,63\text{ m} < p + 2e < 0,65\text{ m}$ .

Adotamos espelho com 0,17m e piso com 0,30m.

Segundo a norma, a largura mínima de projeto é de 1,2 metro e a mínima recomendável de 1,5 metro. Com isso, foi adotado o valor de 2,0 metros para largura das escadas de acesso e 3,0 metros para largura da passarela propriamente dita. A norma também indica ser necessário, no mínimo, um patamar a cada 3,2m de desnível e sempre que houver mudança de direção – neste caso, 2 patamares (mínimo de 1,20m - adotado 1,25m). Devido ao pouco espaço para pedestre nas proximidades do entrelaçamento, a escada foi feita sem mudança de direção, conforme ilustra seu perfil de projeto indicado na Figura 27.

A NBR 13994 trata sobre elevadores para pessoas com deficiência. Ela exige que se tenha ou elevador ou rampa juntamente com a escada para acesso de pessoas com alguma necessidade especial de mobilidade. Novamente, o pouco espaço disponível torna particularmente inviável a construção de uma rampa, conduzindo, então, à opção por um elevador com

dimensões 1,80m x 1,30m, o que é suficiente para garantir o giro de uma cadeira de rodas no seu espaço interno.

Para a instalação de tal passarela, cujo desenho em planta é ilustrado na Figura 28, mostra-se necessário um reposicionamento de postes presentes na calçada, adentrando-os mais em relação ao passeio, podendo também ser preciso remover/readequar os arbustos, para que fique um espaço adequado para os pedestres transitarem após a implantação da passarela. A Figura 29 mostra a configuração atual do local onde seria implantada a passarela. Nesta imagem, aparece a Av. Eusébio Matoso, no sentido Centro.

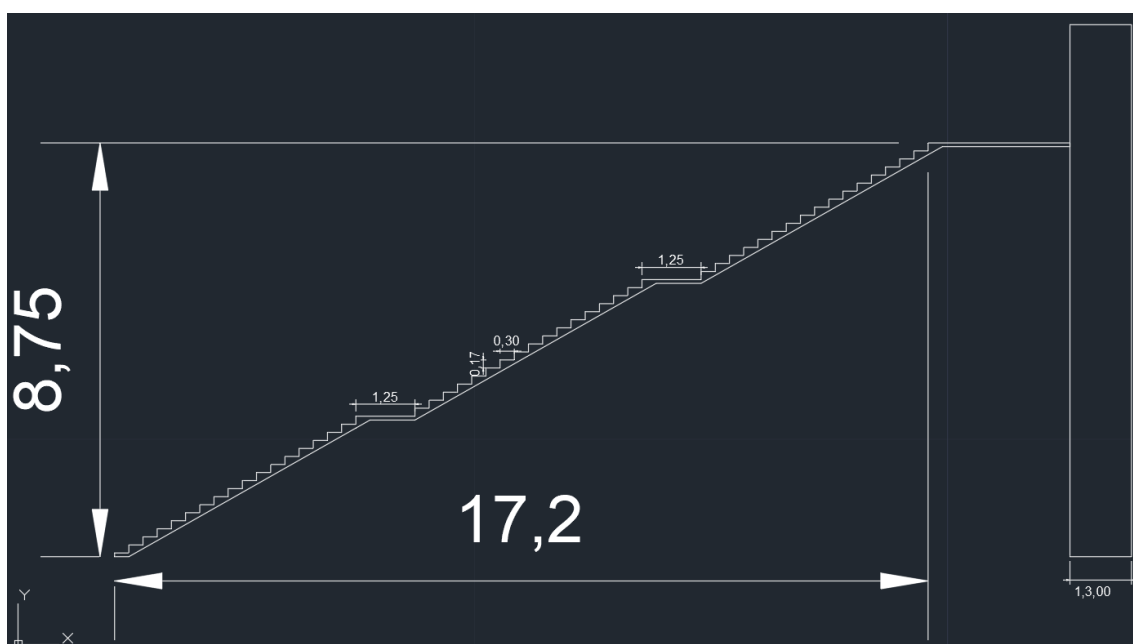


Figura 27 - Detalhe do acesso para passarela com escada e elevador. Fonte: Elaboração Própria.

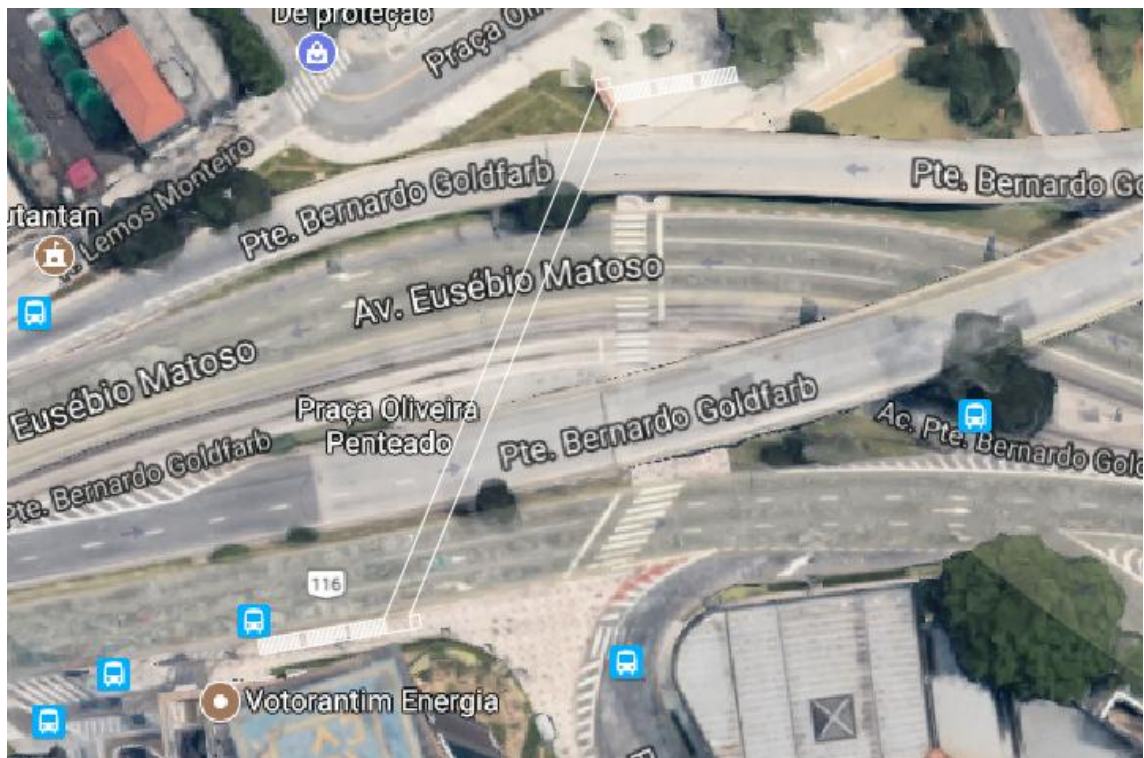


Figura 28 - Vista em Planta da Passarela. Fonte: Google Maps (modificado).

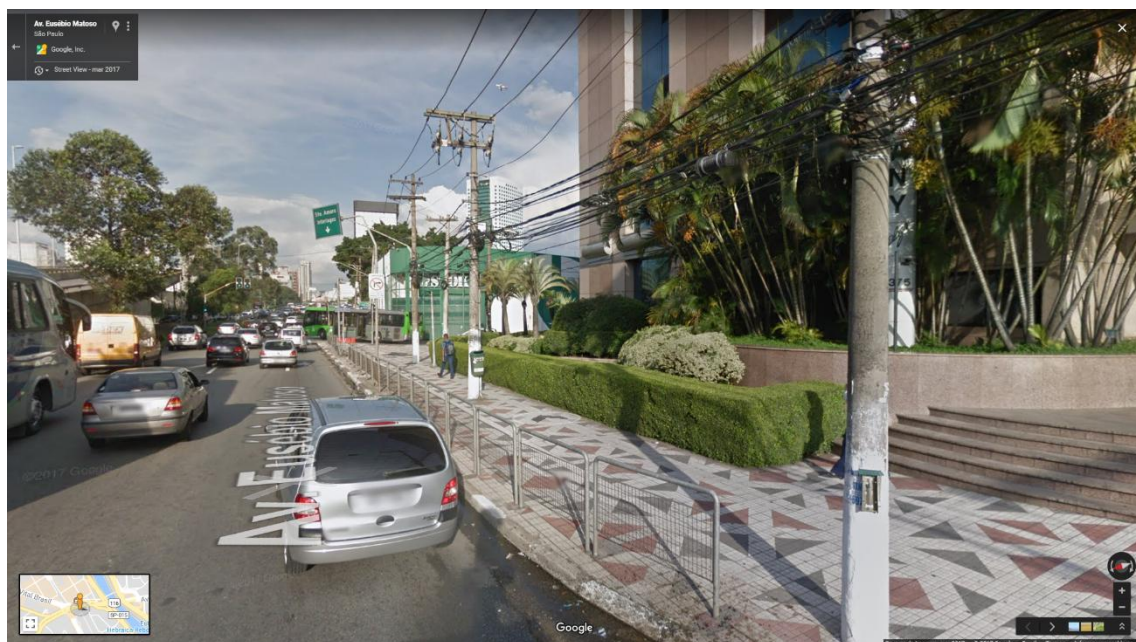


Figura 29 - Postes a serem reposicionados, possível remoção de arbustos. Fonte: Google Street View.



*Figura 30 - Outro acesso à passarela, em frente à Odebrecht. Fonte: Google Street View.*

Buscou-se aqui uma alternativa que possibilite eliminar a faixa de pedestres e seu semáforo, mantendo uma travessia segura, de modo que melhorassem as condições de mobilidade do tráfego urbano. Além disso, no projeto de sua altura, foi considerado o vão livre necessário entre o piso da passarela e a Ponte Bernardo Goldfarb a fim de garantir a passagem dos veículos mais altos.

Vale lembrar que, atualmente, os pedestres também podem realizar sua travessia pelas faixas da Av. Prof. Francisco Morato, Av. Vital Brasil e da Av. Valdemar Ferreira (e vice-versa) para chegarem ao seu destino, com um deslocamento maior e mais demorado.

A viabilidade econômica da passarela, no entanto, foge do escopo do trabalho, pois envolve um estudo mais complexo e possui grande dependência da solução estrutural concebida.

### 3.7.2 Propostas com ferramentas ITS

#### 3.7.2.1 Ramp Metering

Além da inversão das alças de acesso à marginal, outra alternativa foi elaborada para melhora desse mesmo fluxo de veículos. A solução proposta foi a tecnologia chamada de “Ramp Metering”, uma sinalização inteligente que controla a quantidade de veículos que acessam a via principal. Através de um semáforo instalado na via de acesso, o fluxo de veículos realizando esse movimento é controlado, de forma a não sobrecarregar a via principal e evitar congestionamento na mesma. Assim, como pode ser visto na Figura 31, as áreas de lentidão (hachuradas), antes formadas na via principal, passam a afetar apenas a via secundária.

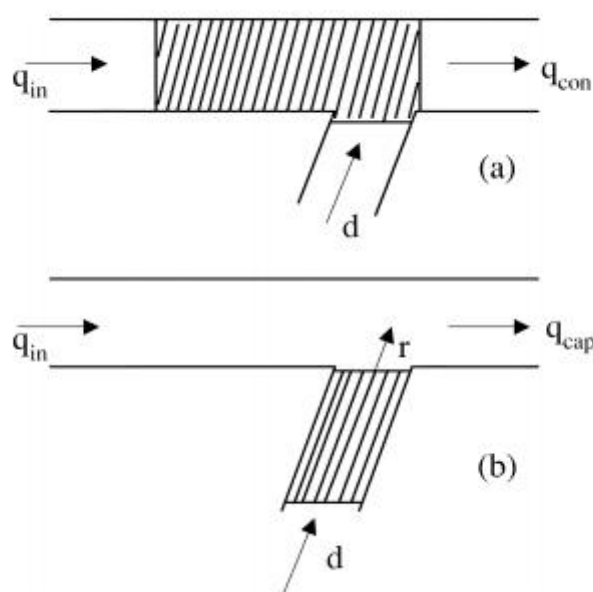


Figura 31 - Dois casos, (a) sem e (b) com a tecnologia de ramp metering.  
Fonte: Papageorgiou et. all (2013)

Portanto, a operação do sistema é melhorada ao aumentar a velocidade de fluxo da via principal, reduzindo o tempo de viagem. Além disso, a segurança do cruzamento é melhorada ao reduzir o risco de acidentes.

Essa tecnologia pode utilizar dois tipos de algoritmo, conforme o trabalho de Papageorgiou *et al* (2013): Tempo fixo ou Reativo. O primeiro deles é baseado em modelos estatísticos simples e prevê a partir de uma

demanda histórica o funcionamento da sinalização. O segundo tenta manter as condições da via principal próxima a valores pré-estabelecidos através de medições em tempo real. No caso deste trabalho, serão utilizados valores pré-estabelecidos pelo VISSIM. Serão utilizados os valores mínimos de brecha crítica de 3 segundos e 5 metros. Ou seja, o veículo localizado na via secundária só terá seu acesso liberado à via principal se houver uma diferença mínima de 3 segundos entre dois veículos consecutivos na via principal e se a distância entre a traseira do veículo da frente e a dianteira do veículo de trás for superior a 5 metros (este valor de distância é relativamente pequeno numa ocasião comum. Entretanto, ele é útil para evitar pioras em caso de lentidão na via principal).

Vale ressaltar que essa tecnologia nunca foi utilizada no Brasil e, portanto, a maior parte dos motoristas não conhece o seu funcionamento. Sendo assim, é provável que muitos usuários, ao se depararem com um semáforo com tempos de verde variáveis, concluíssem equivocadamente que se tratasse de um semáforo estragado. Portanto, seria necessário um período de adaptação e conscientização da população a respeito do assunto.

### **3.7.2.2 Epics e Balance**

A tecnologia do Epics e Balance visa otimizar os tempos semaforicos de modo a maximizar o fluxo no local estudado ou a priorizar um determinado fluxo desejado, como o transporte público, por exemplo. Neste trabalho, como a região trabalhada já possui faixa e corredor de ônibus, o objetivo do uso dessa ferramenta ITS será a maximização dos resultados de fluxo no entrelaçamento viário.

O funcionamento do Epics e do Balance presumem a colocação de sensores no viário, próximo dos semáforos, para a detecção da presença dos veículos. Com isso, o algoritmo do Epics calcula em tempo real a duração ideal de verde para um determinado grupo semaforico, enquanto o Balance calcula a combinação dos diversos grupos para otimizar as condições de trafegabilidade da região como um todo. A forma de modelagem e demais princípios básicos de funcionamento desta solução estão descritas nas seções 2.3.2 e 2.3.3.

## 4. Soluções Simuladas

As soluções exploradas neste trabalho abordam três principais categorias: as soluções ITS, as soluções Estruturais e as soluções Mistas.

Nas soluções ITS buscou-se o uso exclusivo de tecnologias ITS para a proposição de melhorias no entrelaçamento. Com isso, as soluções desse grupo tendem a ter o menor custo de implementação, pois não exige grandes intervenções físicas sobre o pavimento (as únicas intervenções físicas que poderiam existir seria a colocação de sensores nas pistas e a substituição do controlador semafórico, o que geraria muito pouco ou nenhum transtorno com obras na região).

Nas soluções estruturais, buscou-se agrupar aquelas em que seja necessária a alteração nas configurações de ruas ou a construção de nova infraestrutura, como a passarela de pedestres. Com isso, o grupo desse tipo de solução tende a ser mais custoso e, durante sua execução, a tendência é a existência de transtornos para o tráfego local.

Por fim, nas soluções mistas, buscou-se combinar os elementos mais eficientes das soluções ITS e estruturais, buscando reunir fluidez e segurança para o deslocamento, tanto de automóveis quanto de pedestres.

Para a apresentação das soluções, foram considerados os sentidos mais críticos de fluxo, ou seja, aqueles que atualmente mais sofrem com maiores problemas durante o pico da manhã. Para facilitar a visualização do leitor, foram adotadas as seguintes nomenclaturas relativas a tais fluxos, ilustradas na Figura 32. Ela mostra, inclusive, os sentidos de acesso e saída da Marginal Pinheiros.



Figura 32 – Ilustração dos sentidos considerados na análise. Fonte: Adaptado de Google Maps

Nas tabelas que serão mostradas adiante, a visualização da Figura 32 mostra-se importante para a compreensão dos pares origem/destino consideradas nas análises. É importante reforçar que os fluxos críticos, durante o pico da manhã, têm como origem, fundamentalmente, a Vital, a Francisco e a saída da Marginal, e como destino, a Eusébio, a Goldfarb e o acesso à Marginal.

## 4.1 Soluções ITS

As soluções ITS mais convenientes adotadas para a região foram o uso do Epics e Balance, algoritmos de otimização da PTV, e da tecnologia do Ramp Metering. Apesar de este trabalho não avaliar todos os detalhes da viabilidade financeira de implementação das soluções, as soluções ITS tendem a serem as mais baratas, afinal, exigem muito pouco ou nenhuma demolição, obra ou bloqueio viário durante sua implementação.

### 4.1.1 Solução 1A – Epics & Balance

A primeira medida ITS testada visando melhoria das condições de trafegabilidade no entrelaçamento semaforizado foi a implantação dos algoritmos de otimização semafórica Epics e Balance. Essa alternativa foi avaliada primeiramente porque, além de não compreender intervenções estruturais nas vias da região (o que traria menor custo), seria uma solução inovadora no Brasil, visto que há muito poucos trabalhos acadêmicos

realizados com o uso do mesmo. No entanto, será avaliada também a aplicabilidade desta solução ao cenário existente, pois, apesar de ser uma solução indicada para trechos urbanos semaforizados, pelo fato de ser nova, não se conhece casos específicos onde seu uso pode ou não gerar benefícios.

A seguir estão descritos os passos adotados para a implantação desta solução no simulador, bem como os resultados advindos da configuração semafórica alterada pelos algoritmos de otimização.

### **Configuração dos estágios semafóricos**

A primeira providência a ser tomada para a aplicação do Epics e do Balance na região foi alterar algumas configurações básicas dos semáforos no Vissig.

O Vissig possui dois modos de trabalhar com a programação semafórica.

O primeiro baseado em grupos semafóricos, ou *Signal group based*, em que todos os grupos de movimento são colocados em um único programa semafórico. Este modo foi utilizado para a calibração inicial do trecho, visto que todos os tempos semafóricos de cada movimento eram conhecidos e fixos dentro do período analisado. Com este modo, todos os semáforos dentro do simulador são controlados por um único controlador e os tempos semafóricos são considerados fixos para uma mesma simulação, o que torna impossível uma otimização dinâmica do tráfego ao longo do período de uma mesma simulação, conforme a demanda local.

O segundo baseado em estágios semafóricos, ou *Stage based*, em que apenas os grupos conflitantes são colocados em um mesmo programa semafórico. Com este modo, os tempos semafóricos podem variar dentro de uma mesma simulação, permitindo uma otimização dinâmica dos fluxos conforme a demanda local. Tendo isso em vista, para a aplicação da solução com uso do Epics e Balance, fez-se necessário configurar a rede no modo *Stage based*, já que estes módulos da PTV buscavam otimizar os tempos conforme o andamento das simulações.

### **Tempos controlados pelo Epics e Balance**

Os controladores do VISSIM, inicialmente, consideram os tempos semafóricos como fixos, ou *fixed time*. Para que o algoritmo dos otimizadores pudessem entrar em funcionamento, os controladores tiveram que ser configurados no modo Epics/Balance-Local. Com isso, os tempos semafóricos seriam otimizados dinamicamente pelos algoritmos do Epics em conjunto com os do Balance.

### **Colocação de Detectores**

Conforme exposto na seção 2.3.2.2, é necessária a colocação de sensores para detecção da presença dos veículos próximos aos semáforos e, então, a ativação dos algoritmos de otimização do Epics (e também, por consequência, os do Balance, posteriormente). Em conformidade com o mencionado na mesma seção, seguindo o adotado no trabalho de Weichenmeier & Hildebrandt (2015), os sensores foram colocados a uma distância de cerca de 50 metros dos semáforos com fluxos críticos.

Como o fluxo do transporte público na região não enfrenta grandes problemas, devido à presença das faixas exclusivas, cada veículo detectado recebeu o mesmo peso na ponderação realizada pelo Epics para realizar a otimização. Deste modo, naturalmente a via com maior fluxo tende a ser mais beneficiada pela otimização.

### **Resultados e Conclusões**

Durante as sucessivas simulações, os algoritmos do Epics e Balance buscaram atualizar dinamicamente os tempos semafóricos, conforme fosse necessário. Com isso, não se pôde obter uma programação fixa como configuração ótima. Diante disso, os indicadores utilizados são o fluxo, a velocidade média e o tempo de atraso para cada fluxo crítico da região, que são os mesmos adotados para todas as demais soluções apresentadas posteriormente.

Os resultados após a implementação das soluções estão apresentados na Tabela 13 e na Tabela 14. Seguem apresentados os valores dos fluxos,

primeiramente, e os valores das velocidades médias e atrasos, posteriormente, comparando-se aos respectivos valores referentes ao cenário atual.

CENÁRIO: EPICS-BALANCE					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	330,3	61,7	12,3	46,7
Vital	Eusébio	327,8	193,8	5,3	24,7
Francisco	Goldfarb	518,7	140,0	18,0	42,0
Francisco	Eusébio	1393,8	480,3	69,0	71,7
Marginal	Eusébio	807,0	248,7	13,0	-
Eusébio	Marginal	739,8	257,7	31,3	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
EPICS-BALANCE					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	-9,9%	-16,3%	2,8%	-23,5%
Vital	Eusébio	-9,4%	-15,7%	-20,0%	-20,4%
Francisco	Goldfarb	4,4%	4,7%	5,9%	0,0%
Francisco	Eusébio	4,8%	6,7%	4,0%	0,2%
Marginal	Eusébio	-2,6%	-5,2%	-1,3%	-
Eusébio	Marginal	1,1%	-1,8%	3,3%	-

Tabela 13 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Epics e Balance. Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados mostram que o algoritmo dos otimizadores, conforme era de se esperar, priorizou o fluxo de veículos na Av. Francisco Morato, onde há maior intensidade. Entretanto, gerou piora nos resultados dos fluxos provenientes da Av. Vital Brasil. Como o fluxo proveniente da Av. Francisco Morato é superior ao proveniente da Av. Vital Brasil, o algoritmo cumpriu seu papel de melhorar o fluxo global, no entanto, podendo gerar problemas em vias onde não havia congestionamento, sem solucionar o problema na via principal. Mais adiante, outros detalhes envolvendo a aplicação desta solução serão detalhados.

A Tabela 14, por sua vez, mostra os novos valores obtidos para os atrasos e velocidades médias no local com a aplicação do Epics e Balance.

CENÁRIO: EPICS-BALANCE		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,82	2,86
Francisco - Marginal	8,51	3,26
Francisco - Goldfarb	12,86	1,35
Vital - Eusébio	5,51	5,92
Vital - Marginal	4,93	6,49
Vital - Goldfarb	4,01	5,64
Marginal - Eusébio	5,83	2,17
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
EPICS-BALANCE		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	-0,6%	0,7%
Francisco - Marginal	1,3%	-2,1%
Francisco - Goldfarb	0,4%	0,8%
Vital - Eusébio	-57,6%	176,6%
Vital - Marginal	-56,2%	153,0%
Vital - Goldfarb	-67,6%	248,7%
Marginal - Eusébio	-3,4%	2,7%

Tabela 14 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Epics e Balance. Fonte: Elaboração Própria.

Como é possível constatar a partir desta tabela, a redução do fluxo na Av. Vital Brasil piorou drasticamente as condições de velocidade média e atraso médio nesta avenida, sem haver, no entanto, um aumento significativo das velocidades e uma redução significativa do atraso na Av. Francisco Morato. Isso pode ser explicado pelo fato de este sistema de semaforização inteligente não eliminar o gargalo existente próximo à R. Bento Frias. Com isso, os veículos provenientes da Av. Vital Brasil e da Av. Francisco Morato continuaram não conseguindo prosseguir seu percurso até a Av. Eusébio Matoso ou até a Marginal Pinheiros sem o atraso provocado pelo gargalo. Isso

leva à conclusão que o principal problema na região do entrelaçamento encontra-se nas proximidades do acesso à Marginal. A Figura 33 ilustra esta situação, durante uma simulação com o uso do Epics e Balance.



*Figura 33 - Situação da região durante o uso do Epics e Balance. Destaque para a região da elipse amarela, local onde se concentra o principal gargalo da região. Fonte: Elaboração Própria.*

Como pode ser visto na Figura 34, destacado pela elipse amarela, o maior problema da região encontra-se nas proximidades do acesso à Marginal, onde existe o gargalo entre os veículos que desejam prosseguir rumo à Ponte Eusébio Matoso, somado ao conflito existente entre os veículos que saem da R. Bento Frias (canto direito inferior) e aqueles que desejam entrar na R. Henrique da Cunha (canto direito) para acessar a Marginal.

Também pode ser visto, a partir da Figura 33, que as filas formadas nas Avenidas Vital Brasil e Francisco Morato não diminuíram de comprimento, o que mostra que uma semaforização otimizada na região não gera benefícios significativos. Ao contrário, gera filas maiores na Av. Vital Brasil, que até então apresentava filas de tamanho aceitável, prejudicando as vias transversais a ela.

Obtidos os resultados e conclusões da Solução 1A, as próximas alternativas de solução buscarão atacar o problema existente nos conflitos presentes nas proximidades da R. Bento Frias.

#### **4.1.2 Solução 1B – Ramp Metering**

As propostas de solução daqui por diante buscarão diminuir os conflitos ocorrentes nas proximidades do acesso à Marginal Pinheiros. É importante considerar as alternativas que, além de atacar o problema do congestionamento, sejam viáveis economicamente. Diante disso, a primeira

proposta de solução considera a alternativa do uso do Ramp Metering na R. Bento Frias, mantendo a configuração semafórica atual no entrelaçamento, pois é uma medida não estrutural (portanto, não seria necessário mudar significativamente a configuração de nenhuma rua ou avenida) com custo de implementação relativamente baixo.

Observe o funcionamento desta solução na Figura 34. O veículo presente na saída da R. Bento Frias, destacado por uma elipse amarela, aguarda a liberação da sinalização do Ramp Metering. A configuração adotada admite brechas mínimas de 5 metros e 3 segundos para permitir a passagem do veículo destacado à Av. Eusébio Matoso. No caso mostrado na Figura 34, os valores mínimos de brechas não foram superados ainda. Já na Figura 35, com as brechas mínimas superadas, o veículo destacado é liberado pelo Ramp Metering a prosseguir seu percurso. Caso os valores de brecha sejam inferiores às mínimas, para o veículo que está logo atrás do destacado, o sistema impedirá sua passagem. Caso não, o sistema permitirá sua passagem. Este sistema funcionaria de modo semelhante a um semáforo, porém, sem a fase amarela.



*Figura 34 - Sistema de Ramp Metering bloqueado a passagem dos veículos da R. Bento Frias enquanto as condições de brecha mínima não são satisfeitas. Fonte: Elaboração Própria.*



*Figura 35 - Sistema de Ramp Metering liberando a passagem dos veículos da R. Bento Frias enquanto as condições de brecha mínima são satisfeitas. Fonte: Elaboração Própria.*

É importante destacar também que, enquanto o semáforo para pedestres na Av. Eusébio Matoso está no vermelho para os automóveis, o sistema de Ramp Metering libera livremente a passagem dos veículos na R. Bento Frias. A Figura 36 ilustra essa situação.



*Figura 36 - Sistema de Ramp Metering liberando a passagem dos veículos da R. Bento Frias. Neste caso, não é necessário verificar as condições de brecha mínima, pois o semáforo da Av. Eusébio Matoso encontra-se fechado para veículos. Fonte: Elaboração Própria.*

Observe nesta figura que a barra vermelha perpendicular à Av. Eusébio Matoso e próxima da R. Bento Frias ilustra que o semáforo está fechado para os veículos da avenida. Note que a mesma barra está com cor verde nas figuras Figura 34 e Figura 35, indicando que o semáforo da Av. Eusébio Matoso encontra-se aberto.

Após sucessivas simulações com aplicação do Ramp Metering, foram obtidos os resultados de fluxos, velocidades e atrasos médios mostrados nas Figura 35 e Figura 36.

A partir da Tabela 15 podem-se ver excelentes resultados com a aplicação do Ramp Metering em comparação à aplicação do Epics e Balance. É possível notar uma fluidez muito maior na Av. Francisco Morato, bem como para todos os veículos que desejam acessar a Marginal. O impacto desta medida na Av. Vital Brasil, por outro lado, praticamente não existiu, já que este entrelaçamento, conforme observado em campo, não lhe causa grandes prejuízos a sua fluidez. O inconveniente desta medida, no entanto, ocorre para os veículos da R. Bento Frias, pois houve uma redução média de fluxo superior a 30%, conforme indicado na tabela, a partir da linha com origem na Marginal e destino à Av. Eusébio Matoso. Isso se deve ao fato de o sistema controlar a passagem de veículos para a Av. Eusébio Matoso, de modo a não prejudicar seu fluxo, mesmo que isso possa gerar prejuízos à via secundária.

CENÁRIO: RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	365,3	73,3	11,7	62,7
Vital	Eusébio	361,0	229,7	6,7	32,0
Francisco	Goldfarb	677,3	184,3	25,3	42,0
Francisco	Eusébio	1836,2	626,3	90,5	71,5
Marginal	Eusébio	558,8	169,0	9,3	-
Eusébio	Marginal	926,3	323,3	39,0	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL:					
Δ Fluxo de veículos					
RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	-0,4%	-0,5%	-2,8%	2,7%
Vital	Eusébio	-0,2%	-0,1%	0,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	36,3%	37,9%	49,0%	0,0%
Francisco	Eusébio	38,1%	39,2%	36,4%	0,0%
Marginal	Eusébio	-32,6%	-35,6%	-29,1%	-
Eusébio	Marginal	26,6%	23,2%	28,6%	-

Tabela 15 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Ramp Metering. Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados presentes na Tabela 16 também mostram a grande melhoria na fluidez da Av. Francisco Morato, com aumentos de velocidade média e reduções de atraso surpreendentes. Com a eliminação do gargalo, os veículos da Av. Vital Brasil também tiveram seu tempo de viagem fortemente reduzido. Novamente, o inconveniente da aplicação desta medida se dá para os veículos da R. Bento Frias, que tiveram sua velocidade média ainda mais reduzida quando comparado à implantação da solução 1A.

CENÁRIO: RAMP METERING		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	21,45	0,96
Francisco - Marginal	22,07	0,87
Francisco - Goldfarb	19,87	0,71
Vital - Eusébio	19,86	1,13
Vital - Marginal	20,52	1,02
Vital - Goldfarb	16,24	1,02
Marginal - Eusébio	4,28	3,14
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
RAMP METERING		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	117,0%	-66,3%
Francisco - Marginal	162,7%	-73,9%
Francisco - Goldfarb	55,0%	-47,0%
Vital - Eusébio	53,0%	-47,1%
Vital - Marginal	82,1%	-60,3%
Vital - Goldfarb	31,3%	-37,0%
Marginal - Eusébio	-29,2%	49,0%

Tabela 16 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Ramp Metering. Fonte: Elaboração Própria.

Essa análise prova que o maior problema na região se deve ao gargalo gerado nos conflitos presentes próximos à R. Bento Frias. Isso mostra, também, que uma medida ITS, neste caso, deve atacar os problemas envolvidos neste conflito, e não o sistema de semaforização como um todo, do modo como o Epics e o Balance atacaram.

A avaliação destes resultados também mostra que a alteração nos fluxos pode não refletir alguns ganhos importantes. Como exemplo, é possível visualizar que o fluxo na Av. Vital Brasil quase não foi alterado, uma vez que a via operava dentro de sua capacidade, mas a velocidade média dos veículos que desejam sair da Av. Vital Brasil e ir à Marginal teve um grande aumento, o que ocorreu em função da eliminação do gargalo existente próximo à R. Bento

Frias. Desta forma, o impacto da implementação desta solução pode ser melhor retratado a partir dos dados relativos a velocidades e atrasos médios.

O maior problema da implantação desta medida reside no fato de haver uma grande redução na velocidade média e no fluxo de veículos da R. Bento Frias, que são provenientes da Marginal Pinheiros. Com isso, faz-se necessário analisar o impacto da implantação desta solução sobre o tráfego da Marginal, pois, caso isso lhe ocasione muitos prejuízos a sua fluidez, outra medida deve ser tomada, já que a via expressa possui maior hierarquia funcional. Essa análise, no entanto, não faz parte do escopo deste trabalho, visto que demandaria muito mais tempo e fugiria das dimensões ideais de um trabalho de formatura.

## **4.2 Soluções Estruturais**

As soluções estruturais reúnem aquelas cuja implementação exige a execução de obras mais pesadas, como a implantação de novas estruturas, como passarelas de pedestres, e alterações no pavimento e calçamento. Naturalmente, essas alternativas de solução tendem a gerar mais transtornos durante sua implantação e tendem a ser mais custosas, com a contrapartida de que tendem a trazer maiores benefícios para o tráfego da região.

As soluções aqui apresentadas serão a modificação no acesso à Marginal Pinheiros e a construção de uma passarela de pedestres próximo à R. Bento Frias. Nesta seção serão expostos apenas os impactos dessas intervenções no fluxo, na velocidade média e no atraso médio dos veículos. Os detalhes sobre as características físicas das mesmas estão expostos na seção 3.7.1.

### **4.2.1 Solução 2A – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros**

A alteração no acesso à Marginal Pinheiros, embora seja considerada estrutural, não envolve a demolição, alteração ou construção de grandes estruturas, como pontes e viadutos. Entretanto, conforme mostrado no item 3.7.1.1, exige a reconfiguração do calçamento e do pavimento local.

A Tabela 17 mostra os resultados da modificação no acesso sobre o fluxo de veículos, sem qualquer alteração em algum grupo semafórico ou uso de tecnologia ITS. Com seus resultados, é possível observar que os impactos gerados no fluxo total de veículos foram semelhantes (porém, até um pouco piores) àqueles gerados pela implementação do Ramp Metering: houve grande melhora no fluxo proveniente da Av. Francisco Morato e no fluxo de todos os veículos rumo à Marginal; não houve mudanças significativas no fluxo de veículos provenientes da Av. Vital Brasil; houve grande piora no fluxo dos veículos provenientes da Marginal.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,3	11,7	62,0
Vital	Eusébio	361,7	229,7	6,3	32,0
Francisco	Goldfarb	667,0	178,7	24,7	42,0
Francisco	Eusébio	1795,5	615,5	89,0	71,5
Marginal	Eusébio	547,5	166,7	9,7	-
Eusébio	Marginal	913,0	317,3	39,0	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
MODIFICAÇÃO NO ACESSO					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	0,0%	-0,5%	-2,8%	1,6%
Vital	Eusébio	0,0%	-0,1%	-5,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	34,3%	33,7%	45,1%	0,0%
Francisco	Eusébio	35,0%	36,8%	34,2%	0,0%
Marginal	Eusébio	-33,9%	-36,5%	-26,6%	-
Eusébio	Marginal	24,8%	20,9%	28,6%	-

Tabela 17 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros. Fonte: Elaboração Própria.

A partir da análise dos fluxos, seria possível imaginar que os resultados de velocidades e atrasos médios também fossem similares, porém um pouco

piores, aos apresentados a partir do uso do Ramp Metering. Os dados da Tabela 18, contudo, mostram que praticamente não houve alteração na velocidade média dos veículos provenientes da Marginal. Como houve também melhoras nos demais sentidos, embora em menor proporção que com o uso do Ramp Metering, pode-se dizer que, em termos de velocidades médias e atrasos, houve um benefício generalizado para a região com a modificação no acesso.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	17,84	1,28
Francisco - Marginal	21,89	0,84
Francisco - Goldfarb	19,33	0,74
Vital - Eusébio	15,30	1,69
Vital - Marginal	17,11	1,31
Vital - Goldfarb	13,31	1,37
Marginal - Eusébio	6,05	2,09
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
MODIFICAÇÃO NO ACESSO		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	80,5%	-55,1%
Francisco - Marginal	160,5%	-74,8%
Francisco - Goldfarb	50,8%	-44,6%
Vital - Eusébio	17,9%	-21,1%
Vital - Marginal	51,9%	-48,9%
Vital - Goldfarb	7,7%	-15,5%
Marginal - Eusébio	0,1%	-1,1%

Tabela 18 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o a modificação no acesso à Marginal Pinheiros. Fonte: Elaboração Própria.

Com os resultados apresentados nas duas últimas tabelas, é possível ver que a modificação no acesso à Marginal traria muitos benefícios ao tráfego da região, apesar de não ser uma intervenção relativamente barata.

Assim como no caso de implementação do Ramp Metering, deve-se ter cuidado ao avaliar o impacto da modificação no acesso sobre a Marginal, pois, neste caso, também houve redução do fluxo de veículos provenientes da R. Bento Frias.

#### **4.2.2 Solução 2B – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres**

Além do conflito atual existente nas proximidades desta rua, a presença de um semáforo logo no início da Av. Eusébio Matoso também gera prejuízos ao tráfego proveniente das Avenidas Vital Brasil e Francisco Morato. A existência deste semáforo se justifica pela constante presença de pessoas desejando atravessar a Av. Eusébio Matoso naquele ponto.

As soluções anteriores não previam mudanças no semáforo de pedestres existente próximo à R. Bento Frias. A construção de uma passarela para pedestres no sentido centro poderia dar maior fluidez aos veículos da Av. Francisco Morato, que possui atualmente os maiores prejuízos com o tráfego na região, e maior segurança aos pedestres do local, pois eliminaria a necessidade de um semáforo e isolaria o fluxo de veículos do fluxo de pedestres.

No entanto, a colocação isoladamente da passarela sem qualquer outra intervenção não se justifica porque ela por si só não eliminaria o gargalo de fluxos existente, além de ser uma medida relativamente custosa.

Neste sentido, foi avaliada a implementação da passarela de pedestres aliada à modificação no acesso à Marginal em termos de fluxo de veículos, velocidades e atrasos médios no tráfego. Outras avaliações também seriam pertinentes, como, por exemplo, os benefícios reais que a implantação dessa passarela traria aos pedestres (eg. redução do número de acidentes envolvendo pedestres na região). Essas avaliações, no entanto, não fazem parte do escopo do trabalho e demandariam esforços que não seriam compatíveis com um trabalho de formatura.

Aspectos relacionados à configuração do local com a implantação da passarela e à geometria da mesma estão apresentados na seção 3.7.1.2. Em

termos de simulação dos efeitos sobre o tráfego, com a presença da passarela, bastou eliminar das simulações o semáforo de pedestres próximo à R. Bento Frias.

A Tabela 19 apresenta os resultados dos fluxos com a aplicação da modificação no acesso à Marginal somada à implementação da passarela de pedestres. É possível visualizar que, para a Av. Vital Brasil, houve mudanças pouco significativas, enquanto que, para a Av. Francisco Morato e para a Av. Eusébio Matoso, houve expressiva melhora nos resultados. Para os veículos provenientes da Marginal, por outro lado, houve considerável piora nos resultados em comparação com o cenário atual.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,0	11,7	63,0
Vital	Eusébio	362,3	230,0	6,7	32,0
Francisco	Goldfarb	671,0	179,7	25,0	42,0
Francisco	Eusébio	1804,5	621,8	89,0	71,5
Marginal	Eusébio	657,3	193,3	10,7	-
Eusébio	Marginal	915,5	321,2	39,0	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	0,0%	-0,9%	-2,8%	3,3%
Vital	Eusébio	0,1%	0,0%	0,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	35,1%	34,4%	47,1%	0,0%
Francisco	Eusébio	35,7%	38,2%	34,2%	0,0%
Marginal	Eusébio	-20,7%	-26,3%	-19,0%	-
Eusébio	Marginal	25,1%	22,3%	28,6%	-

Tabela 19 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.

Existe, porém, um detalhe a ser notado. Com a implantação da passarela, não existiria mais o semáforo para pedestres próximo à R. Bento Frias. Com isso, a princípio, poderia haver menos brechas para os veículos provenientes desta rua. Logo, a tendência seria que o fluxo de veículos provenientes da Marginal fosse inferior no caso da solução 2B em comparação com a solução 2A. Uma comparação entre a Tabela 19 e a Tabela 17 mostra o oposto, no entanto. Ou seja, para a fluidez da região como um todo, é melhor a associação da construção da passarela à modificação no acesso.

A Tabela 20 mostra os resultados relativos às velocidades e atrasos médios obtidos com esta solução.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	19,16	1,15
Francisco - Marginal	21,78	0,85
Francisco - Goldfarb	19,66	0,72
Vital - Eusébio	17,51	1,37
Vital - Marginal	19,12	1,09
Vital - Goldfarb	14,70	1,18
Marginal - Eusébio	7,38	1,72
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	93,9%	-59,6%
Francisco - Marginal	159,2%	-74,5%
Francisco - Goldfarb	53,4%	-46,2%
Vital - Eusébio	34,9%	-35,8%
Vital - Marginal	69,8%	-57,4%
Vital - Goldfarb	18,8%	-27,3%
Marginal - Eusébio	22,2%	-18,5%

*Tabela 20 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.*

É interessante observar que essa solução melhoraria esses parâmetros em todos os sentidos avaliados. Comparando-se os resultados da Tabela 20 com os da Tabela 18, é possível ver que a implantação da passarela praticamente não alteraria as velocidades e os atrasos dos veículos provenientes da Av. Francisco Morato, exceto àqueles que se dirigissem à Av. Eusébio Matoso, para os quais houve significativa melhora. Pode-se notar, também, que a passarela aumentaria consideravelmente as velocidades para os veículos da Av. Vital Brasil e teria um impacto muito positivo para aqueles provenientes da Marginal.

Com essas análises, é possível concluir que, caso fosse adotada a medida de modificação no acesso à Marginal, ela geraria mais benefícios se fosse associada à construção da passarela de pedestres na Av. Eusébio Matoso, no sentido Centro. Ou seja, dependendo do caso, melhorar as condições de fluidez na via principal (Av. Eusébio Matoso, com a passarela), pode ajudar a melhorar a fluidez na via transversal (R. Bento Frias).

Entretanto, em comparação com o cenário atual, ainda haveria redução no fluxo dos veículos provenientes da R. Bento Frias. Isso pode ser explicado pelo fato de que, com a modificação no acesso, haveria apenas uma faixa de rolamento nesta rua disponível para acomodação dos veículos que desejassem acessar a Av. Eusébio Matoso. Com isso, faz-se necessário estudar o impacto da implementação deste conjunto de soluções no fluxo da Marginal Pinheiros, tendo-se os mesmos cuidados já afirmados anteriormente. Vale lembrar, também, que esta solução exigiria maiores volumes de investimentos, dado que contempla duas grandes alterações estruturais.

### **4.3 Soluções Mistas**

As Soluções Mistas visam unificar os pontos positivos das soluções anteriores, de modo a gerar uma solução ótima para o tráfego do entrelaçamento. Naturalmente, no entanto, pelo fato de unir soluções estruturais e ITS, tendem a ser as de maior custo de implementação, embora também possam gerar os melhores resultados.

Como foi visto na seção 4.1.1, a solução com uso do Epics e Balance não é indicada para o tipo do problema abordado. Com isso, as soluções apresentadas a seguir contemplarão o uso da tecnologia do Ramp Metering, a alteração na configuração do acesso à Marginal Pinheiros e a construção da passarela de pedestres próximo à R. Bento Frias.

#### **4.3.1 Solução 3A – Ramp Metering + Passarela de Pedestres**

A primeira solução mista testada refere-se a associação da construção da passarela com o uso do Ramp Metering, pois, a priori, parece ser a combinação que exige menores investimentos dentre as três mistas aqui apresentadas. Afinal, a passarela seria relativamente estreita e não exigiria gastos com demolição e construção de pavimentos, o que costuma ser muito custoso na engenharia de transportes.

Vale lembrar que esta solução considera a eliminação do semáforo de pedestres, presente nas proximidades da R. Bento Frias, e a colocação do sistema de sinalização do Ramp Metering nesta mesma rua, sem qualquer intervenção significativa no pavimento do acesso.

A Tabela 21 mostra os resultados relativos aos fluxos no entrelaçamento. Novamente, comparando-se ao cenário atual, é possível observar expressivas melhoras no fluxo de veículos da Av. Francisco Morato e dos veículos que desejam acessar a Marginal. Observam-se, também, poucas mudanças no fluxo dos veículos da Av. Vital Brasil e mudanças bastante negativas no fluxo da R. Bento Frias.

Comparando-se as tabelas Tabela 15 e Tabela 21, pode-se ver que, ao utilizar o Ramp Metering, não houve mudanças muito significativas entre implantar a passarela ou não. Deste modo, levando-se em consideração apenas o fluxo de veículos, seria preferível não implantar a passarela, já que, com ela, seriam necessários investimentos maiores sem praticamente algum retorno significativo para o tráfego.

CENÁRIO: RAMP METERING + PASSARELA					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	367,7	73,3	11,7	63,3
Vital	Eusébio	362,3	231,0	6,7	32,0
Francisco	Goldfarb	671,8	179,5	25,7	42,0
Francisco	Eusébio	1805,7	624,7	88,5	71,5
Marginal	Eusébio	554,3	168,3	9,7	-
Eusébio	Marginal	915,0	321,3	39,3	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
RAMP METERING + PASSARELA					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	0,3%	-0,5%	-2,8%	3,8%
Vital	Eusébio	0,1%	0,4%	0,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	35,2%	34,3%	51,0%	0,0%
Francisco	Eusébio	35,8%	38,8%	33,4%	0,0%
Marginal	Eusébio	-33,1%	-35,8%	-26,6%	-
Eusébio	Marginal	25,1%	22,4%	29,7%	-

Tabela 21 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após o uso do Ramp Metering em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 22 estão os resultados das medições das velocidades e dos atrasos médios com a aplicação do Ramp Metering associado à construção da passarela. Nota-se que houve grande melhoria nestes parâmetros, especialmente nas velocidades dos veículos da Av. Francisco Morato. Entretanto, houve grande aumento no atraso e redução na velocidade dos veículos provenientes da Marginal.

CENÁRIO: RAMP METERING + PASSARELA		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	19,05	1,16
Francisco - Marginal	18,76	1,14
Francisco - Goldfarb	18,91	0,77
Vital - Eusébio	19,81	1,13
Vital - Marginal	18,82	1,17
Vital - Goldfarb	16,37	1,02
Marginal - Eusébio	4,04	3,27
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
RAMP METERING + PASSARELA		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	92,8%	-59,4%
Francisco - Marginal	123,2%	-65,7%
Francisco - Goldfarb	47,6%	-42,7%
Vital - Eusébio	52,6%	-47,3%
Vital - Marginal	67,1%	-54,4%
Vital - Goldfarb	32,3%	-37,2%
Marginal - Eusébio	-33,1%	55,2%

*Tabela 22 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após o uso do Ramp Metering em conjunto com a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.*

Comparando-se os dados desta tabela aos da Tabela 16, pode-se notar que, com o uso do Ramp Metering, são piores os indicadores de velocidades e atrasos com a implantação da passarela. Com isso, somado à conclusão obtida no quarto parágrafo do item 4.3.1, não é recomendável a combinação Construção da Passarela + Ramp Metering, pois, além de trazer uma piora para os indicadores de tráfego, necessitaria um investimento mais vultoso.

#### **4.3.2 Solução 3B – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Ramp Metering**

Esta solução busca minimizar todos os conflitos entre os veículos nas proximidades do acesso à Marginal. Busca, também, amplificar os efeitos positivos de cada solução individual, de modo que os valores médios de fluxo, velocidade e atraso das soluções combinadas sejam melhores que o valor médio de cada uma individualmente.

A Tabela 23 mostra os resultados dos fluxos médios em cada um dos sentidos críticos do entrelaçamento. Similarmente às soluções anteriores, esta solução não causou impactos significativos no fluxo da Av. Vital Brasil, aumentou o fluxo na Av. Francisco Morato, aumentou a quantidade de veículos que conseguem acessar a Marginal, em um menor espaço de tempo, e diminuiu o fluxo de veículos provenientes da Marginal.

Comparando-se as informações presentes nesta tabela com aquelas presentes na Tabela 15 e na Tabela 17, é possível notar as seguintes observações:

- Não houve alteração significativa no fluxo da Av. Vital Brasil;
- Para o fluxo da Av. Francisco Morato, esta solução é ligeiramente melhor que a solução 2A, porém, ligeiramente pior que a 1B;
- Para o fluxo que deseja acessar a Marginal, também vale a observação anterior;
- Para o fluxo proveniente da Marginal, a solução 3B mostra-se consideravelmente superior às demais.

Considerando-se que, neste caso, o fluxo crítico é aquele oriundo da Marginal, pode-se considerar a solução 3B preferível, em termos de fluxo de veículos, que as soluções 2A e 1B, já que reduz em menor proporção o fluxo no sentido mais crítico sem deixar de trazer grandes melhorias à fluidez nas Avenidas Francisco Morato e Eusébio Matoso.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,0	73,3	11,7	62,7
Vital	Eusébio	362,3	229,7	6,3	31,7
Francisco	Goldfarb	669,2	178,3	25,3	42,0
Francisco	Eusébio	1801,2	619,0	88,2	71,5
Marginal	Eusébio	599,5	180,3	11,0	-
Eusébio	Marginal	914,5	320,3	39,3	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
MODIFICAÇÃO NO ACESSO + RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	-0,2%	-0,5%	-2,8%	2,7%
Vital	Eusébio	0,1%	-0,1%	-5,0%	2,2%
Francisco	Goldfarb	34,7%	33,4%	49,0%	0,0%
Francisco	Eusébio	35,4%	37,6%	32,9%	0,0%
Marginal	Eusébio	-27,7%	-31,3%	-16,5%	-
Eusébio	Marginal	25,0%	22,0%	29,7%	-

*Tabela 23 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering. Fonte: Elaboração Própria.*

A Tabela 24, por sua vez, mostra os resultados obtidos em termos de velocidades e atrasos médios. Comparando-se seus dados àqueles expostos nas tabelas Tabela 16 e Tabela 18, é possível notar:

- Melhora nas velocidades e atrasos da Av. Francisco Morato com a solução 3B em comparação com as soluções 2A e 1B;
- Resultados bem melhores para a Av. Vital Brasil em comparação com a solução 2A, porém, ligeiramente inferiores à maioria dos alcançados com a solução 1B nesta via;
- Resultados muito melhores para os veículos provenientes da Marginal em comparação com as soluções 2A e 1B.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + RAMP METERING		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	23,42	0,81
Francisco - Marginal	22,73	0,78
Francisco - Goldfarb	19,47	0,73
Vital - Eusébio	19,98	1,13
Vital - Marginal	19,95	1,03
Vital - Goldfarb	15,15	1,14
Marginal - Eusébio	8,30	1,44
CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL		
Sentido	Velocidade Média (km/h)	Atraso Médio (min)
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL		
MODIFICAÇÃO NO ACESSO + RAMP METERING		
Sentido	$\Delta$ Velocidade Média	$\Delta$ Atraso Médio
Francisco - Eusébio	137,0%	-71,4%
Francisco - Marginal	170,6%	-76,4%
Francisco - Goldfarb	51,9%	-45,3%
Vital - Eusébio	53,9%	-47,3%
Vital - Marginal	77,1%	-60,0%
Vital - Goldfarb	22,5%	-29,4%
Marginal - Eusébio	37,4%	-31,6%

*Tabela 24 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering. Fonte: Elaboração Própria.*

Considerando-se os aspectos notados nas observações anteriores, pode-se notar que a solução 3B é preferível, em termos de velocidades e atrasos médios, às soluções 2A e 1B. Levando-se em conta, também, as observações realizadas quanto ao impacto da solução 3B no fluxo do entrelaçamento, é possível concluir que é preferível o uso conjunto da solução Modificação no Acesso + Ramp Metering do que cada solução individualmente. Deve-se considerar, no entanto, que a implementação desta solução exigiria maiores investimentos.

Novamente, vale ressaltar que é pertinente um estudo mais aprofundado sobre os impactos desta solução no fluxo da Marginal, já que há uma redução

na quantidade de veículos por hora que conseguem acessar a Av. Eusébio Matoso a partir da via expressa.

#### **4.3.3 Solução 3C – Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres + Ramp Metering**

Após a análise das seis soluções anteriores, é possível ver que aquelas que apresentaram os melhores resultados, tanto em termos de fluxo quanto em termos de velocidades e atrasos médios, foram as soluções 2B e 3B, ambas envolvendo a modificação no acesso à Marginal Pinheiros. Comparando-se as soluções individuais de implantação do Ramp Metering e de modificação no acesso, pode-se notar, também, que a segunda é preferível, pois gera benefícios para todos os sentidos em termos de aumento na velocidade média e redução no tempo de atraso. Deste modo, pode-se concluir que a modificação no acesso é uma medida fundamental para a melhoria das condições de trafegabilidade na região.

Resta saber, por fim, se a combinação entre a reestruturação no acesso, construção da passarela de pedestres e implantação do Ramp Metering é uma alternativa que geraria resultados superiores a todas as demais.

Tendo isso em vista, a Tabela 25 traz os impactos dessa solução nos fluxos da região. Semelhantemente a quase todas as soluções anteriores, houve estagnação nos resultados para os veículos da Av. Vital Brasil, evolução positiva nos resultados para os veículos que desejam trafegar pela Av. Francisco Morato, evolução positiva nos resultados para aqueles que desejam ingressar na Marginal e prejuízo àqueles que desejam sair da Marginal em direção à Av. Eusébio Matoso.

Comparando-se seus resultados com os da Tabela 19 e da Tabela 23, é possível ver que as soluções praticamente se equivalem em termos de evolução no fluxo, exceto pelo fato de que a solução 2B possui maior destaque positivo no sentido Marginal – Eusébio.

CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA + RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,3	73,3	11,7	62,7
Vital	Eusébio	362,7	229,7	6,3	32,0
Francisco	Goldfarb	669,5	177,3	25,3	42,0
Francisco	Eusébio	1803,2	623,3	89,0	71,5
Marginal	Eusébio	616,2	184,3	11,3	-
Eusébio	Marginal	916,3	322,3	39,0	-
CENÁRIO ATUAL					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-
COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ATUAL: Δ Fluxo de veículos					
MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA + RAMP METERING					
ORIGEM	DESTINO	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS
Vital	Goldfarb	-0,1%	-0,5%	-2,8%	2,7%
Vital	Eusébio	0,2%	-0,1%	-5,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	34,8%	32,7%	49,0%	0,0%
Francisco	Eusébio	35,6%	38,5%	34,2%	0,0%
Marginal	Eusébio	-25,6%	-29,7%	-13,9%	-
Eusébio	Marginal	25,2%	22,8%	28,6%	-

Tabela 25 - Resultados relativos ao fluxo de veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering e a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 26, por sua vez, mostra os resultados relativos às alterações nas velocidades e nos atrasos médios. Comparando-se seus dados aos das tabelas Tabela 20 e Tabela 24, vê-se que há melhora nos valores de atraso e velocidade para todos os sentidos.

<b>CENÁRIO: MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA + RAMP METERING</b>		
<b>Sentido</b>	<b>Velocidade Média (km/h)</b>	<b>Atraso Médio (min)</b>
Francisco - Eusébio	23,60	0,80
Francisco - Marginal	23,68	0,73
Francisco - Goldfarb	20,10	0,70
Vital - Eusébio	22,17	0,93
Vital - Marginal	21,25	0,92
Vital - Goldfarb	16,55	0,99
Marginal - Eusébio	8,73	1,36
<b>CENÁRIO: SITUAÇÃO ATUAL</b>		
<b>Sentido</b>	<b>Velocidade Média (km/h)</b>	<b>Atraso Médio (min)</b>
Francisco - Eusébio	9,88	2,84
Francisco - Marginal	8,40	3,33
Francisco - Goldfarb	12,82	1,34
Vital - Eusébio	12,98	2,14
Vital - Marginal	11,26	2,57
Vital - Goldfarb	12,37	1,62
Marginal - Eusébio	6,04	2,11
<b>COMPARAÇÃO EM RELAÇÃO À SITUAÇÃO ATUAL</b>		
<b>MODIFICAÇÃO NO ACESSO + PASSARELA + RAMP METERING</b>		
<b>Sentido</b>	<b>Δ Velocidade Média</b>	<b>Δ Atraso Médio</b>
Francisco - Eusébio	138,8%	-71,8%
Francisco - Marginal	181,9%	-78,0%
Francisco - Goldfarb	56,8%	-47,9%
Vital - Eusébio	70,7%	-56,4%
Vital - Marginal	88,7%	-64,2%
Vital - Goldfarb	33,8%	-38,6%
Marginal - Eusébio	44,5%	-35,5%

*Tabela 26 - Resultados relativos à velocidade média e ao atraso médio dos veículos após a modificação no acesso à Marginal Pinheiros em conjunto com o uso do Ramp Metering e a implantação da Passarela de Pedestres. Fonte: Elaboração Própria.*

Deste modo, unindo-se esses benefícios àqueles expostos no quarto parágrafo do item 4.3.3, pode-se concluir que a melhor alternativa de solução para o tráfego da região é a modificação no acesso conjuntamente à construção da passarela e à implantação do Ramp Metering. Essa medida, no entanto, tende a ser aquela que exige maiores investimentos.

Por fim, como o fluxo afluente na R. Bento Frias diminui, faz-se necessário o impacto desta medida sobre o fluxo da Marginal, assim como mencionado para as medidas anteriores.

## 5. Resultados

Após as análises das sete soluções acima apresentadas, segue abaixo um resumo dos parâmetros de fluxo, velocidades e atrasos médios encontrados para cada tipo de solução. Cada alternativa foi simulada três vezes, e os dados apresentados são uma média aritmética dos resultados obtidos. Para facilitar a compreensão dos diversos tipos de solução testados, segue na Tabela 27 o código atribuído a cada solução.

<b>CÓDIGO DA SOLUÇÃO</b>	<b>MEDIDAS IMPLANTADAS</b>	<b>TIPO</b>
<b>1A</b>	Epics-Balance	ITS
<b>1B</b>	Ramp Metering	ITS
<b>2A</b>	Modificação no acesso à Marginal Pinheiros	Estrutural
<b>2B</b>	Modificação no acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres	Estrutural
<b>3A</b>	Ramp Metering + Passarela de Pedestres	Mista
<b>3B</b>	Modificação no Acesso à Marginal Pinheiros + Ramp Metering	Mista
<b>3C</b>	Modificação no acesso à Marginal Pinheiros + Passarela de Pedestres + Ramp Metering	Mista

*Tabela 27 - Resumo das medidas implantadas: códigos e tipos adotados. Fonte: Elaboração Própria.*

Para as tabelas Tabela 28

		CENÁRIO ATUAL				FLUXOS - QUANTIDADE DE VEÍCULOS POR HORA																											
						SOLUÇÃO 1A				SOLUÇÃO 1B				SOLUÇÃO 2A				SOLUÇÃO 2B				SOLUÇÃO 3A				SOLUÇÃO 3B				SOLUÇÃO 3C			
ORIGEM	DESTINO	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN
Vital	Goldfarb	366,7	73,7	12,0	61,0	330,3	61,7	12,3	46,7	365,3	73,3	11,7	62,7	366,7	73,3	11,7	62,0	366,7	73,0	11,7	63,0	367,7	73,3	11,7	63,3	366,0	73,3	11,7	62,7	366,3	73,3	11,7	62,7
Vital	Eusébio	361,8	230,0	6,7	31,0	327,8	193,8	5,3	24,7	361,0	229,7	6,7	32,0	361,7	229,7	6,3	32,0	362,3	230,0	6,7	32,0	362,3	231,0	6,7	32,0	362,3	229,7	6,3	31,7	362,7	229,7	6,3	32,0
Francisco	Goldfarb	496,8	133,7	17,0	42,0	518,7	140,0	18,0	42,0	677,3	184,3	25,3	42,0	667,0	178,7	24,7	42,0	671,0	179,7	25,0	42,0	671,8	179,5	25,7	42,0	669,2	178,3	25,3	42,0	669,5	177,3	25,3	42,0
Francisco	Eusébio	1329,8	450,0	66,3	71,5	1393,8	480,3	69,0	71,7	1836,2	626,3	90,5	71,5	1795,5	615,5	89,0	71,5	1804,5	621,8	89,0	71,5	1805,7	624,7	88,5	71,5	1801,2	619,0	88,2	71,5	1803,2	623,3	89,0	71,5
Marginal	Eusébio	828,7	262,3	13,2	-	807,0	248,7	13,0	-	558,8	169,0	9,3	-	547,5	166,7	9,7	-	657,3	193,3	10,7	-	554,3	168,3	9,7	-	599,5	180,3	11,0	-	616,2	184,3	11,3	-
Eusébio	Marginal	731,7	262,5	30,3	-	739,8	257,7	31,3	-	926,3	323,3	39,0	-	913,0	317,3	39,0	-	915,5	321,2	39,0	-	915,0	321,3	39,3	-	914,5	320,3	39,3	-	916,3	322,3	39,0	-
Total		4115,5	1412,2	145,5	205,5	4117,5	1382,2	149,0	185,0	4725,0	1606,0	182,5	208,2	4651,3	1581,2	180,3	207,5	4777,3	1619,0	182,0	208,5	4676,8	1598,2	181,5	208,8	4712,7	1601,0	181,8	207,8	4734,2	1610,3	182,7	208,2
Global (todos os veic.		5878,7				5833,7				6721,7				6620,3				6786,8				6665,3				6703,3				6735,3			
Variação Fluxo Global						-0,8%				14,3%				12,6%				15,4%				13,4%				14,0%				14,6%			

Tabela 28 - Resumo das informações de fluxo após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.

CENÁRIO ATUAL		FLUXOS - COMPARAÇÃO RELATIVA																											
		SOLUÇÃO 1A				SOLUÇÃO 1B				SOLUÇÃO 2A				SOLUÇÃO 2B				SOLUÇÃO 3A				SOLUÇÃO 3B				SOLUÇÃO 3C			
ORIGEM	DESTINO	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN	CAR	MOT	CAM	ÔN
Vital	Goldfarb	-9,9%	-16,3%	2,8%	-23,5%	-0,4%	-0,5%	-2,8%	2,7%	0,0%	-0,5%	-2,8%	1,6%	0,0%	-0,9%	-2,8%	3,3%	0,3%	-0,5%	-2,8%	3,8%	-0,2%	-0,5%	-2,8%	2,7%	-0,1%	-0,5%	-2,8%	2,7%
Vital	Eusébio	-9,4%	-15,7%	-20,0%	-20,4%	-0,2%	-0,1%	0,0%	3,2%	0,0%	-0,1%	-5,0%	3,2%	0,1%	0,0%	0,0%	3,2%	0,1%	0,4%	0,0%	3,2%	0,1%	-0,1%	-5,0%	2,2%	0,2%	-0,1%	-5,0%	3,2%
Francisco	Goldfarb	4,4%	4,7%	5,9%	0,0%	36,3%	37,9%	49,0%	0,0%	34,3%	33,7%	45,1%	0,0%	35,1%	34,4%	47,1%	0,0%	35,2%	34,3%	51,0%	0,0%	34,7%	33,4%	49,0%	0,0%	34,8%	32,7%	49,0%	0,0%
Francisco	Eusébio	4,8%	6,7%	4,0%	0,2%	38,1%	39,2%	36,4%	0,0%	35,0%	36,8%	34,2%	0,0%	35,7%	38,2%	34,2%	0,0%	35,8%	38,8%	33,4%	0,0%	35,4%	37,6%	32,9%	0,0%	35,6%	38,5%	34,2%	0,0%
Marginal	Eusébio	-2,6%	-5,2%	-1,3%	-	-32,6%	-35,6%	-29,1%	-	-33,9%	-36,5%	-26,6%	-	-20,7%	-26,3%	-19,0%	-	-33,1%	-35,8%	-26,6%	-	-27,7%	-31,3%	-16,5%	-	-25,6%	-29,7%	-13,9%	-
Eusébio	Marginal	1,1%	-1,8%	3,3%	-	26,6%	23,2%	28,6%	-	24,8%	20,9%	28,6%	-	25,1%	22,3%	28,6%	-	25,1%	22,4%	29,7%	-	25,0%	22,0%	29,7%	-	25,2%	22,8%	28,6%	-
Total		-0,8%				14,3%				12,6%				15,4%				13,4%				14,0%				14,6%			

Tabela 29 - Resumo das informações de variação de fluxo após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.

VELOCIDADES MÉDIAS (Km/h)								
SENTIDO	SOLUÇÕES							
	ATUAL	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C
Francisco - Eusébio	9,88	9,82	21,45	17,84	19,16	19,05	23,42	23,60
Francisco - Marginal	8,40	8,51	22,07	21,89	21,78	18,76	22,73	23,68
Francisco - Goldfarb	12,82	12,86	19,87	19,33	19,66	18,91	19,47	20,10
Vital - Eusébio	12,98	5,51	19,86	15,30	17,51	19,81	19,98	22,17
Vital - Marginal	11,26	4,93	20,52	17,11	19,12	18,82	19,95	21,25
Vital - Goldfarb	12,37	4,01	16,24	13,31	14,70	16,37	15,15	16,55
Marginal - Eusébio	6,04	5,83	4,28	6,05	7,38	4,04	8,30	8,73

Tabela 30 - Resumo das velocidades médias após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.

VELOCIDADES MÉDIAS - EVOLUÇÃO COMPARATIVA							
SENTIDO	SOLUÇÕES						
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C
Francisco - Eusébio	-0,6%	117,0%	80,5%	93,9%	92,8%	137,0%	138,8%
Francisco - Marginal	1,3%	162,7%	160,5%	159,2%	123,2%	170,6%	181,9%
Francisco - Goldfarb	0,4%	55,0%	50,8%	53,4%	47,6%	51,9%	56,8%
Vital - Eusébio	-57,6%	53,0%	17,9%	34,9%	52,6%	53,9%	70,7%
Vital - Marginal	-56,2%	82,1%	51,9%	69,8%	67,1%	77,1%	88,7%
Vital - Goldfarb	-67,6%	31,3%	7,7%	18,8%	32,3%	22,5%	33,8%
Marginal - Eusébio	-3,4%	-29,2%	0,1%	22,2%	-33,1%	37,4%	44,5%

Tabela 31 - Resumo comparativo da variação das velocidades médias em relação ao cenário atual após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.

ATRASOS MÉDIOS (minutos)								
SENTIDO	SOLUÇÕES							
	ATUAL	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C
Francisco - Eusébio	2,84	2,86	0,96	1,28	1,15	1,16	0,81	0,80
Francisco - Marginal	3,33	3,26	0,87	0,84	0,85	1,14	0,78	0,73
Francisco - Goldfarb	1,34	1,35	0,71	0,74	0,72	0,77	0,73	0,70
Vital - Eusébio	2,14	5,92	1,13	1,69	1,37	1,13	1,13	0,93
Vital - Marginal	2,57	6,49	1,02	1,31	1,09	1,17	1,03	0,92
Vital - Goldfarb	1,62	5,64	1,02	1,37	1,18	1,02	1,14	0,99
Marginal - Eusébio	2,11	2,17	3,14	2,09	1,72	3,27	1,44	1,36

Tabela 32 - Resumo dos atrasos médios após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.

ATRASOS MÉDIOS - EVOLUÇÃO COMPARATIVA							
SENTIDO	SOLUÇÕES						
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C
Francisco - Eusébio	0,7%	-66,3%	-55,1%	-59,6%	-59,4%	-71,4%	-71,8%
Francisco - Marginal	-2,1%	-73,9%	-74,8%	-74,5%	-65,7%	-76,4%	-78,0%
Francisco - Goldfarb	0,8%	-47,0%	-44,6%	-46,2%	-42,7%	-45,3%	-47,9%
Vital - Eusébio	176,6%	-47,1%	-21,1%	-35,8%	-47,3%	-47,3%	-56,4%
Vital - Marginal	153,0%	-60,3%	-48,9%	-57,4%	-54,4%	-60,0%	-64,2%
Vital - Goldfarb	248,7%	-37,0%	-15,5%	-27,3%	-37,2%	-29,4%	-38,6%
Marginal - Eusébio	2,7%	49,0%	-1,1%	-18,5%	55,2%	-31,6%	-35,5%

*Tabela 33 - Resumo comparativo da variação dos atrasos médios em relação ao cenário atual após a simulação de todas as soluções. Fonte: Elaboração Própria.*

Conforme analisado anteriormente e conforme apresentado nas tabelas Tabela 30 e Tabela 32, é possível notar a grande melhora nas velocidades e atrasos médios com a aplicação da solução 3C. Esta solução apresenta-se como a mais eficiente na melhoria destes parâmetros, embora seja aquela que exige maiores investimentos, já que adota maior número de soluções estruturais somada a uma solução ITS. Já a Tabela 28 mostra que, em termos de benefícios para o fluxo global, a solução 2B mostra-se como a melhor. Além disso, esta solução, desconsiderando-se a 1A, gera os menores impactos para a fluidez no acesso da Marginal à Av. Eusébio Matoso.

É importante lembrar que não foram medidos comprimentos de fila porque, na Av. Francisco Morato, há influências de filas formadas no cruzamento com outras vias (a saber, a Av. Morumbi a R. Sapatuba), o que poderia causar distorções na obtenção desses dados em campo. O que pode ser afirmado, baseando-se no comportamento do modelo durante as simulações no VISSIM, é que todas as soluções, com exceção da 1A, apresentaram ótimo comportamento quanto à redução aparente das filas em todos os sentidos de fluxo, exceto no acesso da Marginal para a Av. Eusébio Matoso, onde sempre houve a presença de filas constantemente (o que é evidenciado pelo fato de todas as soluções gerarem prejuízos ao fluxo neste sentido). Com isso, reforça-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o impacto das soluções avaliadas neste trabalho sobre o fluxo na Marginal Pinheiros, a fim de se analisar o real impacto das soluções para a cidade de São Paulo como um todo. Este estudo em específico, entanto, não

será realizado pelos elaboradores deste trabalho, pois foge do seu escopo e das dimensões ideais de um trabalho de formatura.

Por fim, ao se analisar os resultados após as simulações e sabendo-se que todas as soluções, exceto a 1A, geram grandes reduções de filas nas proximidades dos semáforos do entrelaçamento, podem ser admitidas três soluções com foco na melhoria do desempenho do tráfego na região.

Se a prioridade do investidor for a obtenção de maior fluidez global, a solução 2B deve ser adotada, já que permite a passagem do maior número possível de veículos no entrelaçamento, conforme mostra a Tabela 28. Além disso, esta solução poderia trazer uma segurança a mais para os pedestres da região, já que considera a implantação da passarela. Pode-se destacar, também, que esta solução, além de gerar grandes reduções nos atrasos, conforme mostrado na Tabela 33, gera o menor impacto no fluxo dos veículos provenientes da Marginal, se desprezada a solução 1A. Dependendo da influência que as soluções avaliadas podem ter no fluxo da via expressa, a solução 2B pode ser a mais viável. No entanto, esta seria uma das soluções mais custosas, pois exige a adoção de duas medidas estruturais.

Caso a prioridade do investidor seja o aumento da velocidade global e a redução de atrasos, a solução 3C deve ser adotada, pois, conforme mostra a Tabela 32, gera os melhores resultados para todos os sentidos. Apesar de não gerar os melhores resultados quanto ao fluxo no sentido Marginal – Eusébio, foi observado durante as simulações no VISSIM que esta medida não causa grandes interrupções ao fluxo da R. Bento Frias, no sentido Av. Eusébio Matoso. Isso pode ser explicado pelo fato de esta medida prever a redução para uma faixa de rolamento neste sentido, o que causa a diminuição do fluxo, mas o significativo aumento da velocidade. Se o impacto desta solução sobre o fluxo de veículos na Marginal for aceitável, esta solução deve apresentar os impactos mais positivos, embora seja a que mais exige investimentos, já que envolve tanto soluções estruturais quanto soluções ITS.

Por fim, se o investidor desejar moderação nos custos, pode optar por outras opções que considerar mais viável, sempre considerando a necessidade de estudos mais aprofundados relacionados ao impacto das soluções sobre a

Marginal Pinheiros. A solução 1B, por exemplo, pelo fato de ser exclusivamente do tipo ITS, exige os menores investimentos, mas proporciona grande aumento nas velocidades e no fluxo para quase todos os sentidos. Porém, é a segunda pior solução em termos de impacto no sentido Marginal – Eusébio. Já a solução 3B, por outro lado, mesmo gerando grandes benefícios para o entrelaçamento, traz um impacto mais razoável sobre o sentido Marginal – Eusébio. Embora seja uma solução mista, ela não envolve a difícil execução da passarela, e contempla a implantação do Ramp Metering, a qual se mostra barata e eficiente neste caso.

Deve-se considerar, no entanto, que todas as soluções aqui adotadas dizem respeito apenas às condições de trafegabilidade no cruzamento principal. Ou seja, se houver algum incidente ou cenário em que o fluxo de veículos no sentido Centro seja perturbado, bloqueado ou parcialmente interrompido, de modo que haja uma propagação de fila, seja a partir do Centro, da R. Consolação ou da Av. Rebouças, que atinja a Ponte Eusébio Matoso, as soluções aqui simuladas podem não ter efetividade na geração de maior fluidez.

Vale ressaltar também que a melhora gerada pelas soluções propostas irá atrair novos veículos para região. Afinal, a melhora na velocidade e fluxo tornam o entrelaçamento uma rota alternativa bastante atrativa. Nesse trabalho não foi utilizada uma matriz de origem-destinos, e portanto, não foi considerado esse efeito.

## 6. Considerações Finais

### 6.1 Dificuldades encontradas

A primeira grande dificuldade encontrada diz respeito à obtenção de dados, tanto para a definição do local a ser simulado, quanto para a realização da simulação efetivamente. Inicialmente, o grupo participou de uma reunião com outros grupos de trabalho de formatura na sede da CET em São Paulo. Ficou acertado que seriam fornecidos ao grupo os dados de contagem de fluxo obtido nas regiões de interesse, mediante o envio de uma carta-ofício assinada pelo orientador. Mesmo com o envio do ofício no mês de abril, até a presente data, não houve retorno da companhia.

Felizmente, um dos avaliadores da banca do trabalho parcial orientou o grupo a buscarem novas fontes de dados. Com isso, o grupo conseguiu agendar uma reunião realizada no centro de monitoramento da Zona Oeste, onde foram obtidas as filmagens da região simulada, o que foi imprescindível para a obtenção dos dados de fluxo essenciais à realização deste trabalho.

Um fator que trouxe dificuldades, embora o grupo, felizmente, tenha trabalhado bem com o mesmo, refere-se à obtenção da licença de uso do VISSIM com as extensões do Epics e Balance. Durante a etapa de calibração, a licença do software expirou, o que obrigou o grupo a contatar a PTV para prorrogar seu vencimento. Felizmente, o grupo conseguiu dialogar rapidamente com representantes da PTV para conseguir essa renovação de prazo.

Outro ponto de bastante dificuldade diz respeito à calibração dos dados. O primeiro fato complicador se refere aos cortes nas filmagens, o que gera alguma distorção na obtenção de dados. O segundo fato é que houve diferentes métodos de contagem adotados – contagens em campo e por vídeo. Isso, naturalmente, obrigou o grupo a trabalhar com dados relativos a diferentes dias, o que também pode ter dificultado a calibração. Por fim, o próprio método de calibração traz dificuldades inerentes, já que envolve simulações sucessivas, cada uma com pequenas modificações em relação à seguinte, o que demanda muito tempo de dedicação. Além disso, pelo fato de

ser iterativa, não é conveniente que a realização desta etapa seja atribuída a mais de uma pessoa, o que torna o processo ainda mais demorado. É importante mencionar que, inicialmente, a intenção do grupo seria verificar a diferença entre os modelos W74 e W99 na calibração. Como o tempo disponível ao grupo foi restrito e como a diferença entre ambos não causaria grandes impactos no fluxo de veículos, considerou-se prudente manter as pesquisas realizadas sobre estes modelos neste documento, a fim de gerar uma contribuição acadêmica, mas não foi possível testar e avaliar com mais detalhes as diferenças entre ambos os modelos no VISSIM.

Por fim, uma dificuldade já esperada diz respeito ao fato de todos os integrantes do grupo realizarem estágio concomitantemente à elaboração deste trabalho, o que tornou o processo mais difícil, por conta da pouca disponibilidade de tempo.

## **6.2 Conclusão**

Com a realização deste trabalho, foi possível concluir que tanto o uso de soluções ITS quanto o uso de soluções estruturais, individualmente, podem gerar grandes benefícios para a fluidez de um entrelaçamento semaforizado. Mas quando ambas as medidas são combinadas, os resultados tendem a ser potencializados.

Pôde-se concluir, também, que o Ramp Metering é uma ferramenta ITS eficiente quando há um gargalo gerado pelo fluxo de uma via secundária sobre a via principal. Além disso, foi concluído que o uso de ferramentas de otimização semafórica (neste caso, o Epics e o Balance), tende a ser pouco útil quando o problema de uma região se concentra num gargalo e no entrelaçamento de fluxos. Este tipo de ferramenta seria melhor aproveitável se o problema a ser atacado consistisse na má sincronização entre estágios de um ou mais controladores semafóricos.

Por fim, foi possível concluir que, dependendo do arranjo e da configuração dos acessos de uma via principal, melhorar sua condição de trafegabilidade pode significar melhoria nas condições do tráfego nas vias

transversais, conforme ocorreu com a implantação da passarela, na comparação entre as soluções 2A e 2B.

## Referências

Autodesk. **Importing Simulated Traffic from VISSIM [online]**. Disponível em: [http://docs.autodesk.com/MAXDES/14/ENU/Autodesk%20Civil%20View%20for%203ds%20Max%20Design%202012%20Tutorials/VISSIM\\_Tutorial/Data\\_Import/Importing\\_Simulated\\_Traffic.htm](http://docs.autodesk.com/MAXDES/14/ENU/Autodesk%20Civil%20View%20for%203ds%20Max%20Design%202012%20Tutorials/VISSIM_Tutorial/Data_Import/Importing_Simulated_Traffic.htm). Acesso em 30 Jun. 2017;

BETHONICO, F. C. **Calibração de simuladores microscópicos de tráfego através de medidas macroscópicas**. 2016. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016.

CAMARGO, G. M. de. **Laboratório Didático no Ensino de Engenharia – Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS)**. 2017. 34 p. Relatório parcial apresentado como parte do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI). Orientador: Prof. Dr. Claudio Luiz Marte.

CAMARGO, G. M. de; RIBEIRO, V. G. **ATIVIDADE PRÁTICA 09 (Lab\_ITS\_09): VISSIM (Criação de controle semafórico atuado)**. 2017. 14 p. Roteiro de Laboratório Didático como parte do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) e do Programa Unificado de Bolsas de Estudo para Estudantes de Graduação (PUB). Orientador: Prof. Dr. Claudio Luiz Marte.

CET. **Pesquisa de Monitoração da Fluidez [online]**. 2008 a 2016. Disponíveis em: <http://www.cetsp.com.br/sobre-a-cet/relatorios-corporativos.aspx>. Acesso em: 30 mai. 2017.

DESTATIS. **Städte in Deutschland nach Fläche und Bevölkerung auf Grundlage des ZENSUS 2011 und Bevölkerungsdichte [online]**. Disponível para download em: [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/05Staedte.xls;jsessionid=99F9B9FE8CE6ACA7590063BEE4E518.cae1?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/05Staedte.xls;jsessionid=99F9B9FE8CE6ACA7590063BEE4E518.cae1?__blob=publicationFile) . Acesso em: 25 jun. 2017.

FRANCO, B. de A.; SILVA, N. J. B. da. **Método para avaliação de soluções em transporte com uso de microssimulação**. Trabalho de formatura apresentado na Escola Politécnica da USP para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil. São Paulo, 2016.

GOMES, G. Z.. **Uso de Microssimulação na avaliação da sustentabilidade de corredores rodoviários**. 2004. Tese de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, SP.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2016 [online]**. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2016/estimativa\\_TCU\\_2016\\_20170614.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_TCU_2016_20170614.pdf) . Acesso em: 25 jun. 2017.

LACERDA, V. M.; NETO, M. M. de C. **Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do VISSIM para vias arteriais urbanas**. Curitiba, 2014. 13p. In: Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Curitiba, 2014.

NETO, E. et al. **Rodovias Inteligentes: Contextualização, simulação e adequação do projeto geométrico**. Projeto de Formatura apresentado na Escola Politécnica da USP para obtenção de grau de bacharel em Engenharia Civil. São Paulo, 2016.

Papageorgiou, M. and Diakaki, C. e Dinopoulou, V. e Kotsialos, A. e Wang, Y. (2003) **Review of road traffic control strategies**, Proceedings of the IEEE., 91 (12). pp. 2043-2067.

PERON, L. **Contribuição metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus**. 2015. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 1979.

PREFEITURA DE SÃO PAULO (PMSP). **Plano de Mobilidade de São Paulo**. São Paulo, fevereiro - agosto 2014. Disponível em [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmob-texto-base\\_1424729529.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmob-texto-base_1424729529.pdf) Acesso em: 25 de junho de 2017.

Prefeitura de São Paulo. **CET faz 30 anos e conta sua história em livro [online]**. Disponível em: <http://www6.prefeitura.sp.gov.br/noticias/sec/transportes/2006/06/0043>. Acesso em: 25 jun. 2017.

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**. 2000. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PTV BALANCE. **Who keeps the city's rhythm flowing? [online]**. Disponível em: [http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files\\_ptvvision/Downloads\\_N/0\\_General/2\\_Products/5\\_PTV\\_Balance/BRO\\_PTV\\_Balance\\_EN.pdf](http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files_ptvvision/Downloads_N/0_General/2_Products/5_PTV_Balance/BRO_PTV_Balance_EN.pdf). Acesso em: 17 jun. 2017.

PTV EPICS. **Who gives the Green light for every Road? [online]**. Disponível em: [http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files\\_ptvvision/Downloads\\_N/0\\_General/2\\_Products/10\\_PTV\\_Epics/BRO\\_PTV\\_Epics\\_AEN.pdf](http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files_ptvvision/Downloads_N/0_General/2_Products/10_PTV_Epics/BRO_PTV_Epics_AEN.pdf). Acesso em: 17 jun. 2017.

SPARMANN, U. **Spurwechselforgänge auf zweispurigen bahnrichtungs-fahrbahnen**. *Forsch Strassenbau U Stranssenverkehrstech*, 1978. v. 263, 1978.

Tolfo, J. D. e Portugal, L. S. **Uso de Micro-Simulador na análise de desempenho viário em redes com polos geradores de viagens**. 2006. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Tolfo, J. D. **Estudo comparativo de técnicas de análise de desempenho de redes viárias no entorno de polos geradores de viagens.** 2006. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

WEICHENMEIER, F.; HILDEBRANDT, R. **The Tristar and Kraków systems: a PTV Balance and PTV Epics case study.** Warwick, 2015. 14 p. In: The JCT Traffic Signal Symposium. Warwick, 2015.

WIEDEMANN, R. **Simulation des Strassenverkehrsflusses.** Tese de Doutorado – Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen Heft 8, Universität Karlsruhe, 1974.

**Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** ABNT NBR 9050/2015.

**Elevadores de passageiros - Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência.** ABNT NBR 13994/2000.

## Anexo A

<b>Movimento A</b>		<b>carro</b>	<b>moto</b>	<b>caminhão</b>	<b>bicicleta</b>	
06:00:00	06:15:00	13	2	0	0	
06:15:00	06:30:00	4	1	1	1	
06:30:00	06:45:00	20	1	1	0	
06:45:00	07:00:00	23	1	0	0	
07:00:00	07:15:00	26	1	0	0	
07:15:00	07:30:00	19	7	1	0	
07:30:00	07:45:00	40	1	0	0	
07:45:00	08:00:00	28	1	0	0	
08:00:00	08:15:00	41	2	1	0	
08:15:00	08:30:00	22	2	1	0	
08:30:00	08:45:00	17	1	0	0	
08:45:00	09:00:00	36	0	2	0	
09:00:00	09:15:00	36	3	0	0	
09:15:00	09:30:00	26	1	1	0	

Tabela 34 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<b>Movimento B</b>		<b>carro</b>	<b>moto</b>	<b>caminhão</b>	<b>bicicleta</b>	
06:00:00	06:15:00	66	6	2	0	
06:15:00	06:30:00	65	6	2	1	
06:30:00	06:45:00	88	17	1	1	
06:45:00	07:00:00	74	8	0	1	
07:00:00	07:15:00	87	14	3	2	
07:15:00	07:30:00	51	10	0	2	
07:30:00	07:45:00	95	21	3	1	
07:45:00	08:00:00	86	29	1	1	
08:00:00	08:15:00	61	4	0	1	
08:15:00	08:30:00	110	24	2	0	
08:30:00	08:45:00	92	15	1	0	
08:45:00	09:00:00	33	12	3	0	
09:00:00	09:15:00	81	12	6	1	
09:15:00	09:30:00	110	17	3	0	

Tabela 35 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<b>Movimento C</b>		<b>carro</b>	<b>moto</b>	<b>caminhão</b>	<b>bicicleta</b>
06:00:00	06:15:00	85	9	2	0
06:15:00	06:30:00	97	21	7	0
06:30:00	06:45:00	101	22	1	3
06:45:00	07:00:00	47	15	0	0
07:00:00	07:15:00	86	17	3	0
07:15:00	07:30:00	77	18	0	1
07:30:00	07:45:00	62	26	1	0
07:45:00	08:00:00	153	43	1	0
08:00:00	08:15:00	67	36	1	1
08:15:00	08:30:00	91	47	0	1
08:30:00	08:45:00	77	51	0	0
08:45:00	09:00:00	83	89	2	3
09:00:00	09:15:00	66	9	6	0
09:15:00	09:30:00	90	20	4	2

Tabela 36 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<b>Movimento D</b>		<b>carro</b>	<b>moto</b>	<b>caminhão</b>	<b>bicicleta</b>
06:00:00	06:15:00	95	13	3	0
06:15:00	06:30:00	81	8	2	0
06:30:00	06:45:00	146	14	2	1
06:45:00	07:00:00	138	13	2	0
07:00:00	07:15:00	113	17	2	0
07:15:00	07:30:00	88	14	1	0
07:30:00	07:45:00	153	21	3	0
07:45:00	08:00:00	86	17	2	0
08:00:00	08:15:00	83	11	0	0
08:15:00	08:30:00	86	17	3	0
08:30:00	08:45:00	78	12	2	0
08:45:00	09:00:00	87	17	2	0
09:00:00	09:15:00	89	23	1	0
09:15:00	09:30:00	108	20	1	0

Tabela 37 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<i>Movimento E</i>	<i>carro</i>	<i>moto</i>	<i>caminhão</i>	<i>bicicleta</i>	
06:00:00	06:15:00	165	17	4	0
06:15:00	06:30:00	134	6	1	0
06:30:00	06:45:00	169	34	2	0
06:45:00	07:00:00	111	19	6	0
07:00:00	07:15:00	177	39	3	0
07:15:00	07:30:00	124	42	0	1
07:30:00	07:45:00	117	24	9	1
07:45:00	08:00:00	100	31	7	0
08:00:00	08:15:00	105	17	0	0
08:15:00	08:30:00	85	25	4	0
08:30:00	08:45:00	102	33	3	0
08:45:00	09:00:00	64	24	1	0
09:00:00	09:15:00	141	32	7	0
09:15:00	09:30:00	55	17	2	0

Tabela 38 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<b>Movimento F</b>		<b>carro</b>	<b>moto</b>	<b>caminhão</b>	<b>bicicleta</b>
06:00:00	06:15:00	213	32	7	0
06:15:00	06:30:00	156	33	7	0
06:30:00	06:45:00	138	33	7	0
06:45:00	07:00:00	283	56	12	0
07:00:00	07:15:00	241	51	8	0
07:15:00	07:30:00	175	50	3	0
07:30:00	07:45:00	169	50	3	0
07:45:00	08:00:00	101	36	4	0
08:00:00	08:15:00	211	52	6	0
08:15:00	08:30:00	125	23	8	0
08:30:00	08:45:00	119	25	7	0
08:45:00	09:00:00	198	31	11	0
09:00:00	09:15:00	307	55	28	0
09:15:00	09:30:00	190	7	54	0

Tabela 39 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria

<i>Movimento G</i>	<i>carro</i>	<i>moto</i>	<i>caminhão</i>	<i>bicicleta</i>	
<i>06:00:00</i>	06:15:00	352	35	31	0
<i>06:15:00</i>	06:30:00	250	37	23	2
<i>06:30:00</i>	06:45:00	290	78	11	0
<i>06:45:00</i>	07:00:00	204	57	10	2
<i>07:00:00</i>	07:15:00	362	110	13	1
<i>07:15:00</i>	07:30:00	232	89	10	0
<i>07:30:00</i>	07:45:00	217	77	22	0
<i>07:45:00</i>	08:00:00	246	86	2	0
<i>08:00:00</i>	08:15:00	215	80	1	0
<i>08:15:00</i>	08:30:00	312	46	4	0
<i>08:30:00</i>	08:45:00	261	107	6	0
<i>08:45:00</i>	09:00:00	254	135	28	0
<i>09:00:00</i>	09:15:00	219	83	20	0
<i>09:15:00</i>	09:30:00	220	61	15	0

*Tabela 40 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria*

<i>Movimento H</i>	<i>carro</i>	<i>moto</i>	<i>caminhão</i>	<i>bicicleta</i>	
06:00:00	06:15:00	10	2	0	0
06:15:00	06:30:00	19	0	0	0
06:30:00	06:45:00	7	2	1	0
06:45:00	07:00:00	26	6	0	0
07:00:00	07:15:00	11	3	1	0
07:15:00	07:30:00	11	0	0	0
07:30:00	07:45:00	13	1	1	0
07:45:00	08:00:00	23	0	1	0
08:00:00	08:15:00	25	0	0	0
08:15:00	08:30:00	46	0	2	0
08:30:00	08:45:00	30	1	2	0
08:45:00	09:00:00	74	1	1	0
09:00:00	09:15:00	119	1	1	0
09:15:00	09:30:00	74	2	1	0

*Tabela 41 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria*

<i>Movimento M</i>	<i>carro</i>	<i>moto</i>	<i>caminhão</i>	<i>bicicleta</i>	
<i>06:00:00</i>	06:15:00	24	2	0	0
<i>06:15:00</i>	06:30:00	24	1	3	0
<i>06:30:00</i>	06:45:00	10	1	1	0
<i>06:45:00</i>	07:00:00	34	6	0	0
<i>07:00:00</i>	07:15:00	29	0	0	0
<i>07:15:00</i>	07:30:00	52	1	2	0
<i>07:30:00</i>	07:45:00	45	0	1	0
<i>07:45:00</i>	08:00:00	26	1	0	0
<i>08:00:00</i>	08:15:00	29	1	1	0
<i>08:15:00</i>	08:30:00	30	1	1	0
<i>08:30:00</i>	08:45:00	45	3	1	0
<i>08:45:00</i>	09:00:00	24	0	1	0
<i>09:00:00</i>	09:15:00	32	2	1	0
<i>09:15:00</i>	09:30:00	31	3	0	0

*Tabela 42 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria*

<i>Movimento N</i>	<i>carro</i>	<i>moto</i>	<i>caminhão</i>	<i>bicicleta</i>	
06:00:00	06:15:00	15	0	0	0
06:15:00	06:30:00	13	0	0	0
06:30:00	06:45:00	25	0	1	0
06:45:00	07:00:00	36	6	0	0
07:00:00	07:15:00	30	0	0	0
07:15:00	07:30:00	32	1	0	0
07:30:00	07:45:00	51	7	0	0
07:45:00	08:00:00	20	0	0	0
08:00:00	08:15:00	52	3	2	0
08:15:00	08:30:00	45	1	1	0
08:30:00	08:45:00	59	1	1	0
08:45:00	09:00:00	78	3	1	0
09:00:00	09:15:00	61	1	2	0
09:15:00	09:30:00	48	4	1	0

*Tabela 43 - Quantidade de veículos por movimento. Fonte: Elaboração própria*

Os dados obtidos para os ônibus estão mostrados na Tabela 44.

<b>Movimento</b>	<b>IDA</b>	<b>Movimento</b>	<b>VOLTA</b>
<b>A</b>	0	<b>A</b>	55,6
<b>B</b>	62,8	<b>B</b>	0
<b>C</b>	32,4	<b>C</b>	0
<b>D</b>	0	<b>D</b>	36,8
<b>E</b>	42,4	<b>E</b>	0
<b>F</b>	0	<b>F</b>	122,6
<b>G</b>	72	<b>G</b>	0
<b>H</b>	0	<b>H</b>	0
<b>I</b>	0	<b>I</b>	0
<b>J</b>	0	<b>J</b>	0
<b>K</b>	0	<b>K</b>	0
<b>L</b>	0	<b>L</b>	0
<b>M</b>	9,6	<b>M</b>	0

*Tabela 44 - Frequência horária de ônibus. Fonte: Elaboração própria*