

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

DANIEL MATTEI

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA DIMINUIÇÃO DO CONGESTIONAMENTO EM
TRECHO DA RUA DONA FRANCISCA EM JOINVILLE UTILIZANDO O SOFTWARE
DE SIMULAÇÃO SUMO

Joinville

2019

DANIEL MATTEI.

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA DIMINUIÇÃO DO CONGESTIONAMENTO EM
TRECHO DA RUA DONA FRANCISCA EM JOINVILLE UTILIZANDO O SOFTWARE
DE SIMULAÇÃO SUMO

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

Orientadora: Dra. Francielly Hedler Staudt

Joinville

2019

DANIEL MATTEI

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA DIMINUIÇÃO DO CONGESTIONAMENTO EM
TRECHO DA RUA DONA FRANCISCA EM JOINVILLE UTILIZANDO O SOFTWARE
DE SIMULAÇÃO SUMO

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

Banca Examinadora:

Dra. Francielly Hedler Staudt
Orientadora

Me. Benjamin Grando Moreira
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Guilherme Belegante
Membro
SEPUD- Joinville

Dra. Janaína Renata Garcia
Suplente
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a meu pai José Mattei e
minha mãe Cacilda Müller Meurer Mattei.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser o sentido de tudo que faço.

A meus pais José Mattei e Cacilda Müller Meurer Mattei por toda paciência e apoio durante os longos anos de faculdade.

A minha noiva Ana Letícia Moser Florentino por estar sempre ao meu lado com todo amor e compreensão.

A minha orientadora Dra. Francielly Hedler Staudt por toda dedicação, conselhos, e motivação, sem os quais eu não teria concluído este trabalho.

Ao Eng. Guilherme Belegante por colaborar tecnicamente com o desenvolvimento deste trabalho.

Ao SEPUD por fornecer o estudo de caso para a realização deste trabalho.

A minha irmã Beatriz Mattei e aos meus amigos Alexandre Mendonça Fava, Esmeraldina França Schmidt e Marco Antônio Vieira Filho por todo apoio na execução do trabalho.

A todos os professores da UFSC dos quais fui aluno, obrigado por tudo que me ensinaram.

A todos os meus colegas de faculdade que fizeram parte desta jornada.

Aos integrantes da banca que dispuseram seu tempo para me avaliar.

A todos que ofereceram suas orações para que eu conseguisse concluir este trabalho.

“Não há lugar para sabedoria onde não há paciência.”

(Santo Agostinho).

RESUMO

Joinville é a maior cidade do estado de Santa Catarina e apresenta grandes problemas de congestionamento, principalmente quando se tratam de deslocamentos Norte-Sul e Sul-Norte devido a um antigo plano de zoneamento que concentrou as indústrias na região norte, fazendo com que boa parte da população precisasse realizar o mesmo trajeto casa-trabalho nos mesmos horários. Este trabalho busca comparar usando simulação o cenário atual e três cenários propostos de alteração no fluxo de veículos de uma das áreas mais congestionada da cidade de Joinville, na região norte. A primeira proposta considera a implantação de um semáforo, a segunda proposta propõe um binário e um semáforo e a terceira proposta faz apenas algumas alterações no sentido das vias. Para realizar esta pesquisa foram coletados dados por contagem nos horários de pico da manhã: 7h30m às 8h30min, e da tarde: 17h30min às 18h30min em dias de trânsito típico de março e abril de 2019. As simulações foram feitas utilizando o software de simulação SUMO. A intenção deste trabalho é testar propostas de menor custo e que possam ser implementadas em um curto prazo, porém, nenhum dos cenários testados ofereceu uma melhora nos indicadores que atendesse tanto o período da tarde quanto o período da manhã, mas, as análises de resultados contribuíram para encontrar a origem dos principais problemas do cenário atual e onde devem ser feitas alterações que possam apresentar um resultado mais satisfatório em propostas futuras.

Palavras-chave: Simulação. Joinville. SUMO.

ABSTRACT

Joinville is the largest city in the state of Santa Catarina and presents major problems of congestion, especially when it comes to North-South and South-North travels due to an old zoning plan that concentrated the industries in the northern region, making a good part of the population needed to take the same route at the same time to work. This work seeks to compare using simulation the current scenario and three proposed scenarios of change in the flow of vehicles from one of the most congested areas of the city of Joinville in the north. The first proposal considers the deployment of a semaphore, the second proposal proposes a binary and a semaphore and the third proposal only makes some changes towards the ways. In order to carry out this research, data were collected by counting in the peak hours of the morning: 7:30 a.m. to 8:30 a.m., and in the afternoon: 5.30 p.m. to 6.30 p.m. on typical traffic days of March and April 2019. To perform the simulations, the SUMO simulation software was used. The intention of this paper is to test proposals of lower cost and that could be implemented in the short term, however, none of the scenarios tested offered an improvement in the indicators that attended both the afternoon and the morning period, but the analysis of results contributed to find the origin of the main problems of the current scenario and where changes must be made that may present a more satisfactory result in future proposals.

Keywords: Simulation. Joinville. SUMO.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Fluxograma básico de planejamento de transportes. | 21 |
| Figura 2- Relação entre velocidade e volume. | 24 |
| Figura 3- Relação entre velocidade e densidade. | 25 |
| Figura 4- Relação entre volume e densidade. | 25 |
| Figura 5- Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado | 29 |
| Figura 6- Fluxograma de arquivos e passos necessários para gerar uma simulação. | 33 |
| Figura 7- Classificação de pesquisas científicas. | 36 |
| Figura 8- Etapas para o desenvolvimento do trabalho | 37 |
| Figura 9- Escopo do trabalho - vias estudadas e pontos de contagem. | 39 |
| Figura 10- Folha de contagem..... | 40 |
| Figura 11- Movimentos obtidos por contagem, radar, cálculo e estimativa..... | 41 |
| Figura 12- Mapa com sentido de tráfego e localização dos semáforos atualmente. | 44 |
| Figura 13- Fluxo parcial que passa na rota 4..... | 47 |
| Figura 14- Fluxo parcial que passa na rota 25..... | 49 |
| Figura 15- Fluxo parcial que passa na rota 7..... | 50 |
| Figura 16- Fluxo parcial que passa na rota 32..... | 51 |
| Figura 17- Fluxos no período da manhã..... | 52 |
| Figura 18- Fluxos no período da tarde..... | 53 |
| Figura 19- Média de duração entre origens e destinos para o cenário atual..... | 55 |
| Figura 20- Média de tempo perdido por origem-destino no cenário atual. | 56 |
| Figura 21- Média de tempo esperando entre origem-destino no cenário atual. | 57 |
| Figura 22- cenário 1..... | 59 |
| Figura 23- Cenário 2..... | 60 |
| Figura 24- Diagrama de estágios para o novo semáforo do cenário 2. | 61 |
| Figura 25- Cenário 3..... | 62 |
| Figura 26- Média de duração por cenário..... | 63 |
| Figura 27- Média geral de duração por cenário..... | 63 |
| Figura 28- Duração máxima por cenário..... | 64 |
| Figura 29- Média de tempo perdido. | 65 |
| Figura 30- Tempo perdido máximo..... | 65 |
| Figura 31- Média dos tempos de espera por cenário. | 66 |
| Figura 32- Tempo máximo de espera por cenário..... | 66 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33- Média de duração de viagens em segundos entre origens e destinos por cenário no período da manhã..... | 68 |
| Figura 34- Média de duração de viagens em segundos entre origens e destinos no período da tarde. | 69 |
| Figura 35- Sugestão de alterações para trabalhos futuros. | 74 |
| Figura 36- Fluxo parcial que passa na rota 1..... | 86 |
| Figura 37- Fluxo parcial que passa na rota 2..... | 86 |
| Figura 38- Fluxo parcial que passa na rota 3..... | 87 |
| Figura 39- Fluxo parcial que passa na rota 5..... | 87 |
| Figura 40- Fluxo parcial que passa na rota 6..... | 88 |
| Figura 41- Fluxo parcial que passa na rota 8..... | 89 |
| Figura 42- Fluxo parcial que passa na rota 9..... | 89 |
| Figura 43- Fluxo parcial que passa na rota 10..... | 90 |
| Figura 44- Fluxo parcial que passa na rota 11..... | 90 |
| Figura 45- Fluxo parcial que passa na rota 12..... | 91 |
| Figura 46- Fluxo parcial que passa na rota 13..... | 91 |
| Figura 47- Fluxo parcial que passa na rota 14..... | 92 |
| Figura 48- Fluxo parcial que passa na rota 15..... | 92 |
| Figura 49- Fluxo parcial que passa na rota 16..... | 93 |
| Figura 50- Fluxo parcial que passa na rota 17..... | 94 |
| Figura 51- Fluxo parcial que passa na rota 18..... | 94 |
| Figura 52- Fluxo parcial que passa na rota 19..... | 95 |
| Figura 53- Fluxo parcial que passa na rota 20..... | 95 |
| Figura 54- Fluxo parcial que passa na rota 21..... | 96 |
| Figura 55- Fluxo parcial que passa na rota 22..... | 96 |
| Figura 56- Fluxo parcial que passa na rota 23..... | 97 |
| Figura 57- Fluxo parcial que passa na rota 24..... | 97 |
| Figura 58- Fluxo parcial que passa na rota 26..... | 98 |
| Figura 59- Fluxo parcial que passa na rota 27..... | 98 |
| Figura 60- Fluxo parcial que passa na rota 28..... | 99 |
| Figura 61- Fluxo parcial que passa na rota 29..... | 99 |
| Figura 62- Fluxo parcial que passa na rota 30..... | 100 |
| Figura 63- Fluxo parcial que passa na rota 31..... | 100 |
| Figura 64- Fluxo parcial que passa na rota 33..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Figura 65- Fluxo parcial que passa na rota 34..... | 101 |
|--|-----|

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1- Consequências da implantação da sinalização semafórica. | 27 |
| Quadro 2- Indicadores gerados pela simulação..... | 43 |
| Quadro 3- Desempenho dos cenários na solução dos principais problemas do cenário atual.. | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Fatores de equivalência para diferentes tipos de veículos..... | 26 |
| Tabela 2- Resumo dos dados obtidos no levantamento por contagem..... | 41 |
| Tabela 3- Resumo dos principais resultados. | 70 |
| Tabela 4- Comparação entre o cenário atual e o cenário 1 no período da manhã. | 71 |
| Tabela 5- Comparação entre o cenário atual e o cenário 1 no período da tarde..... | 72 |
| Tabela 6- Resultados do levantamento de dados detalhado para o período da manhã..... | 79 |
| Tabela 7- Resultados do levantamento de dados detalhado para o período da tarde. | 82 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONTRAN – Conselho Nacional de Transito

DLR – Centro Aeroespacial Alemão

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

HCM - *Highway Capacity Manual*

IPPUJ - Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville

ITE – *Institute of Transportation Engineers*

SEPUD – Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável

SUMO – *Simulation of Urban Mobility*

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA | 17 |
| 1.2. OBJETIVOS | 18 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 18 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 20 |
| 2.1. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO..... | 20 |
| 2.1.1 Coleta de Dados | 21 |
| 2.1.2 Alocação de Tráfego | 22 |
| 2.2. ENGENHARIA DE TRÁFEGO | 22 |
| 2.2.1 Teoria do Fluxo de Tráfego | 23 |
| 2.2.2 Característica e Definições do Tráfego | 23 |
| 2.3. SEMÁFORO | 26 |
| 2.3.2 Método de Webster | 28 |
| 2.4. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO..... | 31 |
| 2.4.1. SUMO- Simulation of Urban Mobility | 32 |
| 2.4.2 Geração de Redes | 34 |
| 2.4.3 Geração de Fluxo | 34 |
| 2.4.4 Obtenção dos Dados de Saída | 35 |
| 3 METODOLOGIA | 36 |
| 3.1. DEFINIÇÃO DO ESCOPO E ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS | 38 |
| 3.2. LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS | 39 |
| 3.3. CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS | 42 |
| 4 ESTUDO DE CASO | 44 |
| 4.1. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL | 45 |
| 4.1.1 Definição de Rotas e fluxos | 45 |
| 4.1.2 Situação dos Indicadores no Cenário Atual | 54 |
| 4.2. CENÁRIOS PROPOSTOS | 58 |
| 4.2.1 Cenário I | 58 |
| 4.2.2 Cenário II | 59 |
| 4.2.3 Cenário III | 61 |
| 4.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES..... | 62 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.1 Tempo de duração | 62 |
| 4.3.2 Tempo perdido..... | 64 |
| 4.3.3 Tempo de espera | 65 |
| 4.3.4 Média de duração de viagem entre origens e destinos | 67 |
| 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES | 70 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 75 |
| REFERÊNCIAS | 77 |
| APENDICE A – TABELAS DO LEVANTAMENTO DE DADOS | 79 |
| APENDICE B – ROTAS E FLUXOS PARCIAIS..... | 86 |

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade tudo que fazemos envolve direta ou indiretamente o movimento de pessoas, bens e serviços. Estudos voltados ao planejamento de transportes contribuem para facilitar essa movimentação. Segundo Ferraz e Torres (2004), a mobilidade é o elemento balizador do desenvolvimento urbano e proporcionar uma adequada mobilidade para todas as pessoas é essencial para o processo de desenvolvimento econômico e social das cidades. Tendo isso em vista Schofer e Levin (1967, p. 1) afirmam que: “O objetivo do planejamento do transporte urbano é desenvolver um plano para um sistema de transporte eficiente e equilibrado para uma área urbana - que promova um padrão desejável de atividades humanas.” (tradução nossa).

Também para Schofer e Levin (1967) a alta complexidade dos problemas relacionados ao transporte urbano, devido a quantidade de informações e dados que devem ser coletados e manipulados, dão aos computadores um papel fundamental na análise das características urbanas e suas relações, além de, permitirem estimativas futuras do comportamento do tráfego.

A alteração da estrutura ou da forma como o fluxo de veículos deve ocorrer em uma cidade interfere na forma como a população percebe a qualidade do seu deslocamento. Este trabalho irá abordar uma área da cidade de Joinville com um problema relacionado ao grande fluxo de tráfego combinado ao alto número de conflitos de movimentos que acabam resultando em insegurança e congestionamento, sendo o objetivo do trabalho analisar três propostas de alteração no tráfego utilizando um software de simulação chamado SUMO (*Simulation of Urban Mobility*).

1.1. JUSTIFICATIVA

Segundo o plano de mobilidade desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ, 2016, pag. 23) “O Município de Joinville é a maior e mais populosa cidade do Estado de Santa Catarina, com uma extensão territorial de 1.125,70km² e 562.151 habitantes. Localiza-se na Região Sul do Brasil, sendo o polo da microrregião nordeste do estado”.

A estrutura viária de Joinville é explicada pela intensa abertura de vias que ocorre desde o início da fundação e povoação da colônia. Os lotes para moradia iam sendo criados e as vias eram criadas conforme os lotes eram vendidos, junto a isso, as características naturais

do terreno da cidade, elevações, restingas e manguezais acabaram configurando uma rede viária extremamente espontânea e sem critérios acadêmicos (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2018).

Uma das primeiras ruas a ser aberta em Joinville foi a Rua Dona Francisca, construída por volta de 1900, a então chamada estrada Dona Francisca contribuiu para configurar uma ocupação em sentido norte-sul na cidade (IPPUJ, 2016). Atualmente esta rua apresenta grandes congestionamentos, segundo o plano de mobilidade de Joinville. Em 1975 foi definida uma zona industrial na região norte com o objetivo de resolver os problemas de ordenamento territorial da época, porém, paralelamente houve uma intensa ocupação residencial na zona sul resultando em um dos maiores problemas atuais da mobilidade de Joinville: os deslocamentos diários e pendulares casa-trabalho no sentido norte-sul (IPPUJ, 2016).

Portanto este trabalho buscou diminuir o congestionamento da região em torno da Rua Dona Francisca, no norte da cidade de Joinville apresentando alternativas que objetivam resolver os problemas de conflitos de movimentos e alocar melhor os fluxos de tráfego.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos gerais e específicos desta pesquisa guiaram as atividades descritas nesse relatório e são apresentadas nas próximas seções. Os objetivos específicos são resultados intermediários do objetivo geral proposto, ou seja, são metas estipuladas que deverão ser cumpridas para se alcançar o objetivo geral.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar propostas de mudança no tráfego que possam diminuir o congestionamento na região da rotatória da Rua Arno Waldemar Döhler em Joinville através de simulações com o software SUMO.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar o comportamento do tráfego na região de estudo através de contagens e observação;

- Implementar um modelo de simulação que se aproxime da realidade utilizando o software SUMO;
- Verificar o comportamento do tráfego na região estudada na hipótese de aplicação dos cenários propostos;
- Avaliar os resultados obtidos e sugerir mudanças no tráfego ou novas propostas de simulações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados conceitos importantes para o entendimento dos métodos e análises que serão realizados neste trabalho, o referencial teórico discorrerá sobre o planejamento de transporte urbano, a engenharia de tráfego, semáforos e simulação de tráfego, apresentando alguns autores e manuais que balizam a engenharia e o planejamento de transportes. Será tratado sobre a importância do planejamento de transporte urbano para a qualidade de vida, a importância do uso de computadores, os principais conceitos e definições da engenharia de tráfego e do controle de intersecções por semáforos, além de apresentar o software de simulação SUMO, mostrar como utiliza-lo e alguns exemplos de aplicação.

2.1. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO

A engenharia de transportes busca aplicar tecnologia e princípios científicos ao planejamento, operação e gerenciamento de instalações com o objetivo de melhorar a segurança, a velocidade, o conforto, o ambiente e o custo de todos os meios de transporte (*Institute of Transportation Engineers*, 2009 apud ROESS; PRASSAS; MCSHANE, 2011, p. 1).

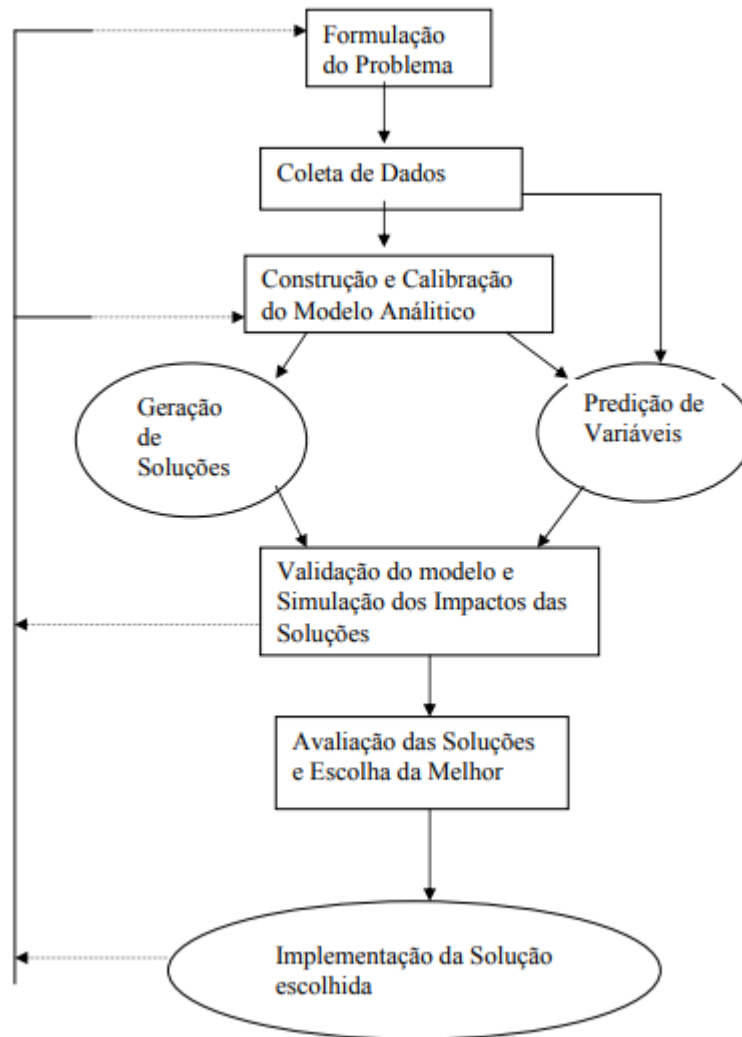
Schofer e Levin (1967) diz que o Processo de Planejamento de Transporte é difícil devido ao tamanho dos sistemas envolvidos, as varias inter-relações, a dificuldade de entender os objetivos da comunidade e pela enorme quantidade de informações e dados envolvidos. E afirma: “Sem manipular essa informação de uma maneira que permita a análise, características importantes da região urbana e suas inter-relações não poderiam ser avaliadas.” (SCHOFER, 1967, pag. 2, tradução nossa).

Para Ferraz e Torres (2004), os custos e a facilidade de deslocamento de pessoas nas áreas urbanas são indicadores importantes da qualidade de vida de uma sociedade e atividades de planejamento e gestão são vitais para garantir qualidade e eficiência no transporte publico. Schofer e Levin (1967) já frisavam a importância do uso de computadores no processo de planejamento de transporte urbano:

[...] os computadores desempenham um papel importante em fornecer aos planejadores de transporte a capacidade de avaliar uma variedade de sistemas de transporte propostos, a fim de recomendar a alocação de recursos do governo e orientar a política de transporte. (pag. 1, tradução nossa).

A Figura 1 mostra um fluxograma que representa bem o processo de planejamento de transportes.

Figura 1- Fluxograma básico de planejamento de transportes.



Fonte: Campos (2013).

Na seção seguinte serão listadas algumas formas de se fazer a coleta de dados.

2.1.1 Coleta de Dados

Uma das etapas mais importantes do processo de planejamento de transportes é a coleta de dados (BRASIL, 2015). Para Campos (2013) o objetivo desta etapa é “definir o padrão de viagens e uso do solo na área de estudo e fazer um diagnóstico sobre o sistema de transporte existente” (p. 16).

Existem vários tipos de pesquisa para fazer o levantamento de dados, alguns dos tipos mais usados segundo Campos (2013) são:

- Entrevistas domiciliares;
- Contagem de tráfego;
- Pesquisa no tráfego (Entrevistas diretas na via);
- Pesquisa de embarque e desembarque em ônibus.

Para este trabalho a forma mais indicada de fazer a coleta de dados, por se tratar de uma simulação de tráfego local, é a contagem de tráfego.

2.1.2 Alocação de Tráfego

Uma etapa importante no processo de planejamento de transporte urbano é a alocação de tráfego. Os métodos de alocação de tráfego buscam realizar: i) a escolha das rotas que serão usadas para fazer as viagens entre uma origem e um destino e ii) a distribuição de fluxos nas rotas escolhidas (CAMPOS, 2013).

A técnica de alocação de tráfego mais antiga é chamada de “Tudo ou Nada” (POTTS, 1972, HUTCHINSON, 1979, PAPACOSTAS, 1987 apud CAMPOS, 2013). Esta técnica se baseia no conceito de que todo fluxo busca passar pela rota de caminho mínimo, portanto serve para redes com poucas rotas e fornece uma visão macroscópica da distribuição do tráfego (CAMPOS, 2013).

Outras técnicas mais precisas foram sendo desenvolvidas posteriormente, entre elas a técnica da curva de dispersão, as técnicas de alocação com restrição de capacidade, técnicas de alocação incremental, múltiplos caminhos, modelos de equilíbrio estático, modelos dinâmicos, entre outros (CAMPOS, 2013).

2.2. ENGENHARIA DE TRÁFEGO

O *Institute of Transportation Engineers* (2009 apud ROESS; PRASSAS; MCSHANE, 2011, p. 1) define a engenharia de tráfego como:

[...] um ramo da engenharia de transportes que lida com o planejamento, projeto geométrico e operação de tráfego de estradas, ruas e rodovias, suas redes, terminais, áreas adjacentes e relações com outros modos de transporte.(tradução nossa).

É interessante notar que segundo esta definição a engenharia de tráfego tem uma área de aplicação muito ampla, contribuindo tanto para a área de infraestrutura quanto para a operação das vias, com aplicações na organização do fluxo de veículos nas vias de uma

cidade. Para Vieira (20--?), a engenharia de tráfego serve para diminuir o tempo perdido no transporte de pessoas e mercadorias e aumentar a segurança nos deslocamentos. Segundo o mesmo autor, ela é muito importante pois as soluções para os problemas do trânsito só são obtidas através da engenharia, educação e fiscalização.

2.2.1 Teoria do Fluxo de Tráfego

A teoria dos fluxos de tráfego pode ser definida como um conjunto de modelos matemáticos que buscam expressar as características do tráfego e definir parâmetros (ROESS; PRASSAS; MCSHANE, 2011). A ciência dos fluxos de tráfego começou formalmente nos anos 1930, com a publicação dos artigos de Bruce D. Greenshields e continuou se desenvolvendo com trabalhos posteriores. A teoria é fundamental para os estudos da engenharia de tráfego atuais (ROESS; PRASSAS; MCSHANE, 2011).

Greenshields (1935) demonstrou em seu artigo intitulado “*A Study of Traffic Capacity*” que os congestionamentos se iniciam quando a densidade de veículos em uma via aumenta e alguns veículos com velocidades menores passam a gerar atraso em outros veículos. Algo que já havia sido afirmado por Dean A.N Johnson da *University of Maryland* (1931 apud. GREENSHIELDS, 1935):

Podemos visualizar uma estrada onde trafegam apenas alguns veículos e concordamos que não há congestionamento. Mas à medida que o número de veículos aumenta, haverá um ponto em que alguns veículos serão atrasados, porque não serão imediatamente capazes de passar por outros veículos mais lentos. Tal ponto indica o início do congestionamento ou o que pode ser chamado de 'capacidade de trabalho' ou 'capacidade de movimentação livre' da rodovia. (p.1, tradução nossa).

Estas descobertas foram sendo aperfeiçoadas em estudos posteriores de modo que hoje em dia é possível analisar e prever com muito mais precisão o comportamento dos fluxos de tráfego. A partir de algumas definições e características do tráfego que serão apresentadas na próxima seção, é possível demonstrar graficamente utilizando algumas relações o que Greenshields constatou por observação.

2.2.2 Característica e Definições do Tráfego

Segundo Leite (1980) e também O’Flaherty (1997), as três variáveis mais importantes relacionadas ao tráfego são: fluxo ou volume, densidade e velocidade média no espaço. “A análise destes três elementos permite a avaliação global da fluidez do movimento geral de veículos.” (DNIT, 2006, pag. 63).

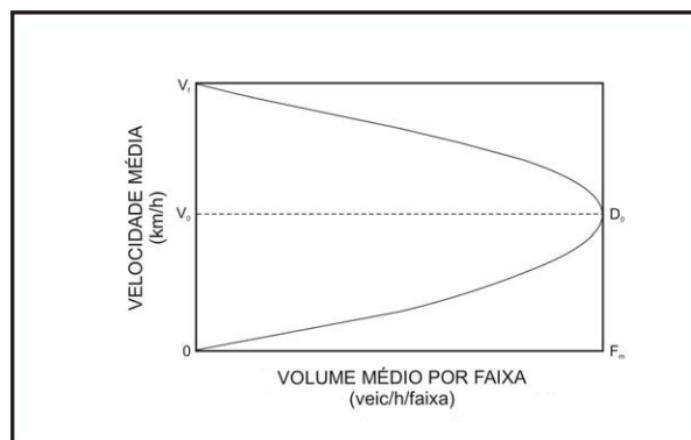
O Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), define estes três principais parâmetros como:

- Volume de Tráfego (ou Fluxo de Tráfego) (F): quantidade de veículos que passam por uma seção de uma via durante uma hora, expresso em veículos por hora (vph);
- Velocidade Média no Espaço (Vm): é o comprimento de um trecho de uma via dividido pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo os tempos em que os veículos estejam em repouso;
- Densidade (D): é a quantidade de veículos por unidade de comprimento da via.

As variáveis fundamentais se relacionam de forma importante e são representadas graficamente por três relações (DNIT, 2006):

- a) Relação entre velocidade e volume: Partindo da velocidade de fluxo livre (V_f), aumentando o valor do fluxo, reduz-se a velocidade média até chegar a um ponto de densidade ótima (D_o), que corresponde a capacidade da via. A partir deste ponto a entrada de mais veículos causa a diminuição da velocidade e da densidade.

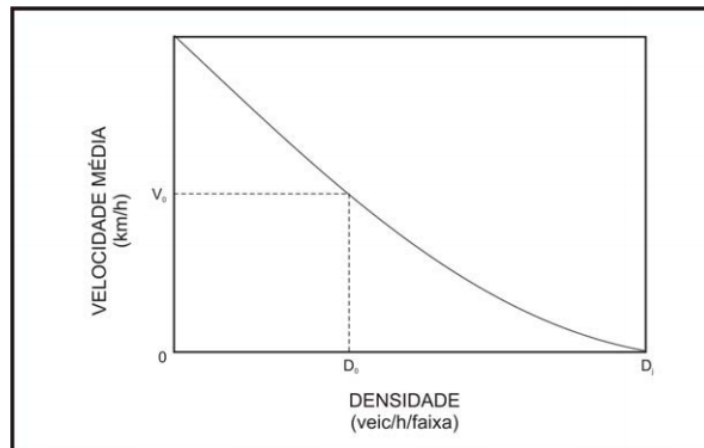
Figura 2- Relação entre velocidade e volume.



Fonte: DNIT (2006).

- b) Relação entre velocidade e densidade: Quando a densidade aumenta a velocidade média da via diminui.

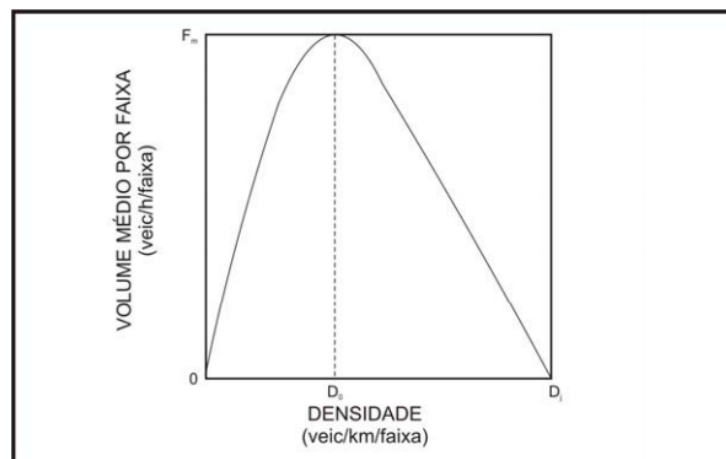
Figura 3- Relação entre velocidade e densidade.



Fonte: DNIT (2006).

- c) Relação entre volume e densidade: O fluxo de tráfego aumenta junto com a densidade até que se atinja a densidade ótima, a partir desse ponto o fluxo de tráfego tende a diminuir com o aumento da densidade.

Figura 4- Relação entre volume e densidade.



Fonte: DNIT (2006).

Além destas relações, para melhor analisar as alterações do fluxo de tráfego é necessário o conhecimento de mais alguns parâmetros e indicadores, definidos por:

- Horas de pico: “Os volumes horários variam ao longo do dia, apresentando pontos máximos acentuados, designados por picos” (DNIT, 2006). “As Horas de Pico, contendo os maiores volumes de veículos de uma via em um determinado dia, variam de local para local, mas tendem a se manter estáveis em um mesmo local, no mesmo dia da semana” (DNIT, 2006).

- Volume hora pico (Vhp): Média do fluxo de veículos que passam por uma intersecção durante o horário de pico.
- $V_{15\max}$: volume do período de quinze minutos com maior fluxo dentro da hora de pico.
- Fator Horário de Pico (FHP): O volume de veículos que passa por uma seção de uma via não é uniforme durante toda a hora de pico. O FHP (Equação 1) serve para medir essa flutuação e mostrar o grau de uniformidade do fluxo de tráfego. (DNIT, 2006).

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4 \times V_{15\max}} \quad (1)$$

- Velocidade de fluxo livre (Vf): é a velocidade média dos veículos quando apresenta volumes baixos de tráfego e nenhuma restrição para suas velocidades (DNIT, 2006).
- Espaçamento: “distância entre dois veículos sucessivos, medida entre pontos de referência comuns” (DNIT, 2006).
- *Headway*: “tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto” (DNIT, 2006).
- Capacidade: número máximo de veículos que poderá passar por um determinado trecho de uma faixa ou pista durante um período de tempo determinado, sob as condições reais predominantes na via e no tráfego.
- Volume de tráfego equivalente (Veq): “Denomina-se volume de tráfego equivalente o volume de tráfego veicular expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp)”(CONTRAN, 2014). Os fatores de equivalência para conversão em unidades de carros de passeio podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1- Fatores de equivalência para diferentes tipos de veículos.

| TIPO | FATOR DE EQUIVALÊNCIA |
|-------------|------------------------------|
| Automóvel | 1 |
| Moto | 0,33 |
| Ônibus | 2 |
| Caminhão | 2,5 |

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014).

2.3. SEMÁFORO

Semáforos são componentes da sinalização viária que fazem uso de sinais luminosos que se alternam por meio de sistema eletromecânico ou eletrônico e tem principalmente a finalidade de regulamentar os direitos de passagem (CONTRAN, 2014).

Para Leite (1980), a instalação de semáforos proporciona algumas vantagens como: um movimento mais ordenado do tráfego, reduz acidentes, permite que uma corrente secundária de tráfego entre na corrente principal mais facilmente e permite que o motorista faça os cruzamentos com mais tranquilidade. Porém é importante que sejam seguidos uma série de critérios na instalação de semáforos, caso contrário eles podem gerar mais problemas do que soluções porque aumentam o total da demora nas intersecções (LEITE, 1980).

Antes de se implementar um semáforo avaliam-se alguns critérios como a estimativa do número de atropelamentos evitáveis pela sinalização, número de colisões de veículos evitáveis pela sinalização e se o tempo de espera de pedestres e veículos para atravessar a interseção justifica a implantação de semáforo (CONTRAN, 2014). Além disso, sempre se deve avaliar todas as alternativas mais simples como rotatórias, redução de velocidades e proibição de estacionamentos antes de definir se uma interseção recebera a sinalização semafórica ou não (CONTRAN, 2014). Algumas consequências da implantação semafórica podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1- Consequências da implantação da sinalização semafórica.

| IMPLANTAÇÃO JUSTIFICADA | IMPLANTAÇÃO NÃO JUSTIFICADA |
|--|--|
| Aumento da segurança viária | Aumento de ocorrência de acidentes de trânsito |
| Melhoria da fluidez do trânsito, na medida em que promove distribuição adequada dos tempos destinados a cada movimento | Imposição de atrasos excessivos |
| Controle do direito de passagem dos movimentos de veículos e pedestres com a consequente redução de conflitos | Indução ao desrespeito à sinalização devido à ociosidade na operação |
| Redução de atrasos | Descrédito em relação à sinalização |
| Credibilidade por parte dos usuários em relação à sinalização | Gastos desnecessários de recursos públicos |

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014).

Para entender como funciona o controle de uma intersecção por semáforos é necessário compreender alguns conceitos e definições. Os conceitos mais importantes segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2014) são:

- a) Movimento: fluxo de veículos que tem a mesma origem e mesmo destino em uma intersecção;
- b) Grupo de movimentos: é o conjunto de movimentos em uma intersecção que recebem simultaneamente o direito de passagem;
- c) Estágio: é o intervalo de tempo em que um grupo de movimentos recebe o direito de passagem. Compreende o tempo de verde e entreverdes;
- d) Entreverdes: é o intervalo de tempo correspondente ao final do verde de um estágio e o início do verde do próximo estágio;
- e) Ciclo: é a sequência completa de todos os estágios de uma sinalização semafórica;
- f) Tempo de ciclo: intervalo de tempo que dura um ciclo completo, ou seja, é a soma da duração de todos os estágios.
- g) Diagrama de estágios: é a representação gráfica da alocação de movimentos possíveis em cada estágio;
- h) Diagrama de barras: serve para representar a duração e a sequência dos estágios com o auxílio de barras horizontais.

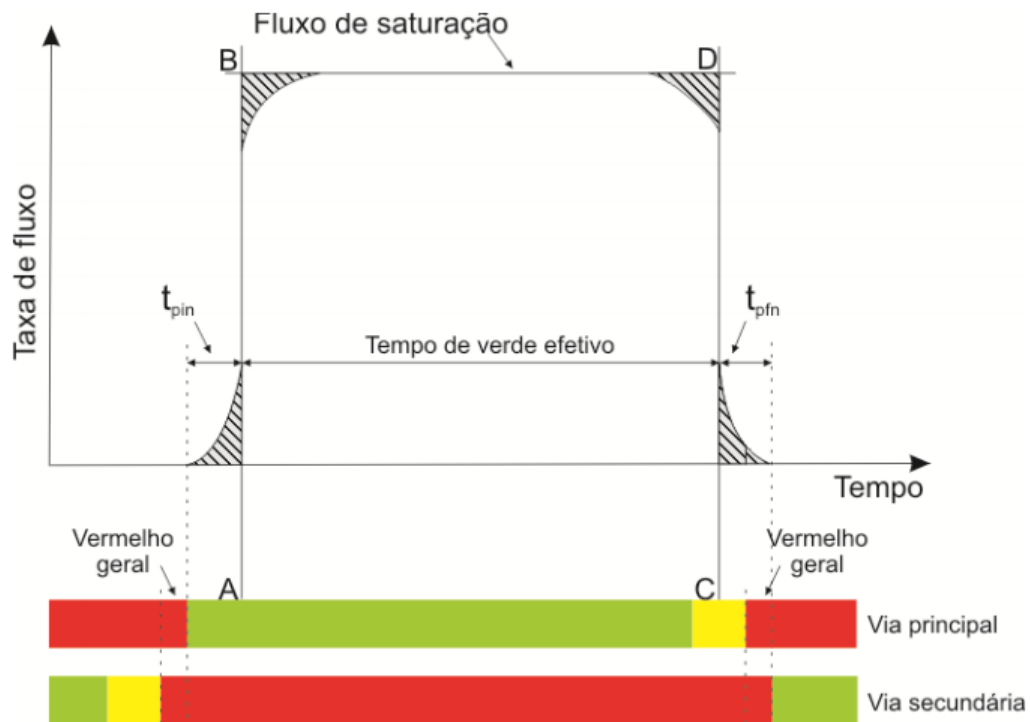
Na próxima seção será abordado um método para fazer o dimensionamento dos tempos semafóricos.

2.3.2 Método de Webster

O método de Webster é o método mais clássico para o dimensionamento dos tempos semafóricos. O método consiste em encontrar um tempo de ciclo ótimo que minimize o atraso total na intersecção.

O fluxo de saturação e o tempo perdido de um ciclo são conceitos importantes para entender o método de Webster. A Figura 4 demonstra a relação entre os tempos perdidos de um ciclo e o fluxo de saturação.

Figura 5- Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado



Fonte: CONTRAN, 2014

O fluxo de saturação corresponde ao número máximo de veículos que poderiam passar por uma aproximação caso essa aproximação tivesse indicação verde por uma hora (CONTRAN, 2014). Segundo o *Highway Capacity Manual* (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000) o fluxo de saturação básico estimado de forma geral é de 1900 ucp/h/faixa. O tempo perdido de um ciclo corresponde ao tempo do ciclo que não é efetivamente utilizado pelos veículos, representados por t_{pin} e t_{pfn} na Figura 4. Por exemplo t_{pin} ocorre porque quando o sinal fica verde ainda demora um tempo até que o fluxo de passagem seja máximo devido aos veículos partirem do repouso e existir um *delay* de percepção da mudança de sinal por parte do motorista. Além disso, nas trocas de estágio geralmente existe um período de entreverdes (amarelo) durante o qual o fluxo de veículos que vão perder o direito de passagem começa a reduzir, representado por t_{pfn} (CONTRAN, 2014).

O tempo perdido total (T_p) pode ser calculado conforme a equação 2 (CONTRAN, 2014).

$$T_p = t_{ep} + \sum_{i=1}^n (t_{pini} + t_{pfni}) \quad (2)$$

Onde:

T_p - tempo perdido total, em segundos;

t_{ep} – tempo de estágio exclusivo para pedestres, em segundos;

n – número de estágios veiculares existentes;

tp_{ini} – tempo perdido no início do estágio i , em segundos;

tp_{fni} – tempo perdido no final do estágio i , em segundos.

É importante também definir a taxa de ocupação (y) de um grupo de movimentos que é expressa em relação ao fluxo de tráfego e o fluxo de saturação, como mostra a Equação 3 (CONTRAN, 2014):

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

Onde:

y – taxa de ocupação;

F – Fluxo de tráfego do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

FS – fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora.

A partir da taxa de ocupação é possível encontrar o grupo de movimentos crítico. O grupo crítico é o grupo de movimentos que tem a maior taxa de ocupação entre os que recebem verde no atual estágio.

Tendo esses dados é possível usar o método de Webster para calcular o tempo de ciclo ótimo do semáforo utilizando a equação 4 (CONTRAN, 2014).

$$tco = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (4)$$

Onde:

tco – tempo de ciclo ótimo, em segundos;

T_p – tempo perdido total, em segundos;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

n – número de estágios.

Na próxima seção serão abordadas algumas questões sobre a simulação de tráfego e o software SUMO será apresentado juntamente com explicações gerais sobre como criar uma simulação.

2.4. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Barceló (2010) afirma que uma abordagem metodológica eficiente para o estudo de fenômenos de alta complexidade é a abordagem sistêmica. Sendo o sistema “[...] um todo consistindo em componentes interconectados, complexos e funcionalmente relacionados, que pode ser estudado cientificamente usando uma representação formal ou modelo [...]”. (BARCELÓ, 2010, pag. 1, tradução nossa). O fluxo de tráfego pode ser modelado de três formas: macroscópica, microscópica e mesoscópica,

A modelagem macroscópica considera o fluxo de tráfego como um fluido contínuo e tem como objetivo descrever a evolução no tempo espaço das variáveis que caracterizam estes fluxos, como: volume, velocidade e densidade que são definidas em cada unidade de tempo e em cada ponto do espaço (BACELÓ, 2010).

A modelagem microscópica se preocupa com a descrição do movimento de cada veículo individualmente e lida com informações como acelerações, desacelerações (modelo *Car-Following*) e mudanças de faixa (modelo *Lane-Changing*) (BACELÓ, 2010).

A modelagem mesoscópica é uma combinação de aspectos microscópicos e macroscópicos, este tipo de modelagem lida com veículos individuais, mas também com as questões da dinâmica dos veículos (BACELÓ, 2010).

Existem vários softwares de simulação comerciais disponíveis, alguns deles são listados abaixo:

- VISSIM (Simulação microscópica);
- AVENUE (Simulação mesoscópica);
- Paramics (Simulação microscópica);
- Aimsun (Simulação macroscópica, microscópica e mesoscópica);
- MITSIMLab (Simulação microscópica);
- SUMO (Simulação microscópica);
- DRACULA (Simulação microscópica);
- Dynameq (Simulação mesoscópica e microscópica);
- DynaMIT (Simulação mesoscópica e microscópica);
- METANET (Simulação macroscópica).

Apesar da existência de vários softwares de simulação microscópica, neste trabalho será utilizado o SUMO, que será detalhado na próxima seção.

2.4.1. SUMO- Simulation of Urban Mobility

O SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) é um simulador de tráfego de código aberto, que pode ser utilizado para simulações microscópicas de grandes redes rodoviárias. (SUMO-Wiki, c2008). O SUMO começou a ser desenvolvido no ano 2000 e foi implementado pela primeira vez em 2001. No início o SUMO foi desenvolvido pelo Centro de Informática Aplicada de Colônia (ZAIK) e pelo Instituto de Sistemas de Transporte (ITS) no Centro Aeroespacial Alemão (DLR), porém, a partir de 2004 apenas o DLR continuou a trabalhar com o SUMO. (BARCELÓ, 2010).

Os desenvolvedores do SUMO perceberam que uma grande quantidade de estudos acadêmicos, teses de doutorado e de mestrado na área de transportes precisavam utilizar simulações, isso fazia com que os acadêmicos acabassem desenvolvendo seus próprios simuladores de tráfego, porém, esses simuladores eram incompletos e avaliavam o tráfego por diferentes características, o que tornava a comparação de resultados entre eles muito difícil. Então foi decidido que o SUMO seria um software de código aberto para que todos pudessem usá-lo em suas pesquisas e os resultados acadêmicos pudessem ser mais facilmente comparados (BARCELÓ, 2010).

As principais características do SUMO são:

- Simulação de fluxo de tráfego microscópico com espaço contínuo e tempo discreto;
- Código aberto;
- Exige pouca memória;
- Alta velocidade de simulação;

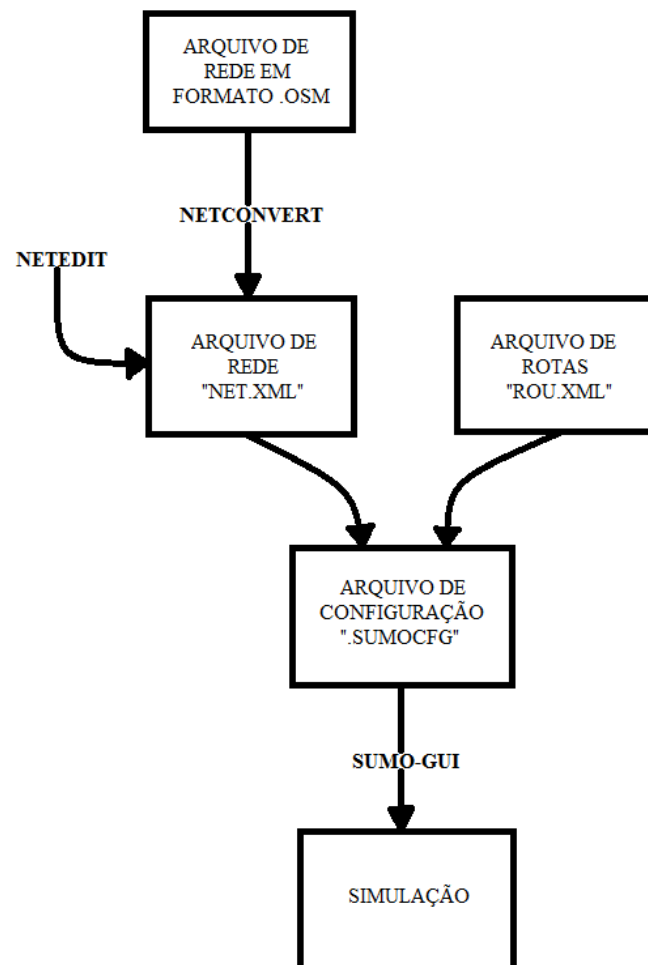
A abordagem de simulação do SUMO considera principalmente o modelo de *Car-Following*. Segundo Song et al. (2014) modelos de Car-Following determinam que a velocidade, aceleração e desaceleração de um veículo se adaptam de acordo com o comportamento do veículo a sua frente, o veículo que segue sempre busca manter uma distancia segura do veículo líder (veículo a frente).

Além do SUMO o pacote é composto por várias aplicações que desempenham papéis diferentes na construção e desenvolvimento das simulações. As aplicações mais importantes são definidas segundo o SUMO-Wiki (c2008) como:

- a) SUMO: é a própria simulação em linha de comando.
- b) SUMO-Gui: é a aplicação que permite observar a simulação do SUMO graficamente.
- c) NETCONVERT: serve para converter redes de tráfego importadas de outros simuladores ou formatos como osm, shp em redes xml compatíveis com o SUMO.
- d) NETGENERETE: gera redes de tráfego que podem ser usadas por outras aplicações do SUMO.
- e) NETEDIT: é o editor gráfico das redes de tráfego do SUMO. Com ele é possível editar mais facilmente os arquivos gerados pelo NETCONVERT (ultima versão do SUMO já permite editar também arquivos de rotas com esta aplicação).

Para criar, uma simulação no SUMO é necessário criar um arquivo de rotas, um arquivo de redes e um arquivo de configuração que una as rotas com as redes (Figura 6).

Figura 6- Fluxograma de arquivos e passos necessários para gerar uma simulação.



Fonte: Autor (2019).

Nas próximas seções será explicado melhor como realizar os passos mostrados na Figura 6 para gerar uma simulação.

2.4.2 Geração de Redes

Uma rede é composta por nós e arestas, as arestas representam as vias e os nós representam na maioria das vezes interseções de duas ou mais vias, porém também podem representar pontos onde o número de faixas muda, onde há semáforo, mudanças de velocidade permitida, etc.

Geralmente as redes usadas no SUMO são fornecidas nos formatos usados por outro pacote de simulação e é necessário importá-las de ferramentas digitais disponíveis como o *OpenStreetMaps* (formato “.osm”) por exemplo. Para tornar estas redes compatíveis com o SUMO é necessário utilizar uma ferramenta chamada “NETCONVERT” (BARCELÓ, 2010). O NETCONVERT gera arquivos de rede em XML que podem ser abertos no SUMO, porém informações importantes são perdidas, como qual faixa deve ser usada para fazer a conversão para a aresta seguinte, preferências nas interseções, ou informações sobre a localização e programação dos semáforos. Para contornar este problema o NETCONVERT utiliza aproximações heurísticas para estimar os valores perdidos (BARCELÓ, 2010). Após a criação do arquivo de rede é possível usar a aplicação “NETEDIT” para editar a rede sem a necessidade de mexer diretamente nos códigos XML do arquivo (SUMO-Wiki, c2008).

Outra forma de obter um arquivo de redes é criá-lo manualmente através do *prompt* de comando utilizando como chamada arquivos de extensão xml que descrevem nós (.nod.xml) e arestas (.edg.xml)(SUMO- Wiki, c2008). Porém essa forma não é muito utilizada quando se lida com problemas reais de grande proporção como no caso deste trabalho.

2.4.3 Geração de Fluxo

O SUMO foi desenvolvido para representar cada veículo isoladamente indo de um ponto a outro da rede (BARCELÓ, 2010), por isso para que se possa modelar o fluxo de veículos e suas respectivas rotas é necessário criar um arquivo XML onde serão definidos os tipos de veículos, as rotas listando por quais arestas os veículos devem passar e o tempo de início e fim da geração de veículos em cada rota, além do fluxo de veículos que passam por hora na rota (SUMO-Wiki, c2008). Fluxos também podem ser gerados utilizando algumas

aplicações disponíveis no SUMO, como *RandomTrips*, *OD2Trips*, *DUAROUTER*, entre outros.

Os fluxos podem ser configurados por rotas fixas, criando uma rota com todas as arestas que fazem parte dela e depois definindo os fluxos e atribuindo em qual rota eles devem passar. Também é possível criar os fluxos diretamente indicando apenas uma aresta de origem e uma aresta de destino, essa configuração também possibilita indicar algumas arestas obrigatórias para o fluxo passar, assim, os veículos percorrem um caminho que passe obrigatoriamente por uma aresta, porém se não houver restrição eles podem passar por qualquer caminho que ligue a origem ao destino. Neste trabalho os fluxos foram configurados com origens, destinos e ruas obrigatórias.

Para abrir a simulação no SUMO é necessário criar um arquivo de configuração (.sumocfg) que defina o tempo de simulação e vincule os arquivos XML de rotas com o arquivo de redes (SUMO-Wiki, c2008). Além de vincular os arquivos de rotas e redes, este arquivo pode receber diversos inputs, até mesmo gerações de relatórios, como será mostrado na próxima seção.

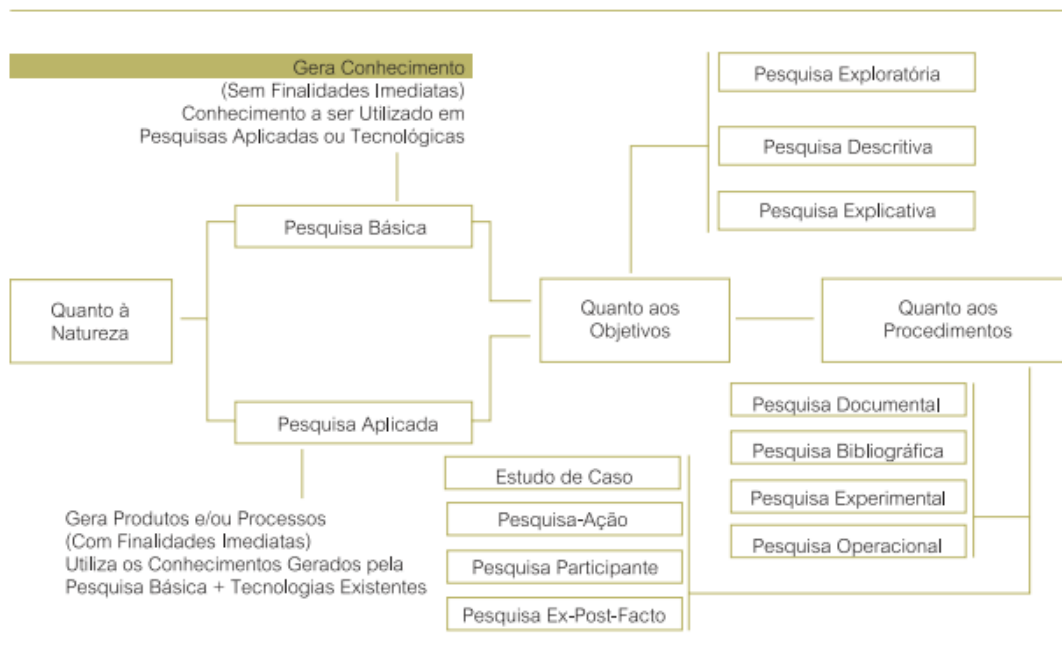
2.4.4 Obtenção dos Dados de Saída

Existem vários tipos de dados de saída no SUMO, um deles é o *TripInfo*, que gera dados específicos sobre as viagens, como o instante de saída do veículo, o tempo de viagem, tempo perdido, comprimento da rota, entre outros, que serão abordados mais especificamente na seção 3.3 deste trabalho. Para gerar os dados de saída utilizando o *TripInfo* é necessário adicionar algumas instruções no código do arquivo de configurações (.sumocfg) citado na seção anterior.

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica tem como objetivo conhecer aspectos de um determinado assunto e despertar o espírito de investigação humana buscando o avanço do conhecimento de forma metódica, sistemática e crítica (PRODANOV; DE FREITAS, 2013). Segundo o mesmo autor, podem existir vários tipos de pesquisa científica que podem ser classificados quanto a natureza, quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos. A Figura 7 apresenta um esquema que exemplifica estas classificações.

Figura 7- Classificação de pesquisas científicas.



Fonte: Prodanov (2013).

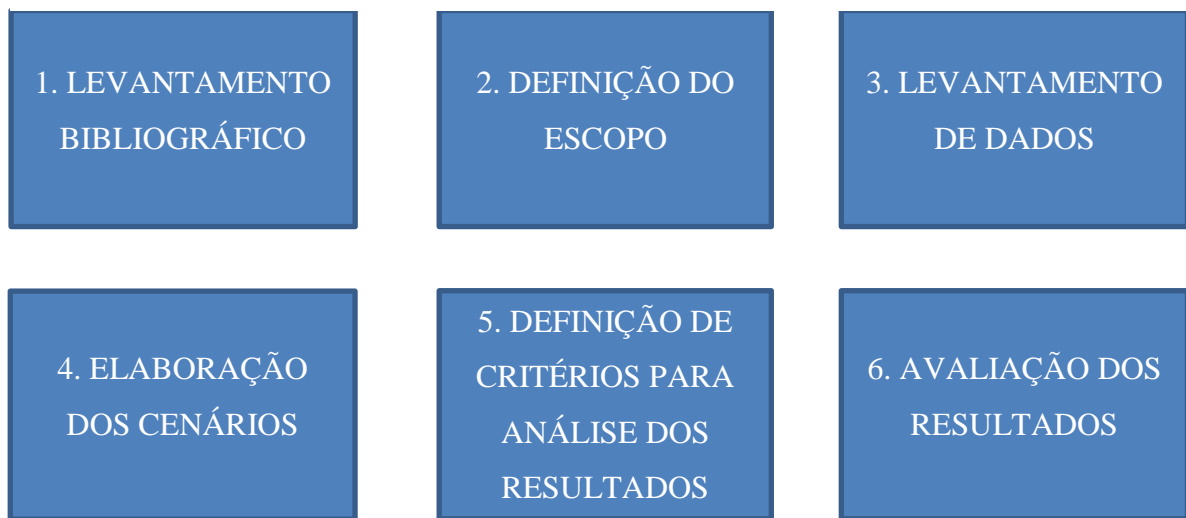
“A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos e envolve verdades e interesses locais.” (PRODANOV, DE FREITAS, 2013, p. 51). Devido a presente pesquisa ter como objetivos o fim prático de diminuir congestionamentos, podemos classifica-la como de natureza aplicada.

Para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa é explicativa quando “[...] o pesquisador procura explicar os porquês das coisas e suas causas, por meio do registro, da análise, da classificação e da interpretação do fenômenos observados” (p. 53). Neste trabalho procurar-se-á entender o porquê dos problemas de transito na área estudada, então a pesquisa é explicativa.

Quanto aos procedimentos, este trabalho classificasse como um estudo de caso porque, segundo Yin (2001), “Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (p. 32). Esta definição diz exatamente o que se propõe fazer com a presente pesquisa: uma investigação empírica para investigar o fenômeno do congestionamento em uma região de Joinville.

Para atingir os objetivos propostos o trabalho se desenvolveu de acordo os passos apresentados na Figura 8.

Figura 8- Etapas para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autor (2019).

Na primeira etapa foi realizado o levantamento bibliográfico sobre a engenharia de tráfego, o controle de intersecções semaforicas e a simulação de tráfego usando SUMO. Na segunda etapa define-se o escopo do trabalho, que compreende a área a ser estudada, os períodos do dia a serem avaliados e os pontos em que as contagens do fluxo de veículos devem ser feitas. Para o levantamento de dados, etapa 3, realizou-se: (i) a contagem dos veículos em diversos pontos da área estudada durante os horários de pico da manhã e da tarde, e (ii) a cronometragem do tempo de ciclo dos semáforos existentes na área estudada.

Na etapa 4 elaboram-se as simulações utilizando o software SUMO. Inicialmente a simulação do cenário atual é feita, para então três novos cenários propostos serem avaliados. Para a avaliação dos resultados obtidos pelos cenários propostos em comparação com o atual foi necessário definir os critérios para análise dos resultados das simulações, etapa 5 da Figura 6. Utilizou-se para tanto os dados de saída do tipo *TripInfo* do SUMO. Por fim, na etapa 6 foram comparados todos os resultados das simulações e foram apresentadas avaliações de como as mudanças propostas afetariam positiva ou negativamente o desempenho do tráfego

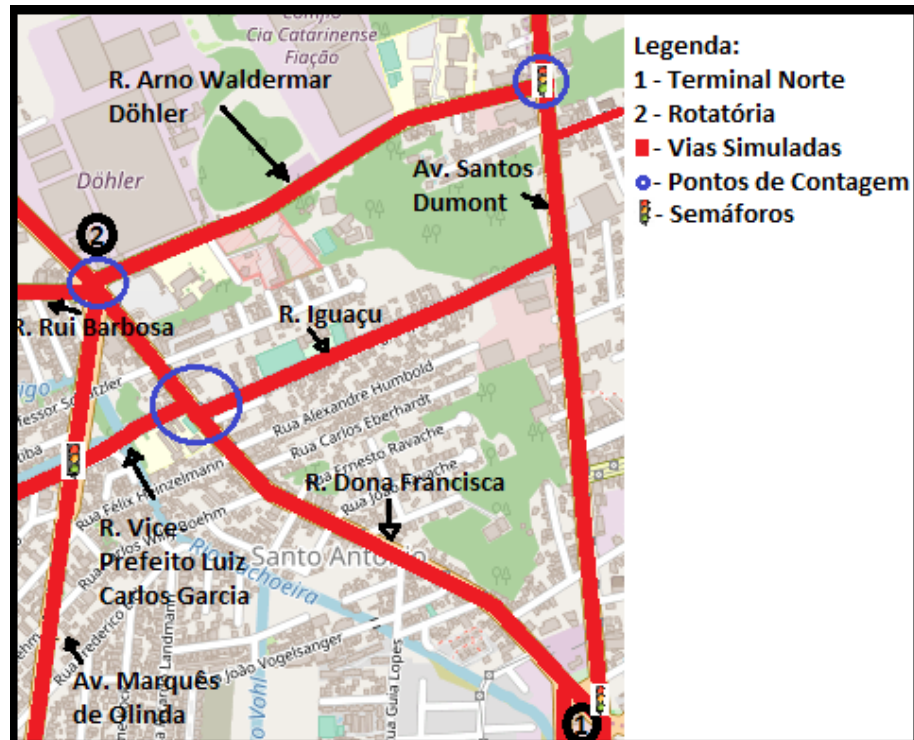
atual. A definição do escopo, o levantamento de dados e os critérios de análise serão tratados mais detalhadamente nas seções seguintes.

3.1. DEFINIÇÃO DO ESCOPO E ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS

Para a definição do escopo do trabalho e a elaboração dos cenários foram realizadas algumas reuniões na Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável de Joinville (SEPUD), onde foram discutidos os principais problemas de congestionamento verificados em diversos pontos da cidade de Joinville – SC. Uma destas áreas está demonstrada na Figura 9, e compreende o trecho da Rua Dona Francisca, entre o terminal norte (indicado pelo número 1 na Figura 9) e a rotatória da Rua Arno Waldemar Döhler (número 2 na Figura 9). Neste trecho acontecem grandes congestionamentos nos horários de pico da manhã e da tarde, intensificados principalmente pelos conflitos de conversão na interseção da Rua Dona Francisca com as ruas Iguaçu e Vice-Prefeito Carlos Luiz Garcia e a insegurança devido ao grande número de entradas e saídas na rotatória.

A partir da problemática identificada no trecho em estudo, avaliaram-se as vias que exercem maior influência no problema e definiu-se uma área do mapa onde as modificações e simulações deveriam ser feitas. O escopo final do trabalho compreende toda a região apresentada na Figura 9, sendo as linhas vermelhas as vias que farão parte da simulação, e os círculos roxos os três pontos de contagem.

Figura 9- Escopo do trabalho - vias estudadas e pontos de contagem.



Fonte: Adaptado de OpenStreetMap (2019).

O levantamento de dados realizado nos pontos de contagem e nas intersecções semafóricas indicadas na Figura 9 será detalhado na próxima seção.

3.2. LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS

A contagem dos veículos foi feita nos horários de pico da manhã (7:30 as 8:30) e da tarde (17:30 as 18:30) em dias típicos, conforme sugere a literatura (O'FLAHERTY, 1997), em terças, quartas e quintas feiras dos meses de março e abril de 2019. Para realizar as contagens utilizaram-se folhas de contagem no modelo da Figura 10, baseada no Manual de estudos de tráfego do DNIT (2006). Além disso, foram cronometrados os tempos semafóricos das intersecções pertinentes. O tratamento dos dados foi feito utilizando-se o software Excel[®].

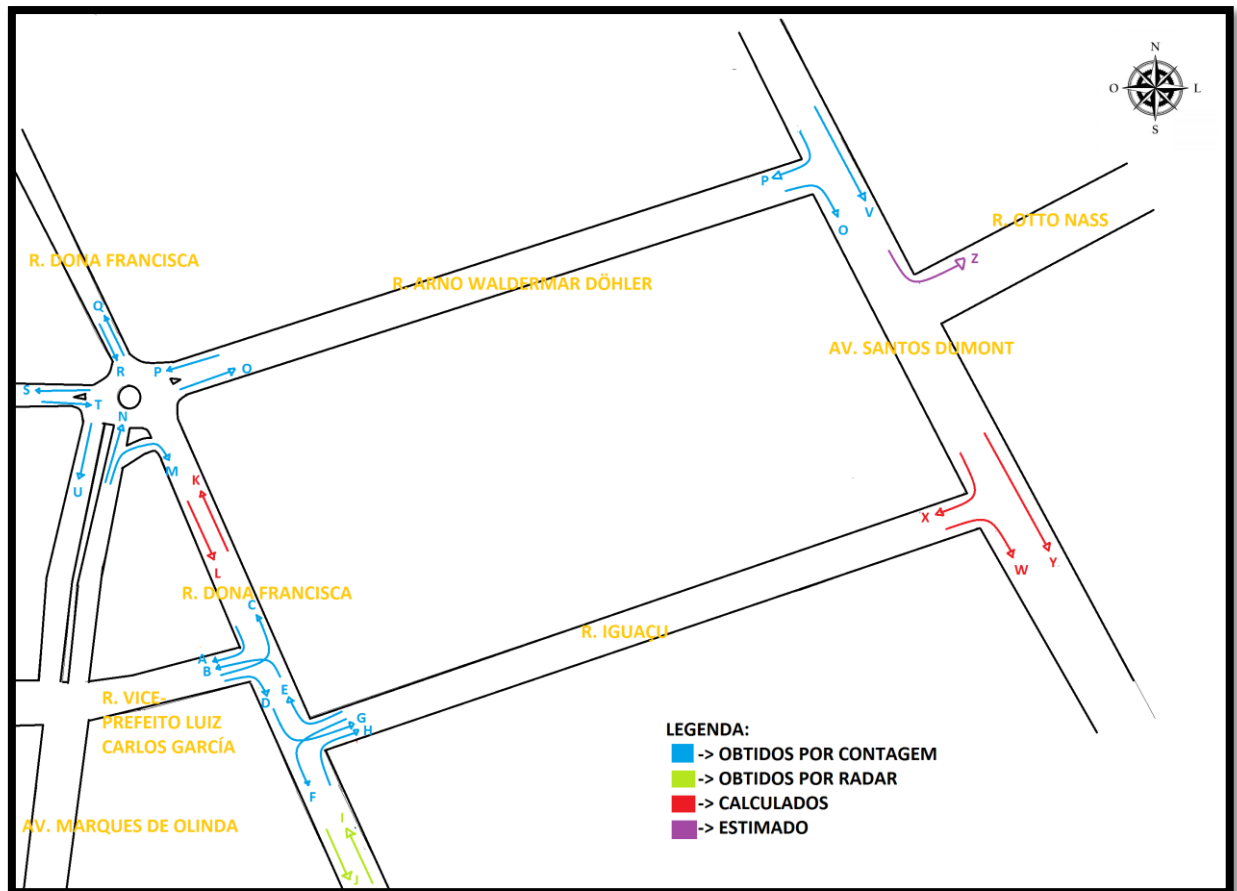
Figura 10- Folha de contagem

| HORA | DE SENTIDO PARA | | | | DE SENTIDO PARA | | | |
|------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| | MOVIMENTO | | | | MOVIMENTO | | | |
| | AUTO | Motc | ÔNIBL | CAMINH | AUTO | Motc | ÔNIBL | CAMINH |
| DE [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |
| ATÉ [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |
| DE [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |
| ATÉ [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |
| DE [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |
| ATÉ [][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] | [][][][] |

Fonte: Autor (2019).

Como se pode ver na folha de contagem, Figura 10, as contagens foram separadas de quinze em quinze minutos e divididas por tipos de veículos, sendo estes: automóveis, motocicletas, ônibus e caminhões. Ao todo foram contados 18 movimentos, nos três pontos de contagem mostrados na Figura 9. Os fluxos da Rua Dona Francisca, entre o terminal norte e a intersecção com a Rua Iguaçu, foram obtidos pelos dados de contagem de um radar cedidos pela Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável (SEPUD). Além dos dados obtidos por contagem e radar, outros fluxos foram calculados e estimados. Todos os movimentos avaliados no trabalho podem ser vistos na Figura 11, e as cores representam a forma com que o fluxo de veículos foi determinado.

Figura 11- Movimentos obtidos por contagem, radar, cálculo e estimativa.



Fonte: Autor (2019).

Pode-se observar na Figura 11 que somente um fluxo foi estimado, os veículos que saem da Av. Santos Dumont e entram na rua Otto Nass, na direção leste. Isso foi realizado para que a simulação ficasse mais próxima da realidade visto o grande fluxo de veículos que realizam esta conversão. Os dados coletados em campo também permitiram o cálculo de mais cinco movimentos (indicados pelas letras L, K, X, W, Y na Figura 11).

Os resultados obtidos no levantamento de dados estão resumidos na Tabela 2. Uma tabela mais detalhada, com os fluxos divididos por cada quinze minutos e por veículos está no apêndice A.

Tabela 2- Resumo dos dados obtidos no levantamento por contagem.

| Movimento | Veículos no período da manhã (UCP) | Veículos no período da tarde (UCP) |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| A | 26 | 10 |
| B | 335 | 392 |

| | | |
|---|------|------|
| C | 3 | 8 |
| D | 506 | 491 |
| E | 253 | 183 |
| F | 50 | 43 |
| G | 337 | 382 |
| H | 79 | 105 |
| I | 463 | 562 |
| J | 554 | 705 |
| K | 305 | 255 |
| L | 361 | 562 |
| M | 39 | 41 |
| N | 756 | 566 |
| O | 436 | 898 |
| P | 691 | 753 |
| Q | 1203 | 657 |
| R | 650 | 1147 |
| S | 419 | 550 |
| T | 534 | 530 |
| U | 485 | 781 |
| V | 1408 | 1568 |
| X | 303 | 226 |
| W | 416 | 487 |
| Y | 1141 | 1540 |
| Z | 400 | 700 |

Fonte: Autor (2019).

Na próxima seção serão apresentados os critérios para análise dos dados de saída obtidos no SUMO.

3.3. CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS

Os indicadores de saída da simulação, definidos no Quadro 2, que foram usados para fazer a análise de resultados são: o tempo de duração, o tempo perdido e o tempo de espera, porque se compreendeu que esses indicadores, entre os disponíveis, caracterizam melhor o efeito que as modificações propostas causam na vida dos usuários do sistema. Para cada um desses indicadores utilizou-se o Excel[®] para organizar os dados e gerar tabelas e gráficos que demonstram a média, a soma e os valores máximos que permitem a comparação entre os cenários.

Quadro 2- Indicadores gerados pela simulação.

| Indicador | Unidade | Descrição |
|-------------------|--------------|--|
| Duração de viagem | segundos (s) | O tempo que o veículo precisa para completar a rota |
| Tempo perdido | segundos (s) | O tempo perdido devido a dirigir abaixo da velocidade ideal (não considera paradas já planejadas) |
| Tempo de espera | segundos (s) | O tempo em que a velocidade do veículo estava abaixo de 3,6 km / h (as paradas programadas não contam) |

Fonte: Adaptado de SUMO Wiki (c2008)

Com o propósito de deixar os resultados mais próximos da realidade, foram gerados também alguns gráficos que relacionam o tempo de saída do veículo com a duração da viagem realizada pelo mesmo. Estes gráficos servem para mostrar em qual período de tempo a simulação ficou plenamente ocupada de veículos, “denomina-se esse período permanente por estado estacionário. Neste período os dados são capazes de produzir estimativas mais estáveis para os parâmetros de interesse” (DUARTE et al., 2016, p. 13). O estado estacionário foi de 360 segundos a 5000 segundos de simulação, sendo que as simulações duraram de 6 a 8 mil segundos e a geração de veículos durou de 0 a 3600 segundos. A partir desta informação utilizaram-se para gerar os indicadores apenas os dados presentes nessa faixa de tempo.

Em resumo, os gráficos utilizados para fazer a análise foram:

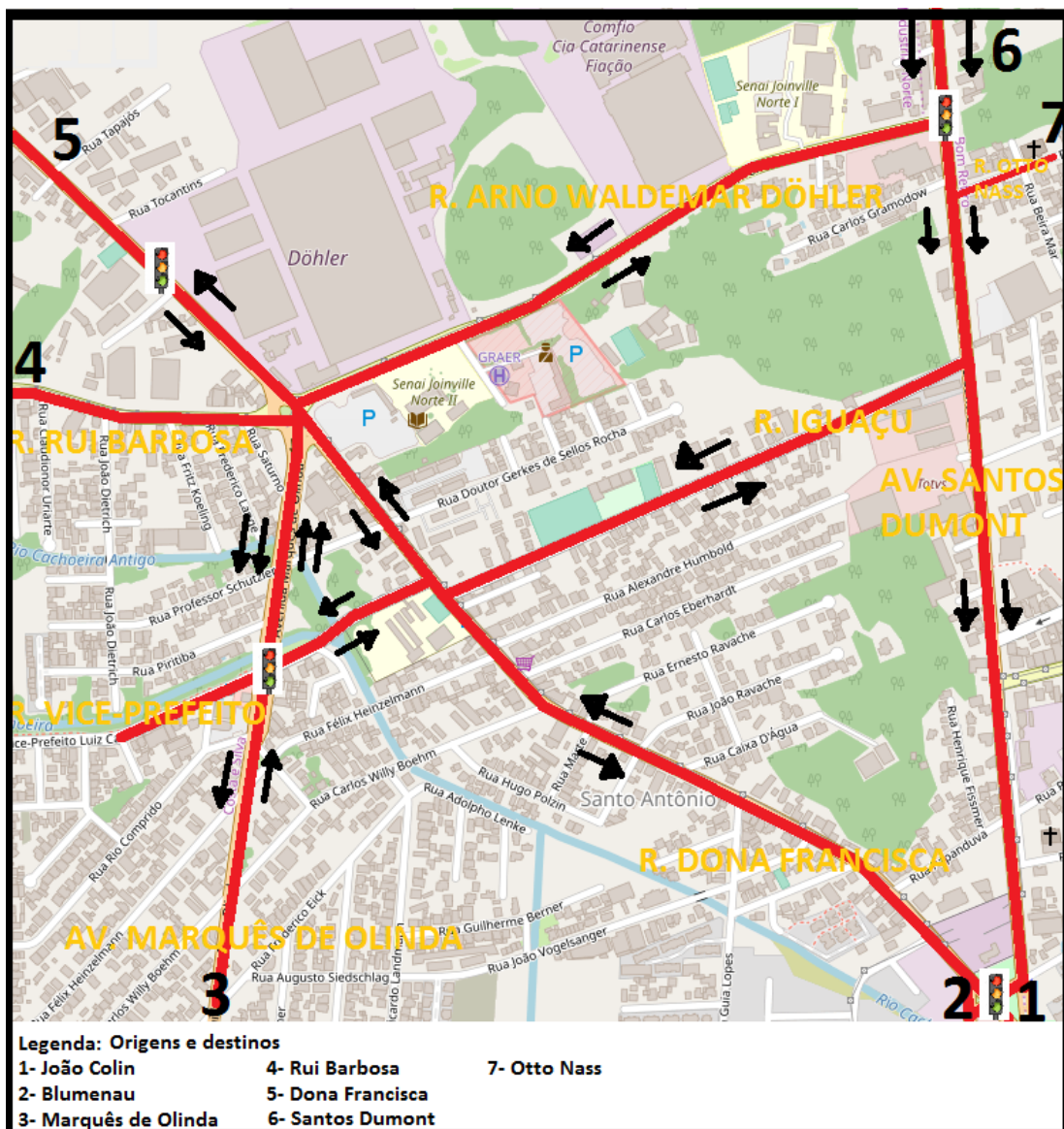
- Soma da duração de viagens de todos os veículos por cenário;
- Soma do tempo perdido de todos os veículos por cenário;
- Soma do tempo de espera de todos os veículos por cenário;
- Média de duração de viagens por cenário;
- Média de tempo perdido por cenário;
- Média de tempo de espera por cenário;
- Duração máxima de uma viagem por cenário;
- Tempo perdido máximo de uma viagem por cenário;
- Tempo de espera máximo de uma viagem por cenário;
- Média de duração de viagens por origem-destino e por cenário;
- Duração de viagens por momento de partida do veículo.

Alguns destes gráficos serão apresentados no final do próximo capítulo, onde serão detalhados os quatro cenários simulados e os resultados.

4 ESTUDO DE CASO

O escopo do trabalho, apresentado de forma ampliada na Figura 12, compreende a Rua Dona Francisca, a Avenida Marquês de Olinda, Rua Rui Barbosa, Rua Arno Waldemar Döhler, Rua Vice-Prefeito Luiz Carlos Garcia, Rua Iguçu, Avenida Santos Dumont e Rua Otto Nass. Na Figura 12 é possível ver os sentidos de tráfego permitidos pelas vias atualmente, a localização dos semáforos e as origens e destinos utilizadas para gerar os fluxos da simulação representados pelos numerais de 1 a 7.

Figura 12- Mapa com sentido de tráfego e localização dos semáforos atualmente.



Fonte: Adaptado de OpenStreetMap(2019).

A partir das contagens do fluxo de tráfego apresentadas na seção 3.2 a simulação do cenário atual foi desenvolvida utilizando o software SUMO. A próxima seção apresenta as etapas realizadas nesta elaboração.

4.1. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

Com a finalidade de gerar a simulação do cenário atual utilizou-se o site *OpenStreetMaps* para importar o mapa da área mostrada na Figura 12. O mapa importado estava no formato .osm porém foi convertido para o formato .xml para ficar compatível com o SUMO. Posteriormente realizaram-se, utilizando o NETEDIT, modificações pertinentes como:

- Exclusão de vias secundárias;
- Ajustes de número de faixas;
- Ajuste de velocidades permitidas;
- Inclusão de corredores de ônibus;
- Ajuste de permissões e proibições de movimentação;
- Inserção dos tempos semafóricos obtidos na etapa do levantamento de dados (seção 3.2)

Além de ajustar o mapa, para fazer uma simulação também foi necessário um arquivo de rotas em linguagem xml, e um arquivo de configuração no formato sumo.cfg para unir o arquivo de rotas ao mapa. As rotas e os fluxos utilizados no arquivo de rotas serão abordados na próxima seção.

4.1.1 Definição de Rotas e fluxos

As rotas, ou seja, os caminhos que os veículos devem seguir para ir de uma origem a um destino foram definidas analisando-se o mapa (Figura 12) em conjunto com os movimentos obtidos no levantamento de dados (Tabela 2). Utilizaram-se cinco origens (ruas Santos Dumont, João Colin, Marques de Olinda, Ruy Barbosa e Dona Francisca) e quatro destinos (ruas Blumenau, Marques de Olinda, Ruy Barbosa e Dona Francisca), visto que estes pontos são os que têm maior importância no cenário estudado. Além disso, para calibrar melhor o modelo, foi definida uma rota de escape que estima o número de veículos que saem da Av. Santos Dumont na direção leste, tendo como destino a Rua Otto Nass, resultando ao todo em 34 rotas.

A partir do fluxo total obtido para cada movimento apresentado na Figura 12, foi necessário estimar os fluxos parciais correspondentes a cada uma das rotas que compartilhavam as mesmas ruas. Por exemplo, o fluxo X (total de 303 ucp/h no período da manhã, Tabela 2) faz parte das rotas 1 e 3. Assim, um percentual do valor de X deveria ser atribuído à rota 1 e outro à rota 3.

Para definir os fluxos parciais foram criadas equações para cada uma das 34 rotas. Por exemplo, considerando o período da tarde, na Figura 13, f4 corresponde ao fluxo estimado para a rota 4. Este fluxo parcial foi definido como a porcentagem de veículos do fluxo de P (753ucp/h) que fazem o movimento Q a partir da rotatória. Essa porcentagem foi considerada como sendo proporcional a porcentagem total de veículos que saem da rotatória por Q, ou seja, a fração de veículos que saem da rotatória por Q, dado que entraram na rotatória por P (considerando que um veículo nunca sai pela mesma via que entrou) é igual a:

$$\left(\frac{Q}{Q+S+U+L}\right) \quad (5)$$

Substituindo-se na Equação 5 os valores apresentados na Tabela 2, tem-se que:

$$\left(\frac{657}{657+550+781+563}\right)=0,258$$

Logo, aproximadamente 26% dos veículos que entraram na rotatória por P saíram por Q, então para obter o f4 basta substituir os valores na Equação 6.

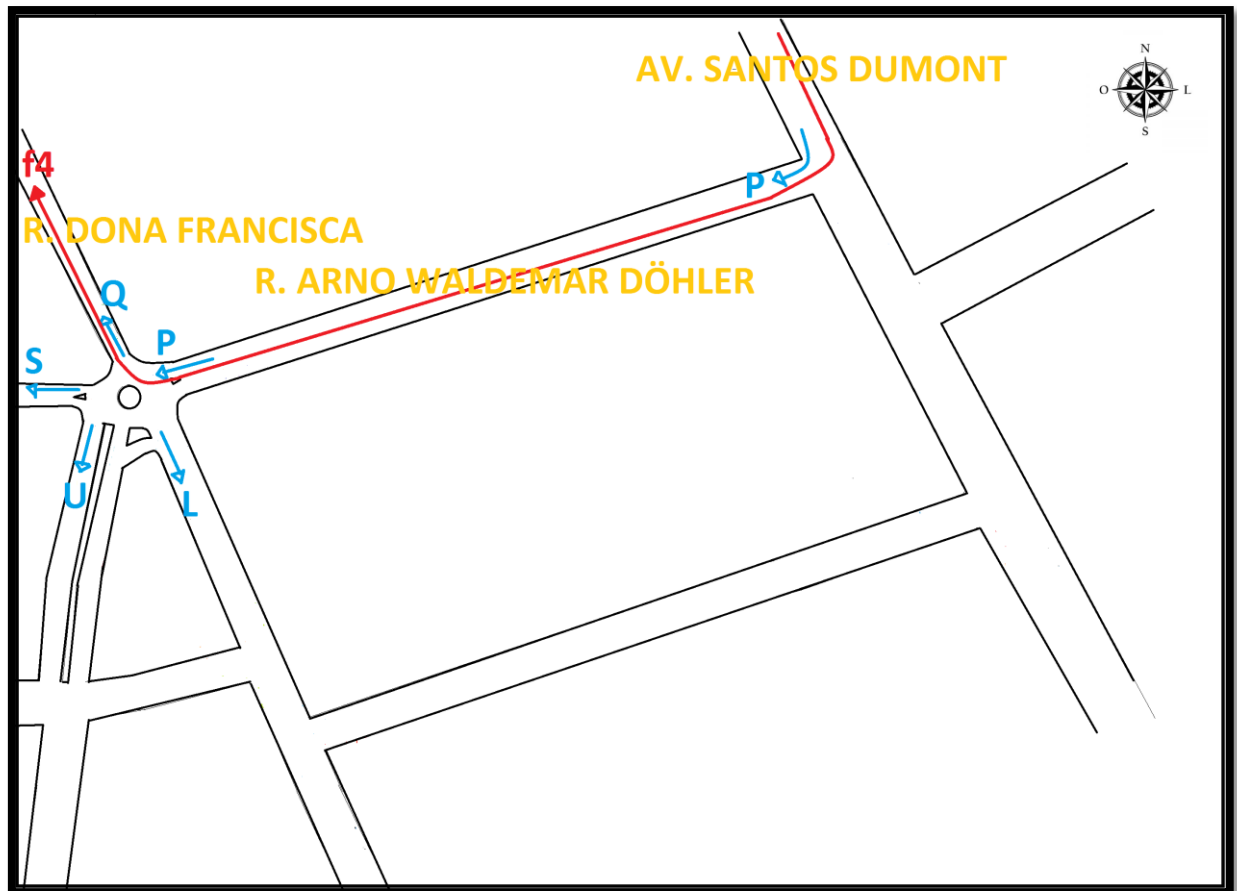
$$f4=\left(\frac{Q}{Q+S+U+L}\right)\times P \quad (6)$$

Resultando em:

$$f4=0,258\times 753=194\text{ucp/h}$$

E esta é a quantidade de veículos que passa pela rota 4 (f4).

Figura 13- Fluxo parcial que passa na rota 4.



Fonte: Autor (2019).

A mesma lógica pode ser usada para explicar a rota 25 (Figura 14). Por exemplo, considere que T (530veh/h) veículos entram na rotatória pela Rua Rui Barbosa, a porcentagem de veículos que entram por T e saem por L é dada pela Equação 7:

$$\frac{L}{(U+L+O+Q)} \quad (7)$$

Então, analogamente ao exemplo anterior, o número de veículos que entram na rotatória por T e saem por L é definido pela Equação 8.

$$\left(\frac{L}{U+L+O+Q}\right) \times T \quad (8)$$

Substituindo-se pelos valores da Tabela 2, tem-se:

$$\left(\frac{563}{781+563+898+657}\right) \times 530 = 0,194 \times 530 = 103 \text{ucp/h}$$

E esse é o número de veículos que se aproximam da intersecção da Rua Dona Francisca com a Rua Iguaçu, porém, para definir o fluxo parcial ainda falta calcular a porcentagem desses veículos que fazem a conversão em G, isso é definido pela Equação 9.

$$\frac{G}{J-F+G} \quad (9)$$

Substituindo-se os valores obtemos:

$$\frac{382}{705-43+382} = 0,366$$

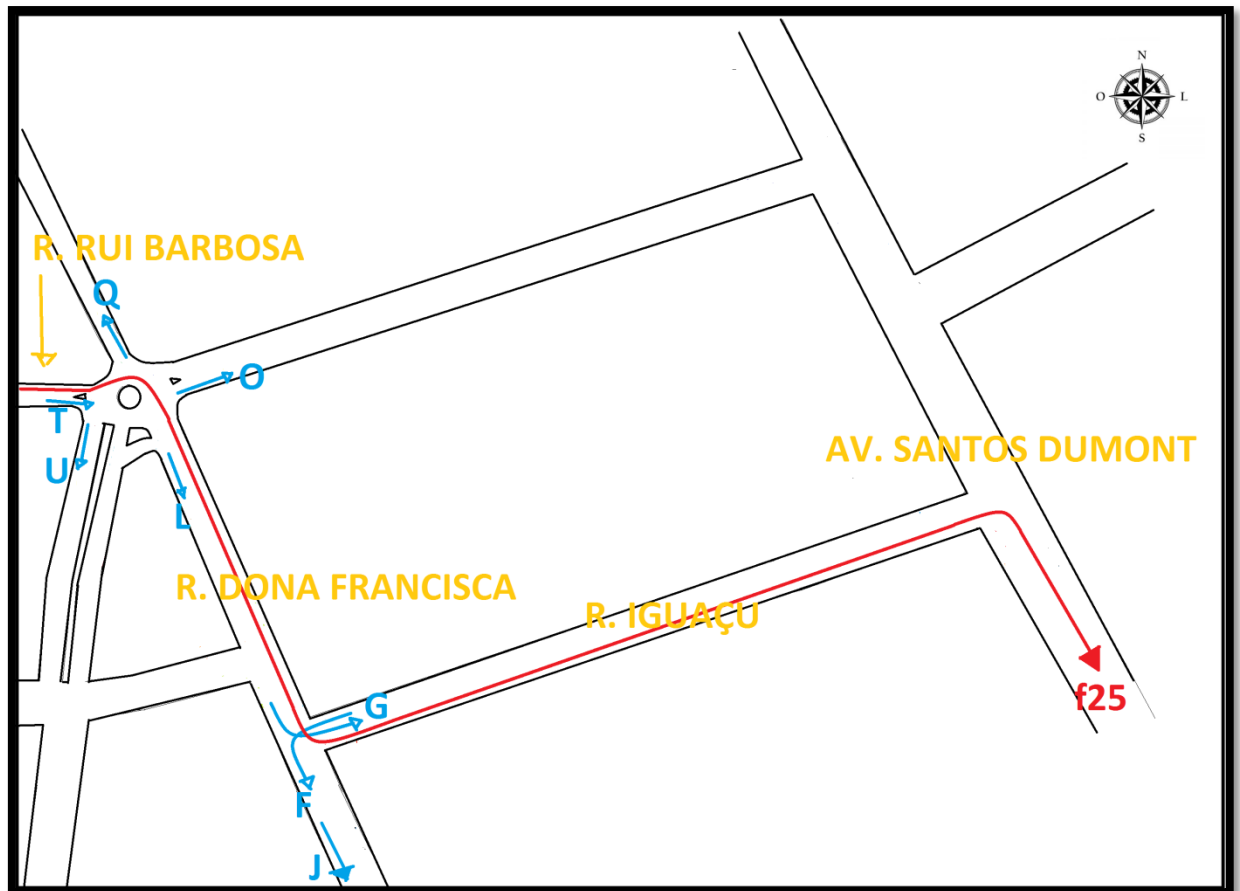
Ou seja, aproximadamente 37% dos veículos que chegam na intersecção da Rua Dona Francisca com a Rua Iguaçu vindos do norte fazem a conversão na Rua Iguaçu. Por conseguinte, o fluxo parcial total que passa na rota 25 é expresso pela Equação 10:

$$f_{25} = \left(\frac{G}{J-F+G}\right) \times \left(\left(\frac{L}{U+L+O+Q}\right) \times T\right) \quad (10)$$

Que resulta em:

$$f_{25} = 0,366 \times (0,194 \times 530) = 38 \text{ucp/h}$$

Figura 14- Fluxo parcial que passa na rota 25.



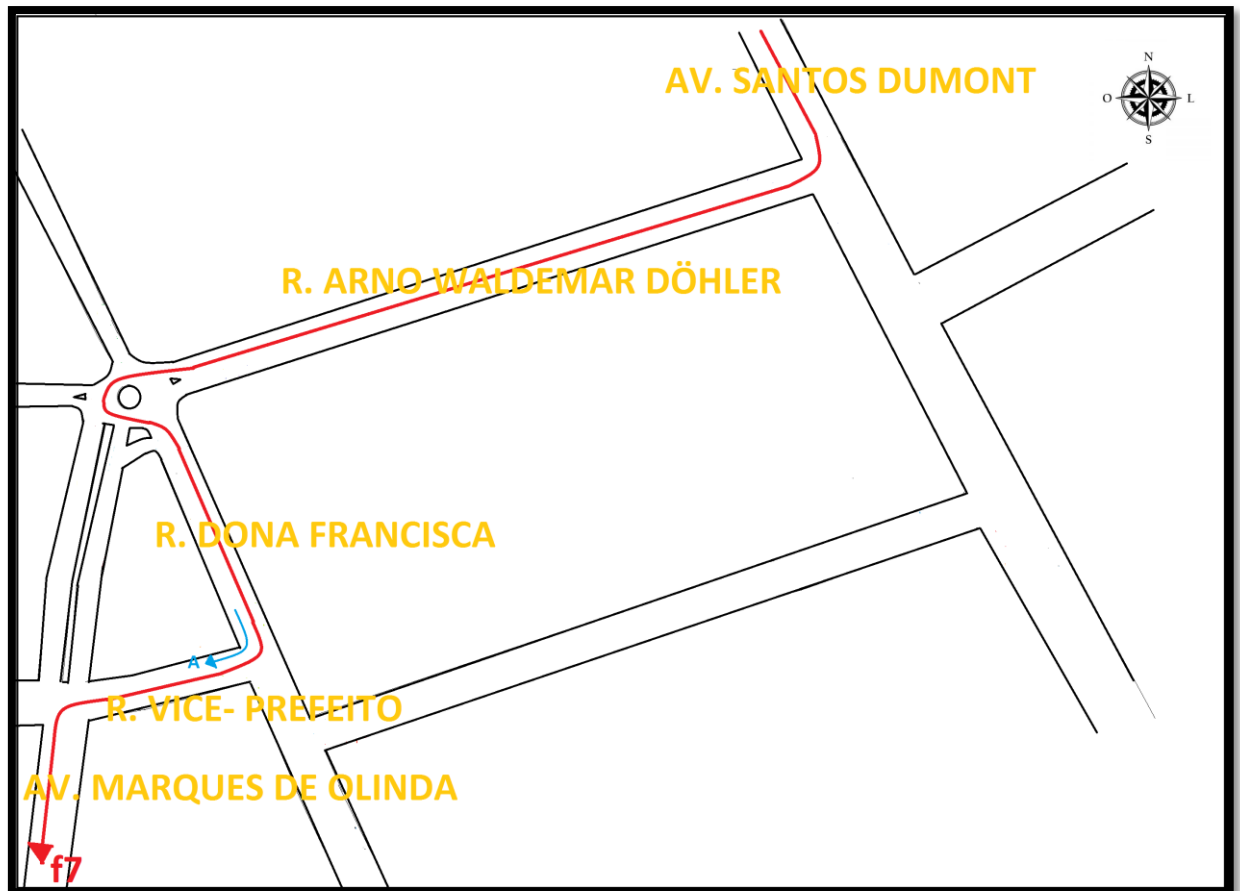
Fonte: Autor (2019).

Outros dois exemplos de fluxo parcial que foram definidos de forma apenas dedutiva foram os das rotas 7 e 32, nestes casos, demonstrados na Figura 15 e na Figura 16, como o número de veículos que realizam o movimento A é pequeno (26 ucp e 10 ucp nos períodos da manhã e tarde respectivamente), e, só existem duas rotas que fazem esse movimento, foi considerado pertinente que o fluxo parcial de cada uma das rotas fosse definido pela divisão simples do fluxo a por 2, resultando nas equações 11 e 12:

$$f7 = \frac{A}{2} \quad (11)$$

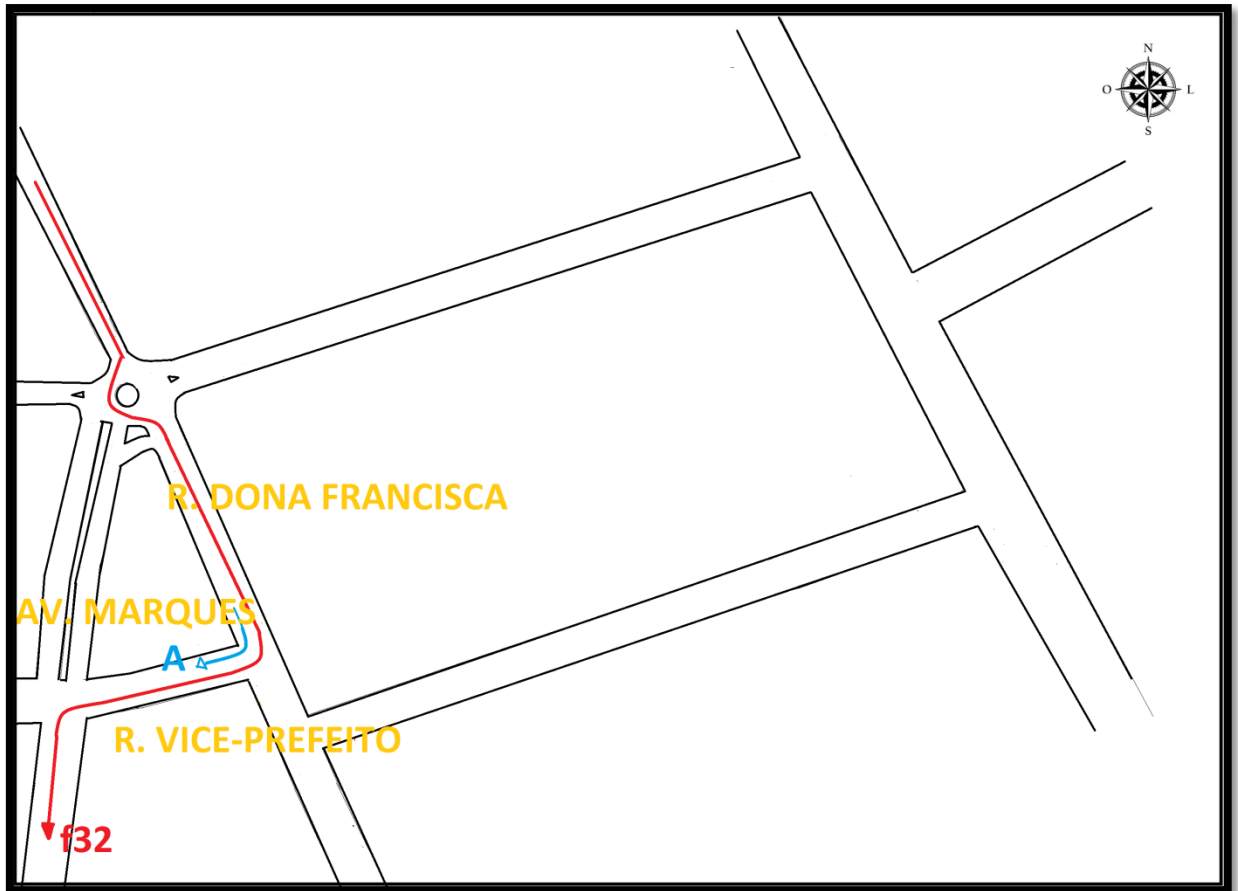
$$f32 = \frac{A}{2} \quad (12)$$

Figura 15- Fluxo parcial que passa na rota 7.



Fonte: Autor (2019).

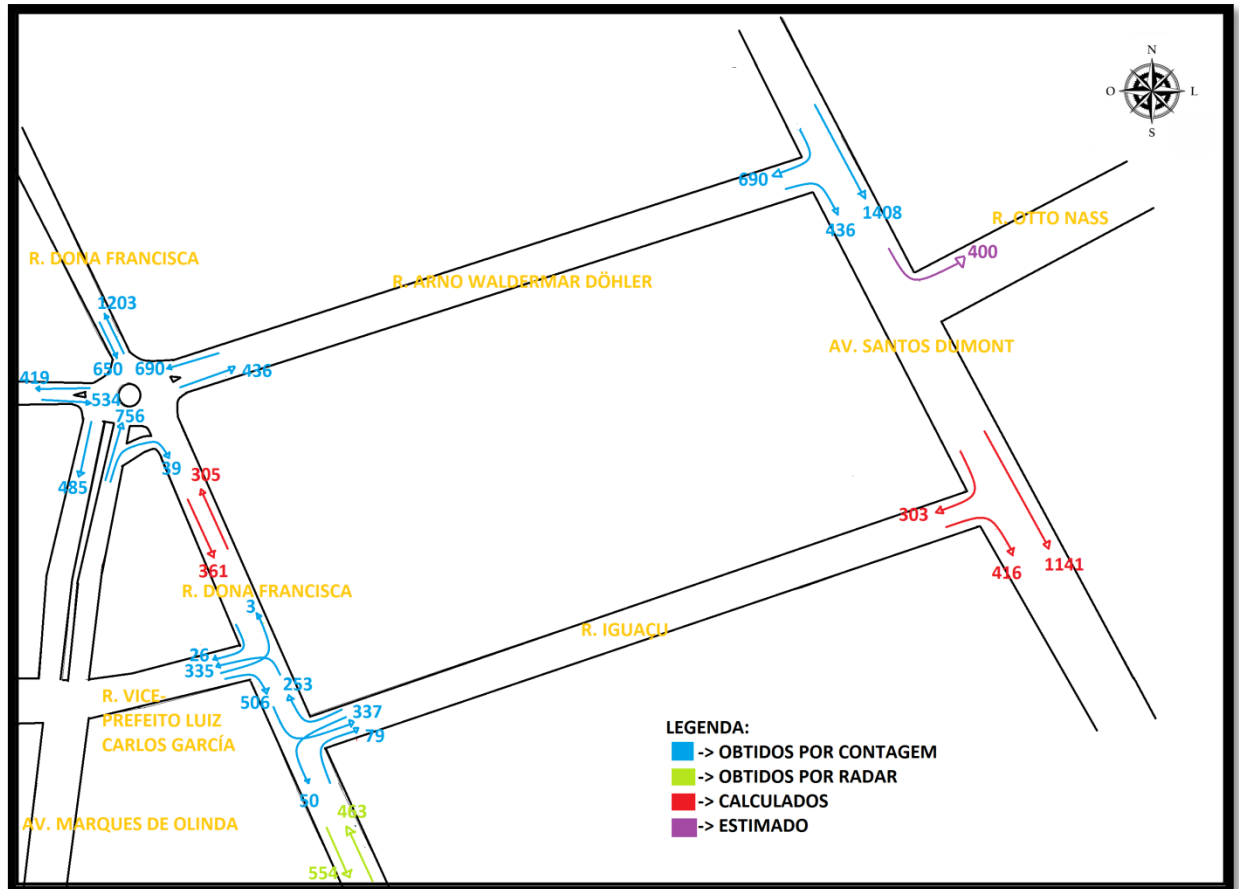
Figura 16- Fluxo parcial que passa na rota 32.



Fonte: Autor (2019).

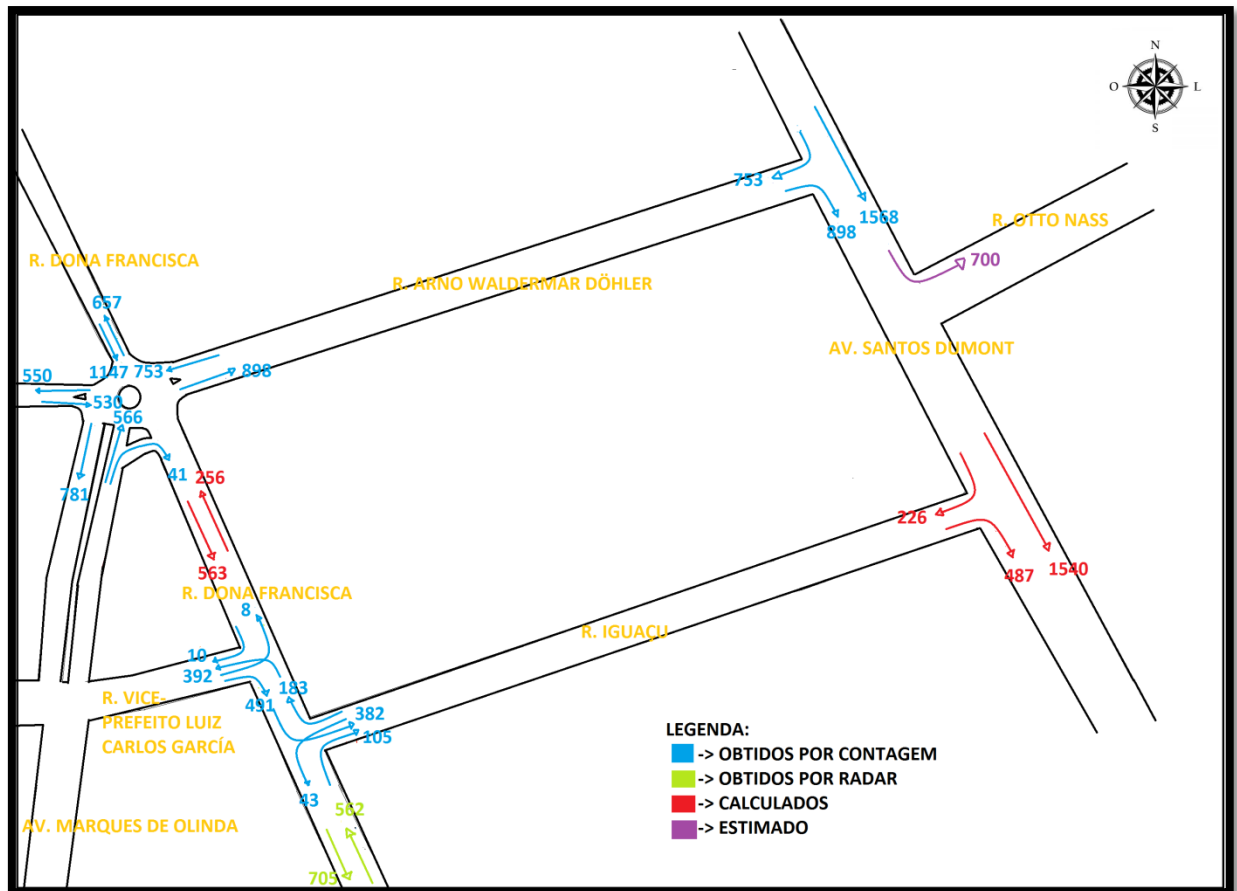
As rotas restantes e suas respectivas equações de definição de fluxos parciais podem ser verificadas no Apêndice B. Ao aplicar as equações aos valores obtidos no levantamento de dados para o período da manhã (Figura 17) e da tarde (Figura 18) obtém-se os fluxos parciais representados na Tabela 3.

Figura 17- Fluxos no período da manhã.



Fonte: Autor (2019).

Figura 18- Fluxos no período da tarde.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 3- Fluxos parciais nas rotas no período da manhã e da tarde.

| Origem | Rota | Fluxo em UCP/h no período da manhã | Fluxo em UCP/h no período da tarde |
|---------------|------|------------------------------------|------------------------------------|
| Santos Dumont | 1 | 253 | 183 |
| | 2 | 1105 | 1342 |
| | 3 | 50 | 43 |
| | 4 | 337 | 194 |
| | 5 | 117 | 162 |
| | 6 | 136 | 231 |
| | 7 | 13 | 5 |
| | 8 | 101 | 166 |
| João Colin | 9 | 79 | 105 |
| | 10 | 81 | 209 |
| | 11 | 52 | 77 |
| | 12 | 143 | 56 |
| | 13 | 50 | 47 |

| | | | |
|-------------------|----|-----|-----|
| | 14 | 58 | 67 |
| | 15 | 303 | 312 |
| | 16 | 203 | 180 |
| | 17 | 2 | 4 |
| Marquês de Olinda | 18 | 23 | 26 |
| | 19 | 15 | 15 |
| | 20 | 160 | 242 |
| | 21 | 442 | 177 |
| | 22 | 154 | 148 |
| | 23 | 104 | 143 |
| | 24 | 46 | 65 |
| Rui Barbosa | 25 | 31 | 38 |
| | 26 | 94 | 164 |
| | 27 | 258 | 120 |
| | 28 | 160 | 226 |
| | 29 | 185 | 321 |
| Dona Francisca | 30 | 83 | 146 |
| | 31 | 55 | 85 |
| | 32 | 13 | 5 |
| | 33 | 167 | 369 |
| Santos Dumont | 34 | 400 | 700 |

Fonte: Autor (2019).

Após o levantamento de dados, a definição das rotas e o cálculo dos fluxos parciais de cada rota iniciou-se a construção do modelo de simulação que consiste em três passos: criação do arquivo de rede (.net), geração do arquivo de rotas(.rou) e criação do arquivo de configuração (sumocfg).

O mapa foi exportado do site *OpenStreetMap* em forma de arquivo osm e então foi convertido em um arquivo xml utilizando o NETCONVERT e calibrado utilizando a aplicação NETEDIT, como exposto na seção 2.4.2 deste trabalho.

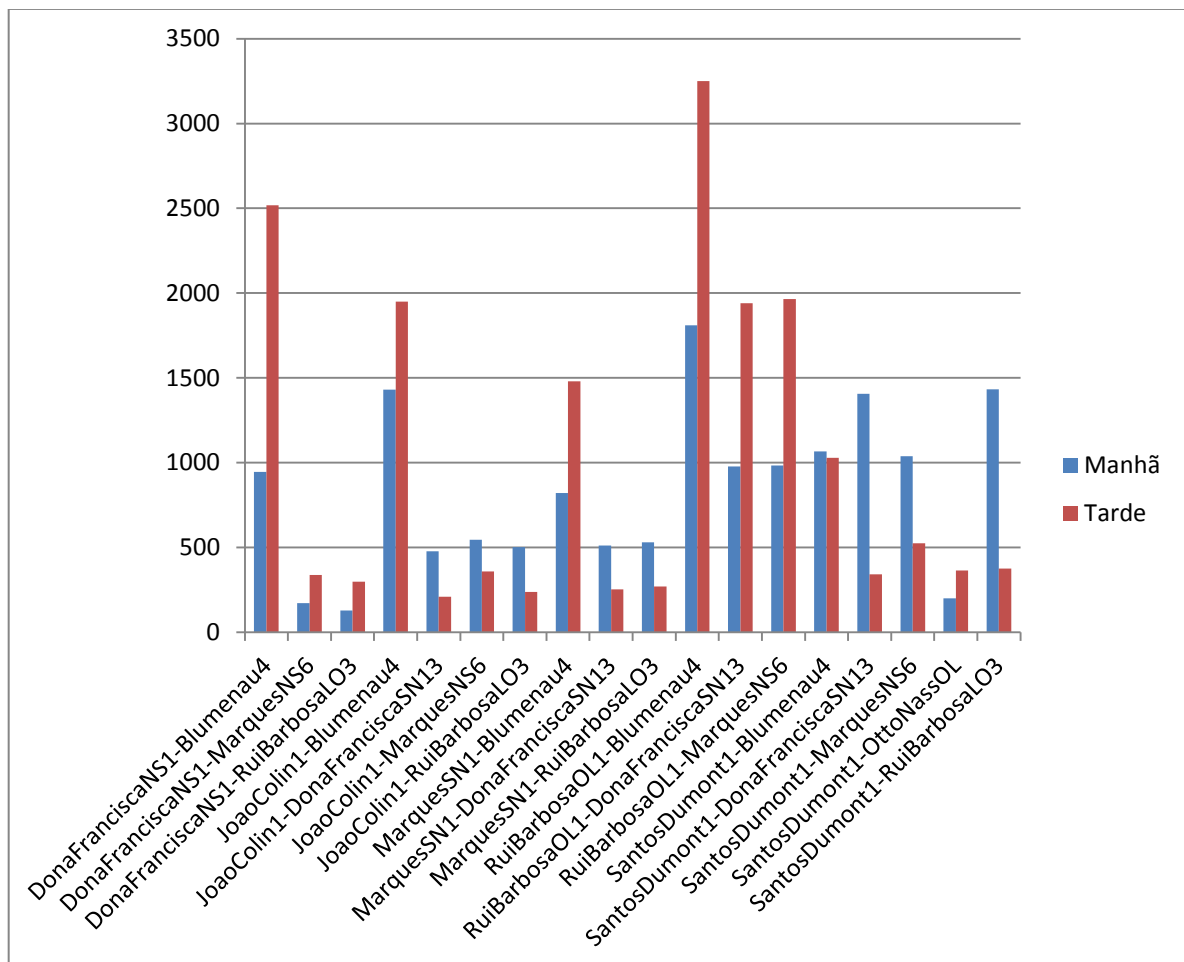
Para criar o arquivo de rotas foi utilizado o modelo de origens e destinos (*from-to*) com arestas de passagem obrigatória e cada fluxo foi dividido em uma parcela de veículos (carros, motos e caminhões) convertidos em UCP/h, e outra parcela de ônibus/h resultando em 34 fluxos em ucp/h e mais 34 fluxos análogos em ônibus por hora.

O arquivo de configuração foi utilizado para indicar que as rotas deveriam passar pelo mapa do arquivo de redes e também para gerar os dados de saída do *TripInfo*.

4.1.2 Situação dos Indicadores no Cenário Atual

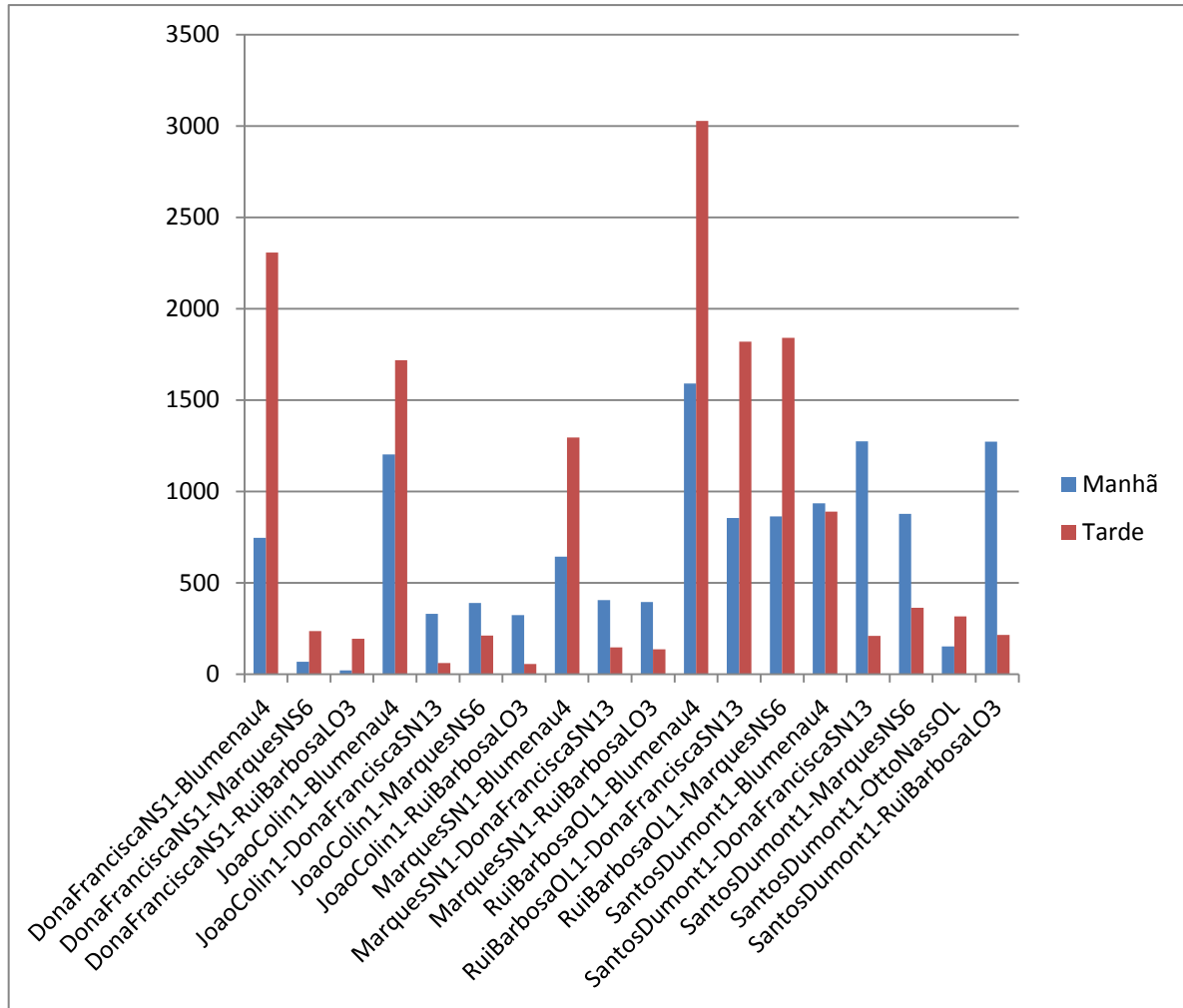
Como pode ser observado na Figura 19, as viagens que levam mais tempo no período da manhã são as que têm origem na Rua João Colin em direção ao norte, as que saem da Av. Marquês de Olinda e passam pela Rua Dona Francisca e as que saem da Av. Santos Dumont em direção a rotatória. No período da tarde as viagens que tomam mais tempo são as que saem da Rua Rui Barbosa, da Dona Francisca em direção ao sul e da João Colin em direção ao norte. Isso acontece devido ao movimento pendular do trânsito de Joinville. Estes dados comprovam mais uma vez que o fluxo da tarde é maior no sentido Norte-Sul e da manhã é maior no sentido Sul-Norte.

Figura 19- Média de duração entre origens e destinos para o cenário atual.



Fonte: Autor (2019)

Figura 20- Média de tempo perdido por origem-destino no cenário atual.



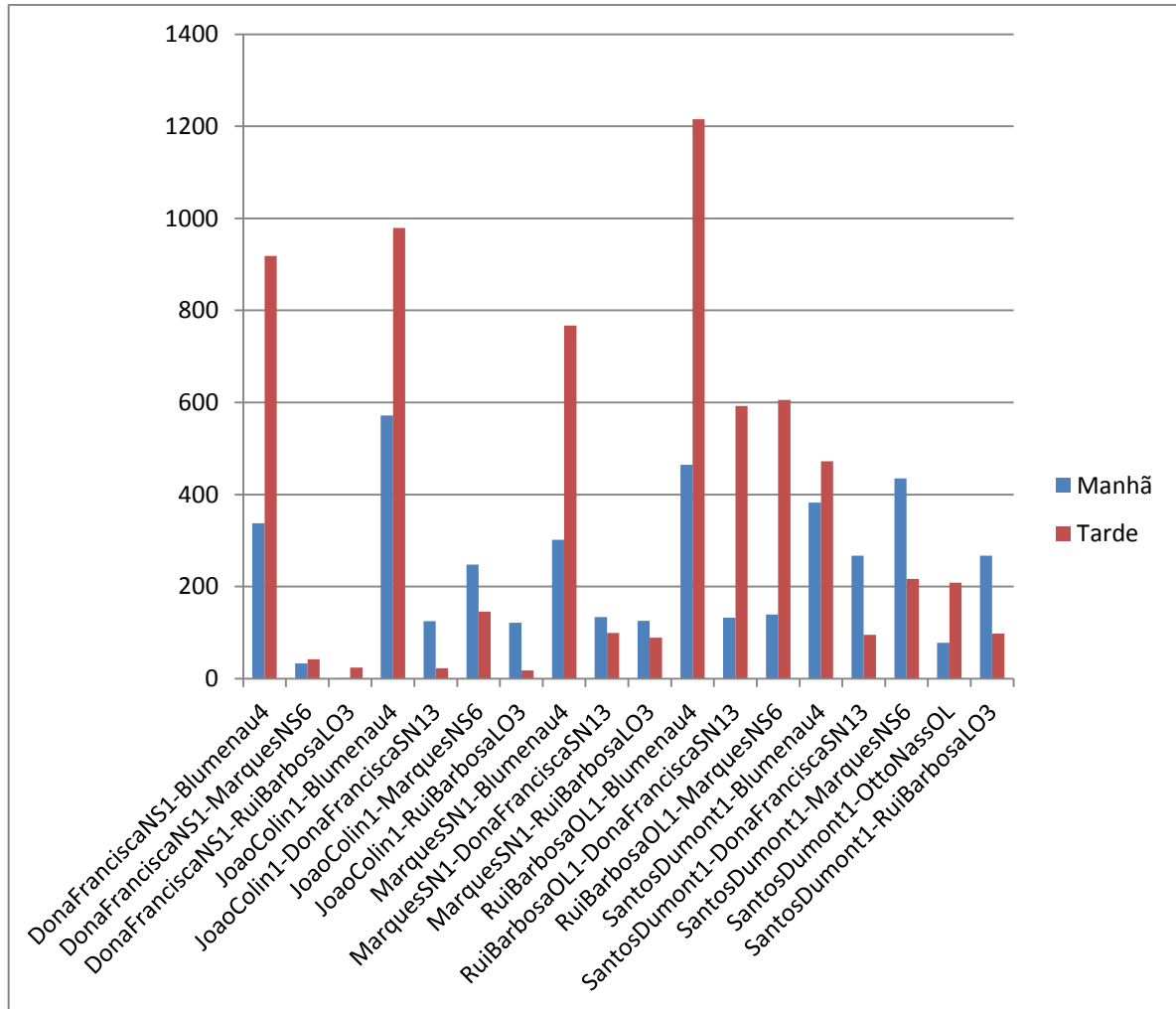
Fonte: Autor (2019)

As Figuras 20(tempo perdido) e Figura 21(tempo de espera) evidenciam o mesmo que a Figura 19 (duração de viagem): os veículos que passam mais tempo abaixo de 3,6km/h(definição de tempo de espera) no período da tarde são: (i) os que saem da Rua Dona Francisca norte em direção a Rua Blumenau (f30, f31 e f33), (ii) os que saem da Marquês de Olinda para a Blumenau (f15, f16, f18, f19 e f20) e (iii) todos os que saem da Rua Rui Barbosa, como pode ser visto nos mapas das rotas do Apêndice B. Esses fluxos tem algo em comum, a maioria deles passa pela interseção da Rua Dona Francisca com a Rua Vice-Prefeito e a Rua Iguazu. O atraso na Rua Rui Barbosa se deve ao fato de que no período da tarde o fluxo de veículos que saem da Rua Dona Francisca norte e entram na rotatória é muito grande (1147ucp/h) o que dificulta a entrada na rotatória dos veículos que estão na Rui Barbosa.

No período da manhã os maiores tempos de espera são: (i) das rotas que saem da Santos Dumont e usam a Rua Waldemar Döhler para chegar a rotatória (f4, f5, f6, f7, f8), (ii)

as que usam a Rua Iguazu para chegar na Rua Dona Francisca (f1, f3) passando também pela interseção da Dona Francisca com a Rua Iguazu, (iii) os que saem da João Colin em direção ao norte.

Figura 21- Média de tempo esperando entre origem-destino no cenário atual.



Fonte: Autor (2019)

Resumindo, os maiores problemas do cenário atual são:

- Filas na Ruí Barbosa no período da tarde devido ao grande fluxo de veículos oriundas da Dona Francisca norte que ocupam a rotatória em direção a Marques de Olinda dando pouca oportunidade para os veículos da Ruí Barbosa entrarem;
- Filas na Arno Waldemar Döhler e na Dona Francisca sul no período da manhã devido ao grande fluxo de veículos que saem da Marquês de Olinda

em direção a Dona Francisca norte dando pouca oportunidade para os veículos da João Colin e da Waldemar Döhler entrarem;

- Filas na Rua Dona Francisca na interseção com as Ruas Iguazu e Vice-Prefeito Carlos Luiz García provavelmente devido ao grande número de veículos que param no meio da Dona Francisca para fazer a conversão na Iguazu e na Vice-Prefeito.

Na próxima seção serão apresentados os três cenários propostos para resolver os principais problemas revelados pelos indicadores no cenário atual.

4.2. CENÁRIOS PROPOSTOS

Nesta seção serão apresentados os três cenários que foram simulados no SUMO demonstrando quais pontos do cenário atual foram modificados e se os efeitos das mudanças foram satisfatórios.

Como vimos na seção anterior, os principais problemas da região de estudo estão localizados na rotatória da Rua Arno Waldemar Döhler o que indica que uma boa proposta a ser testada seria a construção de um viaduto ligando a Marquês de Olinda e a Dona Francisca norte, porém, o objetivo deste trabalho é testar propostas de menor custo e que pudessem ser implementadas a curto prazo. Tendo isso em vista focou-se o desenvolvimento das mudanças principalmente no terceiro problema, que consiste na interseção entre as ruas Dona Francisca, Vice-Prefeito Carlos Luiz García e Iguazu.

4.2.1 Cenário I

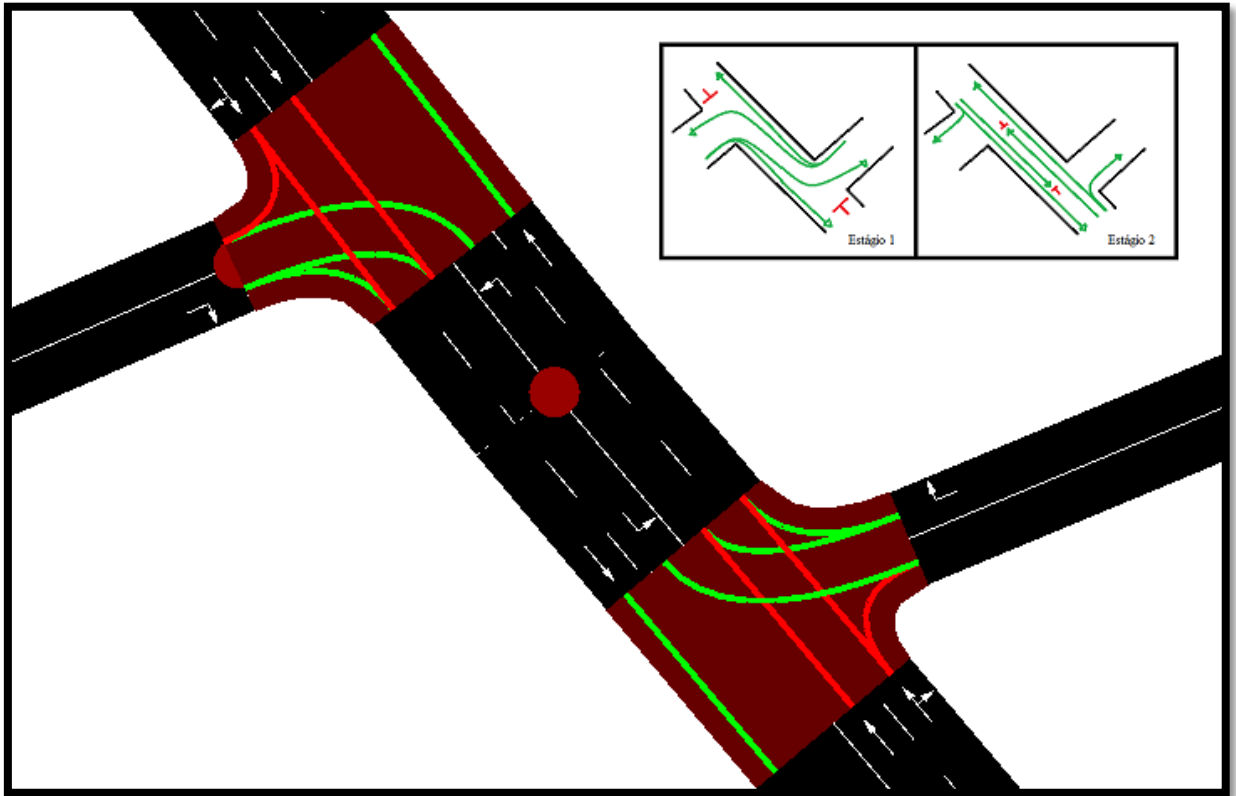
Este é o cenário mais simples. O objetivo é controlar melhor os fluxos de veículos na interseção da Rua Dona Francisca evitando que os veículos tenham que ficar parados no meio da via e dando para cada um o tempo de passagem. As mudanças propostas podem ser vistas na Figura 22.

Alterações:

- Inclusão de semáforo de dois estágios na Rua Dona Francisca, 36 segundos por estágio e entreverdes de 4 segundos. Os tempos semaforicos foram dimensionados através de testes na própria simulação;
- Inclusão de pista de acomodação para veículos fazerem a conversão na Rua Dona Francisca.

- Proibição de conversão à esquerda para veículos que saem da Rua Iguaçu e da Rua Vice-Prefeito Luiz Carlos Garcia.

Figura 22- cenário 1.



Fonte: Adaptado de SUMO (2019).

Como será mostrado nas seções de resultados, o cenário 1 não teve o efeito esperado, porém, foi o cenário que ficou mais perto de apresentar alguma melhora nas médias gerais e foi o melhor em relação aos indicadores de tempos máximos.

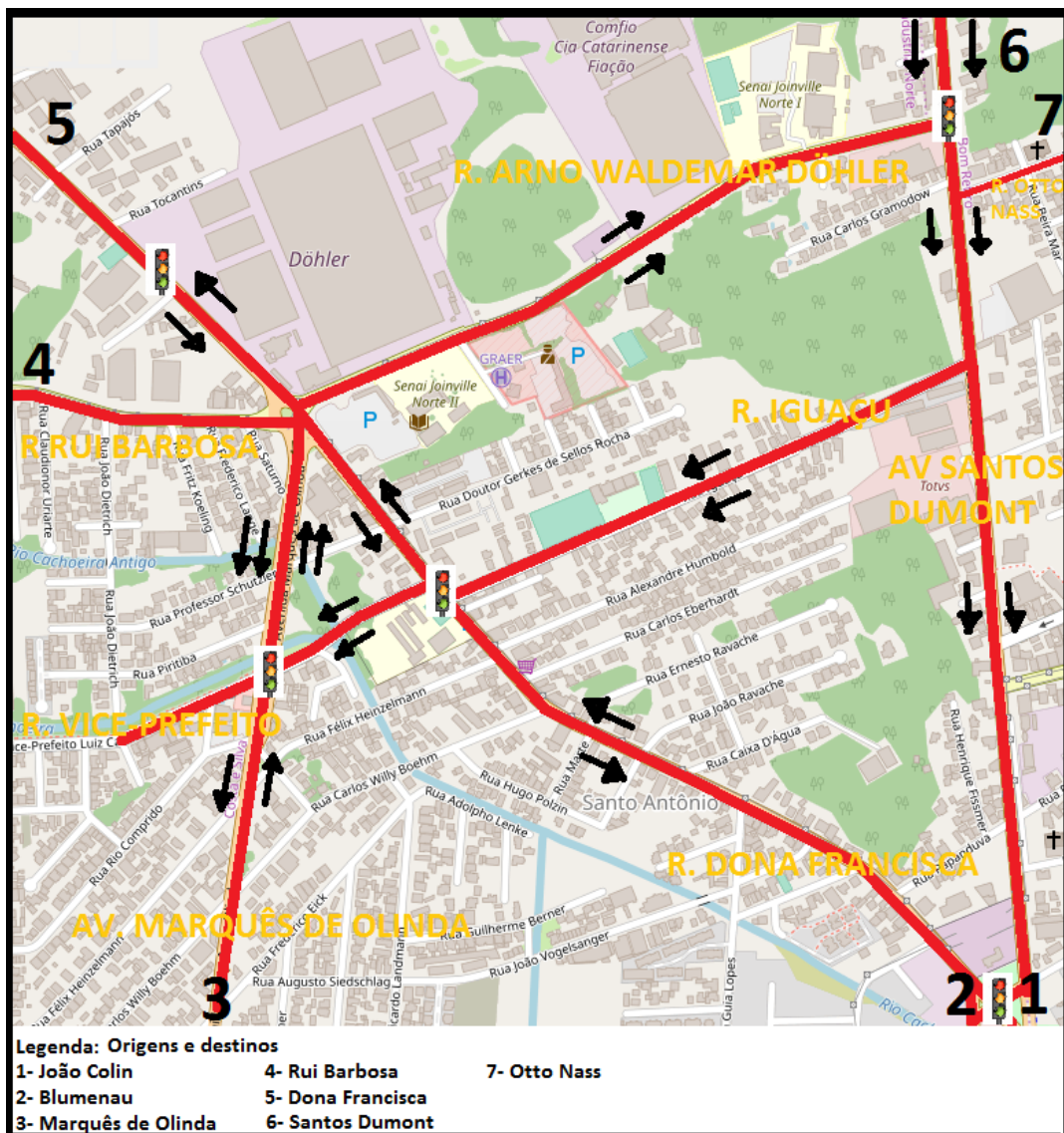
4.2.2 Cenário II

No cenário 2 buscou-se diminuir a quantidade de veículos parados na interseção da Dona Francisca com a Iguaçu fazendo com que a Rua Iguaçu tivesse sentido único de leste a oeste, e por conseguinte, foi feito um binário com a Rua Arno Waldemar Döhler que passou a permitir o transito de veículos apenas no sentido oeste-leste. Isso, teoricamente, também ajudaria a melhorar o problema da rotatória da manhã já que desviaria o fluxo que passava na Arno Waldemar para a Rua Iguaçu e controlaria a saída por um semáforo. O cenário 2 pode ser visto na Figura 23.

Modificações:

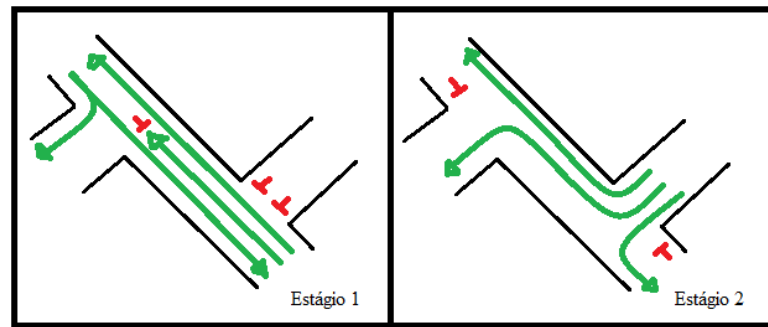
- Rua Iguaçu com sentido único da Santos Dumont a Dona Francisca;
- Rua Arno Waldemar Döhler com sentido único da rotatória até Av. Santos Dumont;
- Rua Vice-Prefeito Luiz Carlos Garcia com sentido único da Dona Francisca até a Av. Marquês de Olinda;
- Inclusão de semáforo de dois estágios com pista de acomodação na Dona Francisca, 36 segundos por estágio e entreverdes de 4 segundos (diagrama de estágios na Figura 24).

Figura 23- Cenário 2.



Fonte: Adaptado de OpenStreetMap(2019).

Figura 24- Diagrama de estágios para o novo semáforo do cenário 2.



Fonte: Autor (2019).

As mudanças do cenário 2 geraram melhoras para o problema da Rui Barbosa mas pioraram os outros problemas.

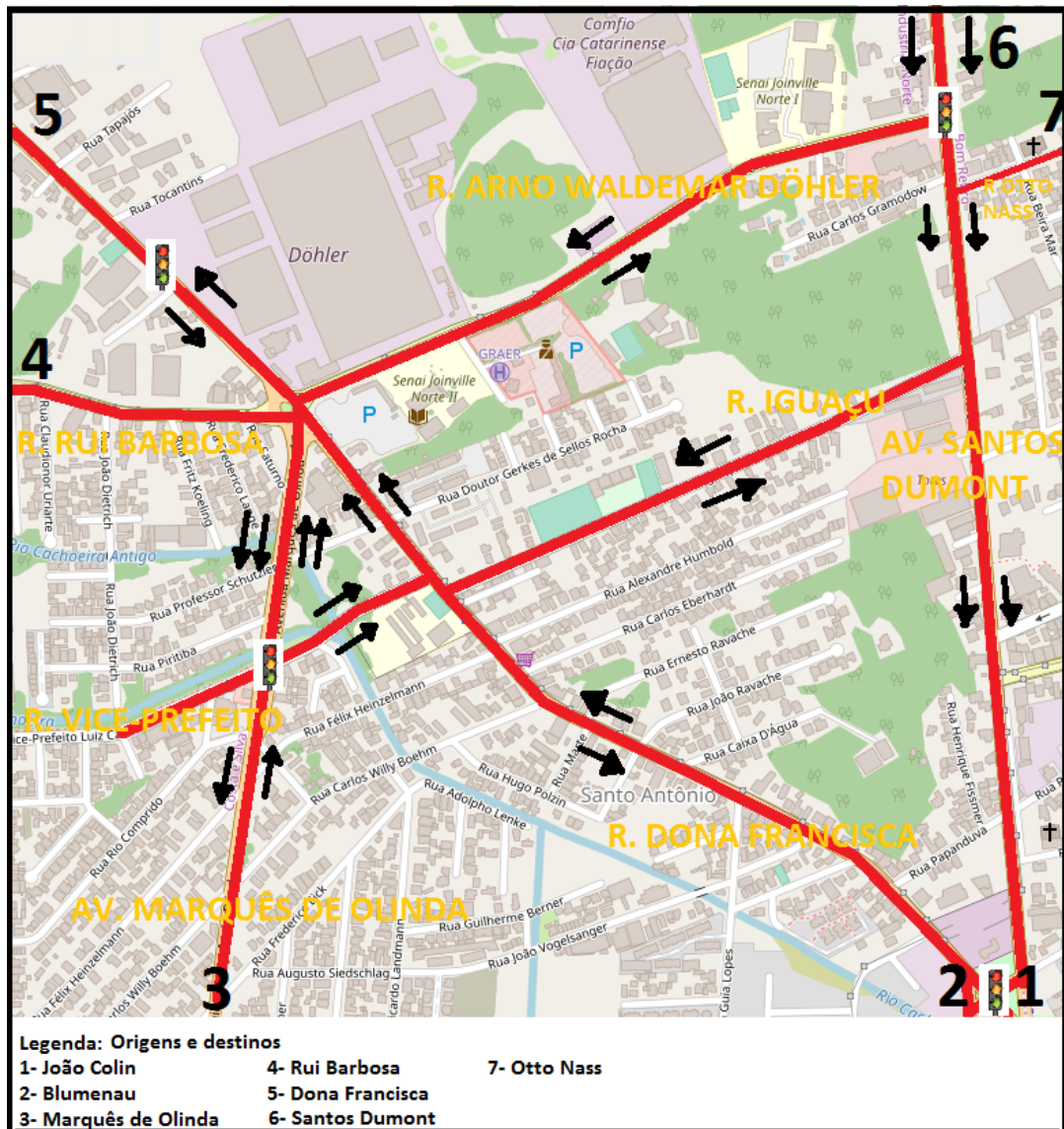
4.2.3 Cenário III

A proposta 3 (Figura 25) também teve como foco resolver o problema da intersecção da Rua Dona Francisca com as Ruas Vice-Prefeito Carlos Luíz Garcia e Iguazu. Fazendo a Vice-Prefeito ficar com sentido único de oeste para leste objetiva-se impedir que os veículos fiquem parados em meio da Dona Francisca para fazer a conversão neste Rua, assim o fluxo de veículos na Rua Dona Francisca ficaria mais fluído no sentido terminal norte-rotatória.

Alterações:

- Rua Vice-Prefeito Luiz Carlos Garcia com sentido único da Av. Marquês de Olinda até a Dona Francisca;
- Rua Dona Francisca com sentido único da intersecção com a Vice-Prefeito até a rotatória;
- Modificações no semáforo da Av. Marquês de Olinda, que passa a permitir conversão a esquerda para os veículos que vem da rotatória.

Figura 25- Cenário 3.



Fonte: Adaptado de OpenStreetMap(2019).

O cenário 3 não teve a melhor média nem no período da manhã nem no período da tarde, porém teve os menores tempos máximos.

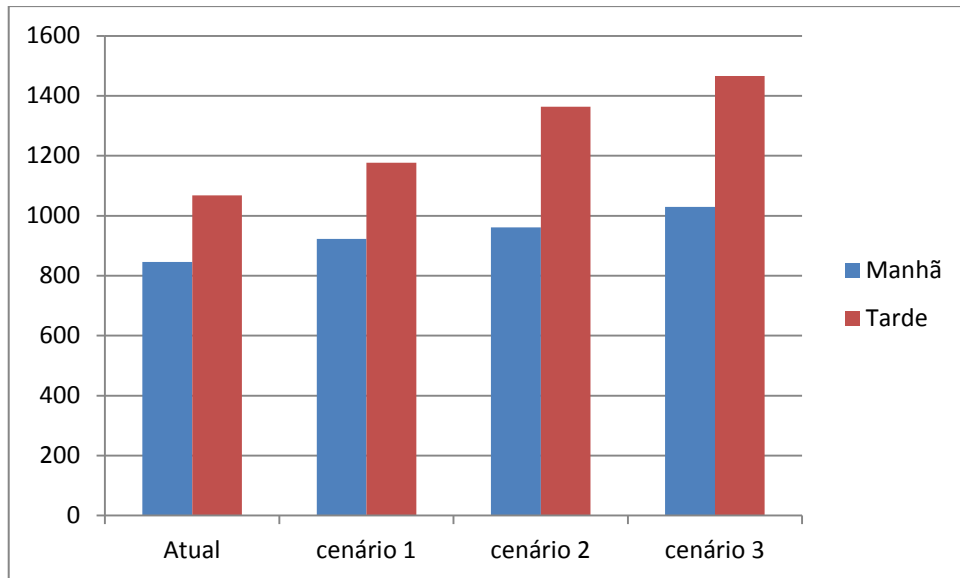
Os resultados obtidos pelas simulações de cada cenário serão apresentados na próxima seção.

4.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.3.1 Tempo de duração

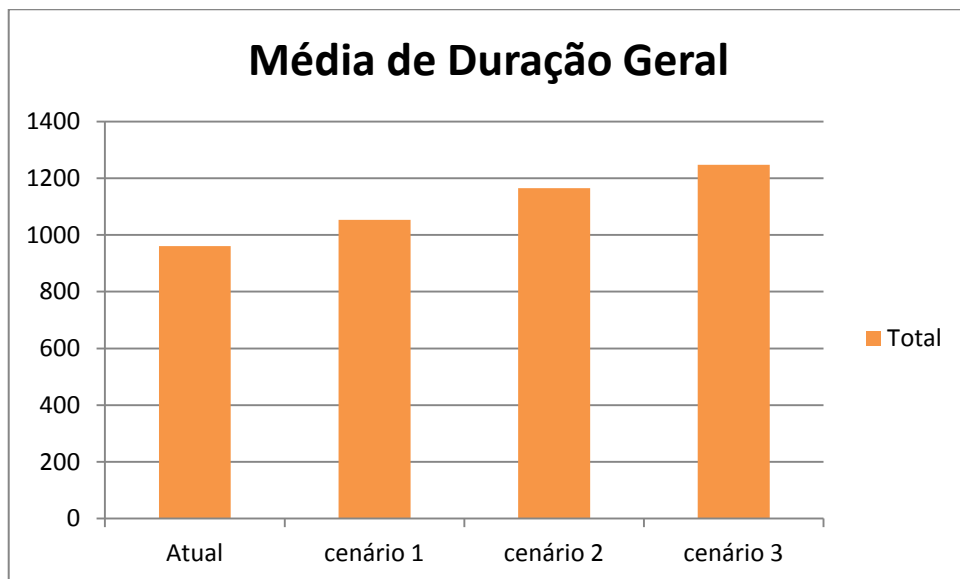
A Figura 26 e a Figura 27 mostram a média de duração de viagens para cada cenário. O cenário que teve a menor média de duração foi o cenário atual, porém, se verificarmos a Figura 28, que mostra as durações máximas de cada cenário, veremos que o cenário 1 tem a menor duração máxima tanto para o período da manhã quanto da tarde.

Figura 26- Média de duração por cenário.



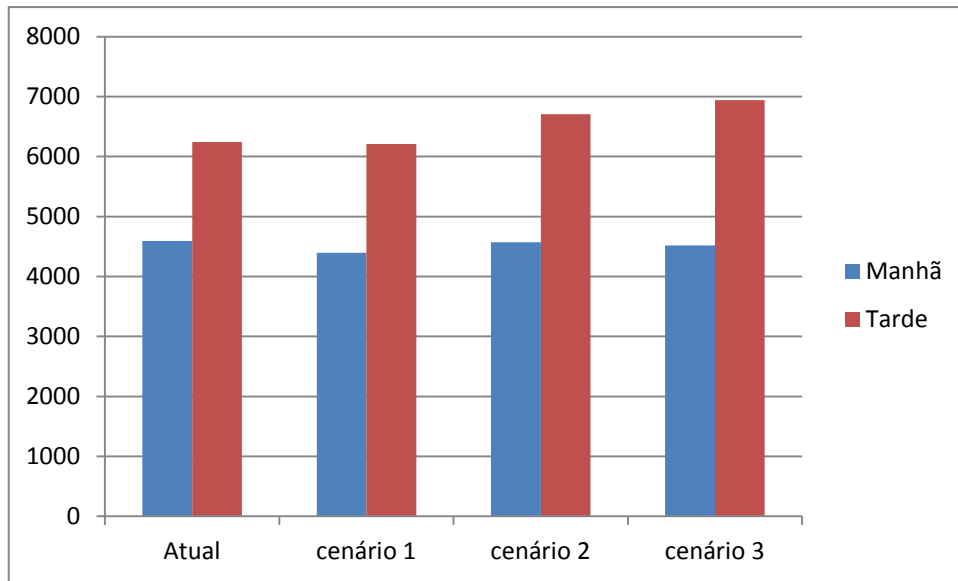
Fonte: Autor (2019).

Figura 27- Média geral de duração por cenário.



Fonte: Autor (2019).

Figura 28- Duração máxima por cenário.



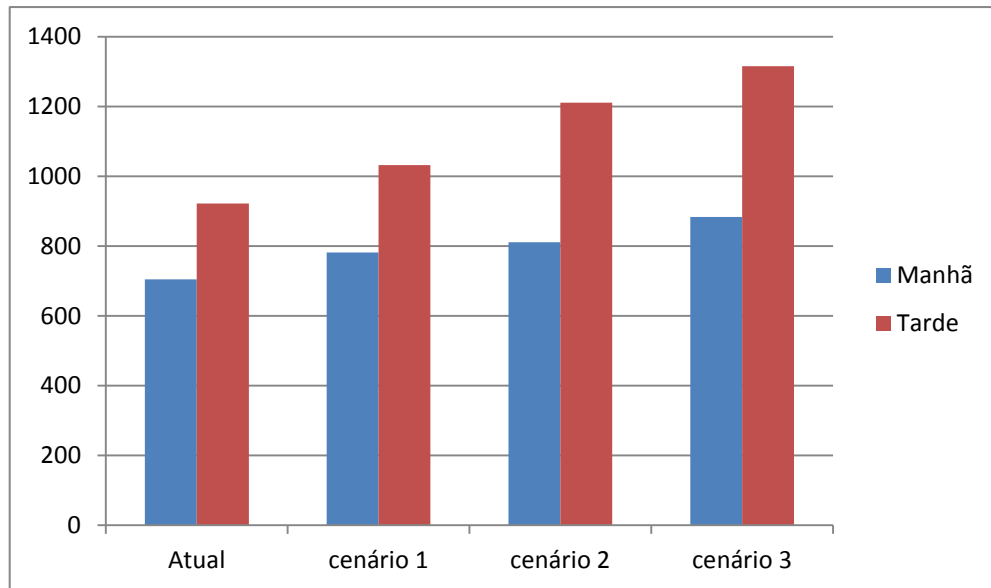
Fonte: Autor (2019).

Tanto no período da manhã quanto da tarde o cenário 1 aumentou levemente as médias de duração de viagem por causa do semáforo, que aparentemente não teve o efeito positivo esperado nos fluxos e ainda gerou um pouco mais de atraso nas viagens que passam na interseção Dona Francisca- Vice-Prefeito- Iguazu. Já os cenários 2 e 3 pioraram bastante a duração média de viagens, devido aos desvios mais longos que alguns fluxos deverão fazer, mas isso será discutido melhor no próximo capítulo.

4.3.2 Tempo perdido

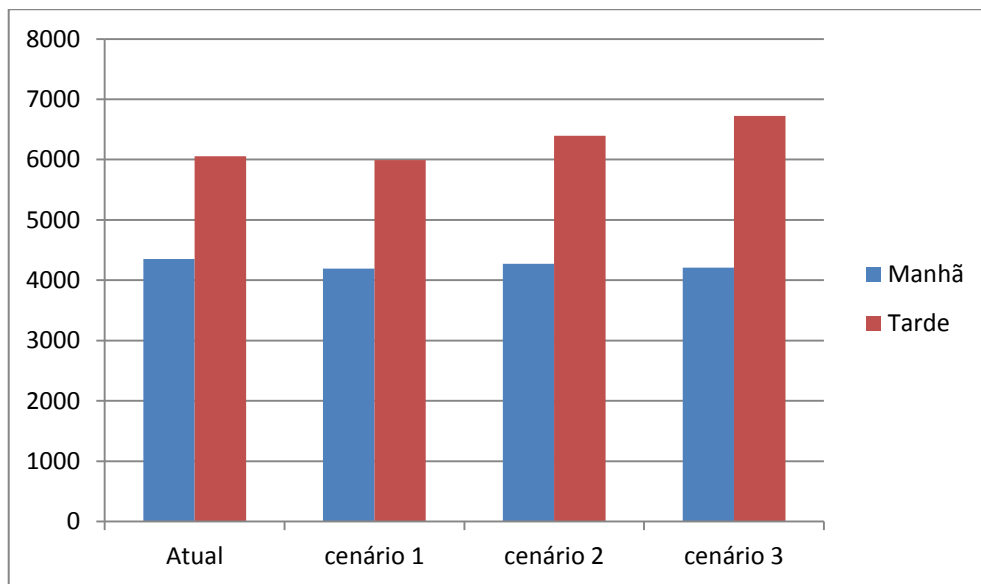
O tempo perdido (Figura 29) confirma aquilo que foi verificado na seção anterior, nenhum dos cenários propostos apresentou melhora uma melhora nas médias. E mais uma vez percebe-se que, de acordo com a Figura 30, a perda de tempo máxima no período da manhã praticamente não teve diferença é no período da tarde o melhor resultado foi no cenário 1.

Figura 29- Média de tempo perdido.



Fonte: Autor (2019).

Figura 30- Tempo perdido máximo.



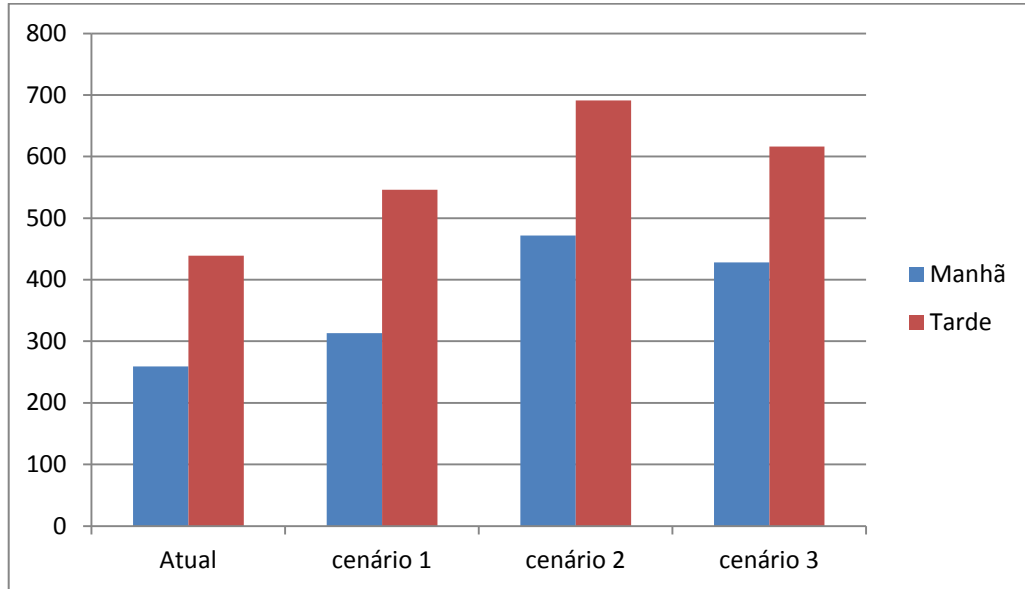
Fonte: Autor (2019).

4.3.3 Tempo de espera

Na Figura 31 podemos constatar que a média dos tempos de espera para o cenário atual tanto no período da tarde, quanto no período da manhã mais uma vez, manteve o melhor resultado, sendo a segunda melhor média a do cenário 1 também para os dois períodos. Os

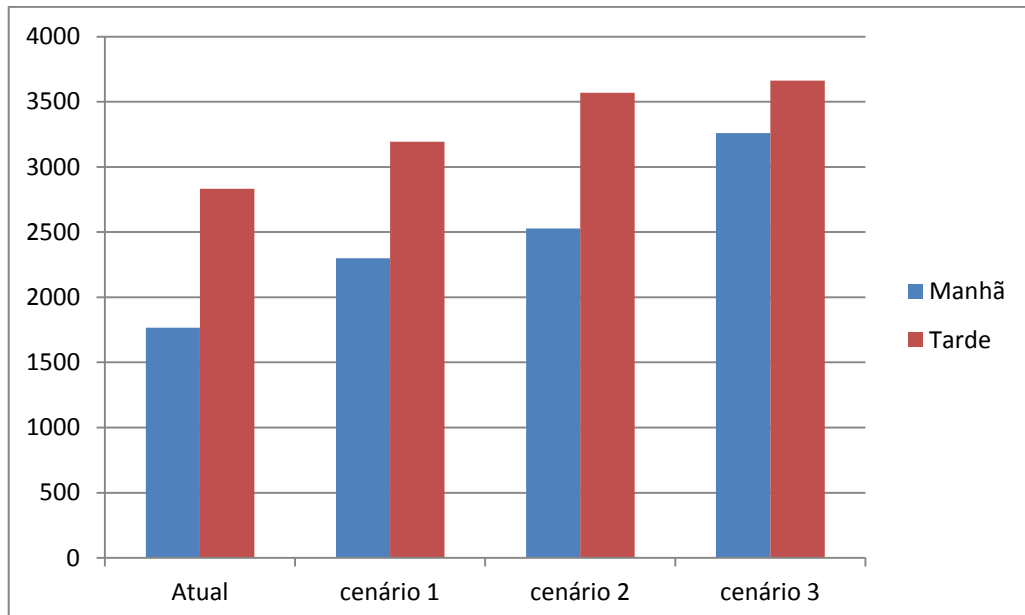
tempos de espera máximos (Figura 32) indicam os mesmos resultados que a média de duração de viagens, com exceção do cenário 3 que neste indicador se torna pior que o cenário 2.

Figura 31- Média dos tempos de espera por cenário.



Fonte: Autor (2019)

Figura 32- Tempo máximo de espera por cenário.



Fonte: Autor (2019)

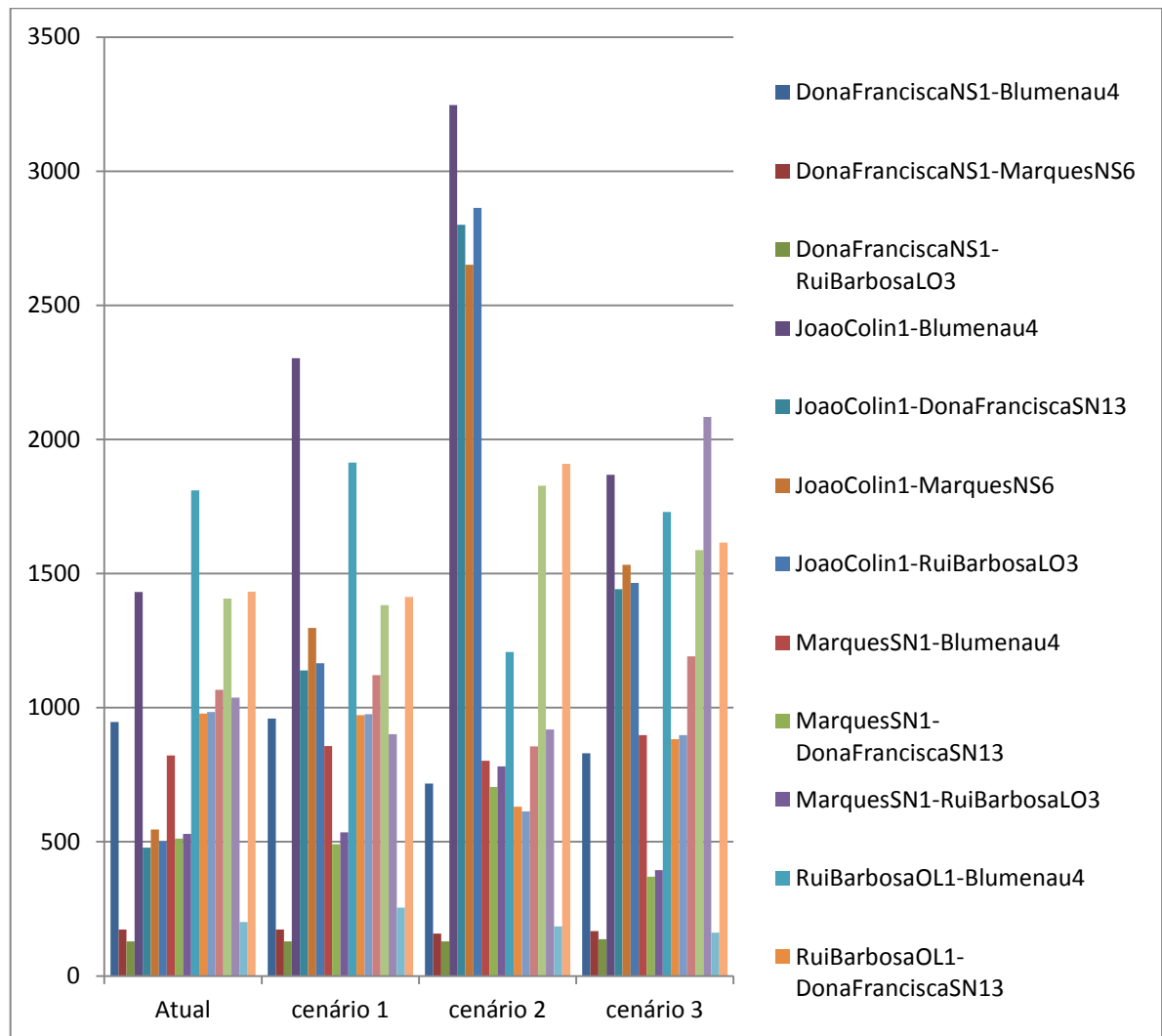
4.3.4 Média de duração de viagem entre origens e destinos

Como podemos ver na Figura 33 e Figura 34, o cenário 1 não diminuiu os tempos de viagem dos fluxos que tem origem na Rua João Colin e passam pela Rua Dona Francisca, apenas aumentou um pouco a média de duração de viagens.

O cenário 2 piorou muito os tempos de viagem dos fluxos que saem da João Colin e precisam passar pela interseção da Rua Dona Francisca com a Vice-Prefeito e a Rua Iguazu (Figura 33 e Figura 34), porém reduziu muito o problema da Rua Rui Barbosa que foi comentado na seção 4.1.2.

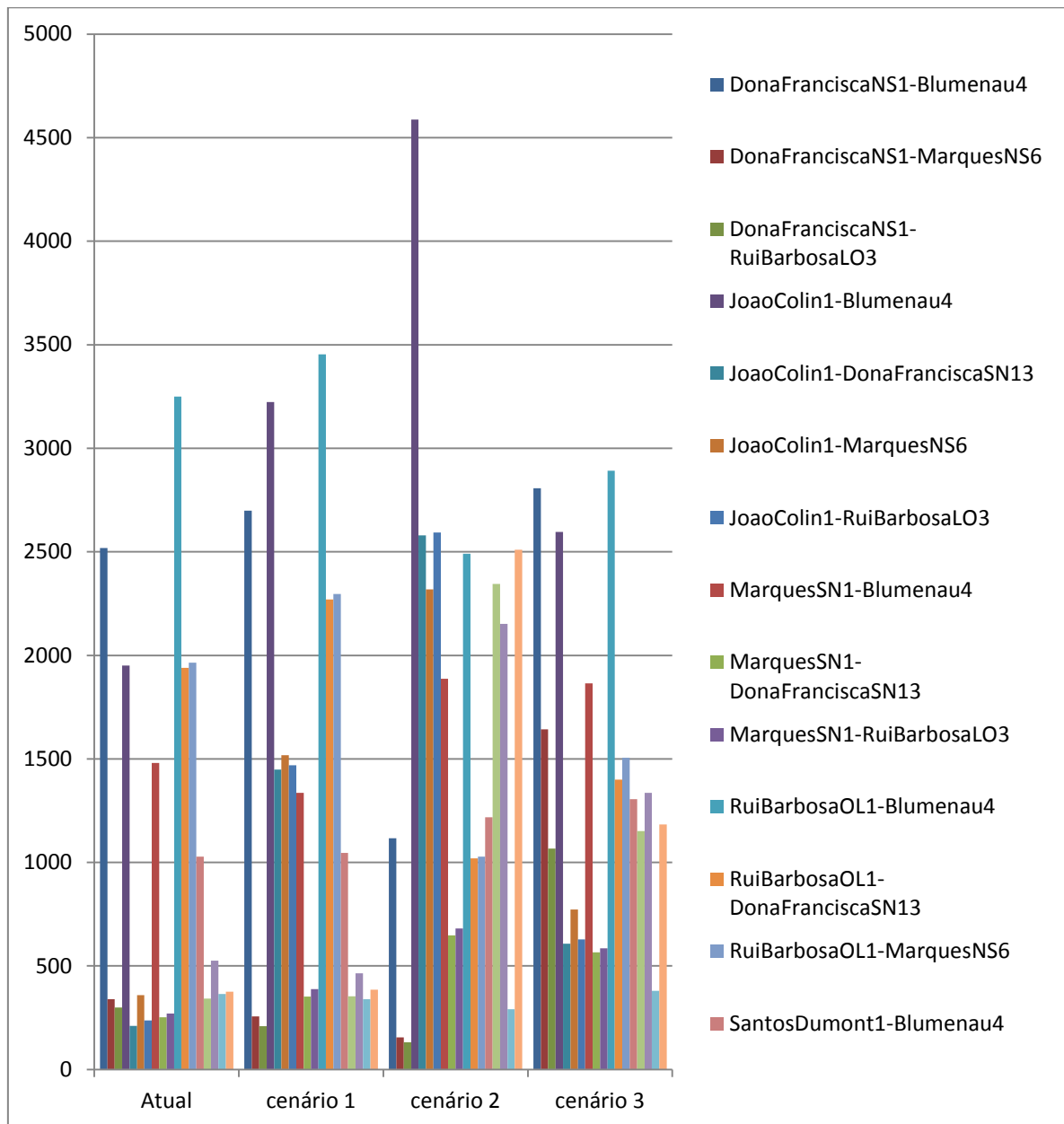
O cenário 3, apesar de ter sido o cenário com a pior média de duração de viagem, tanto para o período da manhã, quanto para o período da tarde, se verificarmos as Figuras 33 e 34 que detalham as médias de duração por origem-destino, podemos perceber que o cenário 3 foi o que teve as menores médias de tempo de viagem nas rotas que passam pela Rua Dona Francisca oriundas da João Colin (interseção Dona Francisca- Vice Prefeito- Iguazu) no período da tarde, mas mesmo assim foi pior que o cenário atual também nesse quesito.

Figura 33- Média de duração de viagens em segundos entre origens e destinos por cenário no período da manhã.



Fonte: Autor (2019).

Figura 34- Média de duração de viagens em segundos entre origens e destinos no período da tarde.



Fonte: Autor (2019).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A Tabela 3 resume os resultados apresentados nos gráficos da seção anterior, enfatizando os 2 melhores cenários para cada indicador nos períodos da manhã e da tarde. Nos dois períodos tornasse evidente que não houve melhora geral de nenhum dos cenários, porém o que mais se aproximou de uma melhora foi o cenário 1, que inclusive foi melhor que o atual nos indicadores de tempo máximo.

Tabela 3- Resumo dos principais resultados.

| Indicadores | Posição | Manhã | | Tarde | |
|-------------------------------------|----------------|---------|-----------|---------|-----------|
| | | Cenário | Resultado | Cenário | Resultado |
| Média da duração do tempo de viagem | Melhor | Atual | 00:14:06 | Atual | 00:17:47 |
| | Segundo Melhor | 1 | 00:15:22 | 1 | 00:19:37 |
| Média de tempo perdido | Melhor | Atual | 00:11:44 | Atual | 00:15:21 |
| | Segundo Melhor | 1 | 00:13:01 | 1 | 00:17:12 |
| Média de tempo de espera | Melhor | Atual | 00:04:19 | Atual | 00:07:19 |
| | Segundo Melhor | 1 | 00:05:13 | 1 | 00:09:06 |
| Duração máxima de viagem | Melhor | 1 | 01:13:13 | 1 | 01:43:29 |
| | Segundo Melhor | 3 | 01:15:15 | Atual | 01:43:59 |
| Máximo tempo perdido | Melhor | 1 | 01:09:53 | 1 | 01:39:51 |
| | Segundo Melhor | 3 | 01:10:08 | Atual | 01:40:53 |
| Máximo tempo de espera | Melhor | Atual | 00:29:27 | Atual | 00:47:13 |
| | Segundo Melhor | 1 | 00:38:19 | 1 | 00:53:13 |

Fonte: Autor (2019).

O cenário 1 por sua vez é o cenário que menos apresenta alterações, consistindo apenas na adição de um semáforo na Rua Dona Francisca, o que indica que talvez um dimensionamento melhor destes semáforos, fazendo uma aplicação minuciosa do método de Webster (o que não foi feito neste trabalho) possa fazer com que esse cenário apresente uma melhora em relação ao cenário atual.

A Tabela 4 quantifica as melhoras obtidas pelo cenário 1 no período da manhã. Como pode ser visto, as rotas (f9, f10, f11, f12, f13, f14) que passam pela interseção Dona Francisca-Vice-Prefeito-Iguaçu apresentam uma piora muito grande em relação ao cenário

atual, apesar de os problemas da Rui Barbosa e da Arno Waldemar Döhler apresentarem uma pequena melhora.

Considerando tanto a quantidade de viagens melhoradas quanto a intensidade das melhoras, o cenário 1 apresentou mais piores do que melhoras em relação ao cenário atual.

Tabela 4- Comparação entre o cenário atual e o cenário 1 no período da manhã.

| Fluxos | Origem-Destino | Média duração do tempo de viagem (s) | | Melhorou(+) / Piorou(-) | Melhoria em segundos |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|
| | | Cenário Atual | Cenário 1 | | |
| f30, f31, f33. | DonaFranciscaNS1-Blumenau4 | 947 | 960 | - | -13 |
| f29, f32. | DonaFranciscaNS1-MarquesNS6 | 173 | 173 | N | 0 |
| f28 | DonaFranciscaNS1-RuiBarbosaLO3 | 129 | 129 | N | 0 |
| f9, f11. | JoaoColin1-Blumenau4 | 1432 | 2303 | - | -872 |
| f12. | JoaoColin1-DonaFranciscaSN13 | 478 | 1139 | - | -661 |
| f10, f14. | JoaoColin1-MarquesNS6 | 546 | 1297 | - | -752 |
| f13. | JoaoColin1-RuiBarbosaLO3 | 502 | 1166 | - | -664 |
| f15, f16, f18, f19, f20 | MarquesSN1-Blumenau4 | 822 | 857 | - | -35 |
| f17, f21. | MarquesSN1-DonaFranciscaSN13 | 512 | 491 | + | 21 |
| f22. | MarquesSN1-RuiBarbosaLO3 | 530 | 535 | - | -5 |
| f24, f25, f26. | RuiBarbosaOL1-Blumenau4 | 1810 | 1914 | - | -104 |
| f27. | RuiBarbosaOL1-DonaFranciscaSN13 | 978 | 972 | + | 6 |
| f23. | RuiBarbosaOL1-MarquesNS6 | 984 | 976 | + | 8 |
| f2, f3, f8. | SantosDumont1-Blumenau4 | 1067 | 1121 | - | -54 |
| f4. | SantosDumont1-DonaFranciscaSN13 | 1406 | 1383 | + | 24 |
| f1, f6, f7. | SantosDumont1-MarquesNS6 | 1038 | 901 | + | 137 |
| f34. | SantosDumont1-OttoNassOL | 201 | 255 | - | -54 |
| f5. | SantosDumont1-RuiBarbosaLO3 | 1433 | 1413 | + | 20 |
| Melhoria Total | | | | 6(+), 10(-) | -2998 |

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 5 compara os resultados entre o cenário atual e o cenário 1, o mesmo comportamento se observa, o cenário 1 apresenta grandes demoras devido a implementação do semáforo, e também piora o problema da Rua Rui Barbosa, porém melhora um pouco o problema da Rua Arno Waldemar Döhler.

Tabela 5- Comparação entre o cenário atual e o cenário 1 no período da tarde.

| Fluxos | Origem-Destino | Média duração do tempo de viagem (s) | | Melhorou(+) / Piorou(-) | Melhoria em segundos |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|
| | | Cenário Atual | Cenário 1 | | |
| f30, f31, f33. | DonaFranciscaNS1-Blumenau4 | 2518 | 2698 | - | -180 |
| f29, f32. | DonaFranciscaNS1-MarquesNS6 | 339 | 257 | + | 82 |
| f28 | DonaFranciscaNS1-RuiBarbosaLO3 | 300 | 210 | + | 90 |
| f9, f11. | JoaoColin1-Blumenau4 | 1951 | 3223 | - | -1272 |
| f12. | JoaoColin1-DonaFranciscaSN13 | 211 | 1448 | - | -1237 |
| f10, f14. | JoaoColin1-MarquesNS6 | 360 | 1518 | - | -1158 |
| f13. | JoaoColin1-RuiBarbosaLO3 | 238 | 1469 | - | -1231 |
| f15, f16, f18, f19, f20 | MarquesSN1-Blumenau4 | 1481 | 1336 | + | 145 |
| f17, f21. | MarquesSN1-DonaFranciscaSN13 | 253 | 352 | - | -100 |
| f22. | MarquesSN1-RuiBarbosaLO3 | 271 | 389 | - | -118 |
| f24, f25, f26. | RuiBarbosaOL1-Blumenau4 | 3250 | 3454 | - | -204 |
| f27. | RuiBarbosaOL1-DonaFranciscaSN13 | 1940 | 2270 | - | -330 |
| f23. | RuiBarbosaOL1-MarquesNS6 | 1965 | 2296 | - | -332 |
| f2, f3, f8. | SantosDumont1-Blumenau4 | 1028 | 1046 | - | -17 |
| f4. | SantosDumont1-DonaFranciscaSN13 | 342 | 353 | - | -11 |
| f1, f6, f7. | SantosDumont1-MarquesNS6 | 525 | 465 | + | 60 |
| f34. | SantosDumont1-OttoNassOL | 365 | 339 | + | 26 |
| f5. | SantosDumont1-RuiBarbosaLO3 | 376 | 386 | - | -10 |
| Melhoria Total | | | | 5(+), 13(-) | -5797 |

Fonte: Autor (2019).

Através dos resultados demonstrados nos gráficos das Figuras 33 e 34, como foi discutido na seção anterior, pode-se ter uma ideia mais ampla do que cada cenário contribuiu para melhorar ou piorar nos principais problemas apontados no início do capítulo anterior. O Quadro 3 resume a análise dos gráficos de origens e destinos dando mais ênfase aos pontos críticos do que as médias gerais de cada cenário.

Quadro 3- Desempenho dos cenários na solução dos principais problemas do cenário atual.

| Problema | Cenários que Melhoraram | Cenários que Pioraram |
|--|---|------------------------|
| Filas na Ruí Barbosa no período da tarde devido ao grande fluxo de veículos oriundas da Dona Francisca norte que ocupam a rotatória em direção a Marques de Olinda dando pouca oportunidade para os veículos da Ruí Barbosa entrarem | Cenário 2, melhorou muito. Cenário 3, melhora média. | Cenário 1 |
| Filas na Arno Waldemar Döhler e na Dona Francisca sul no período da manhã devido ao grande fluxo de veículos que saem da Marques de Olinda em direção a Dona Francisca norte dando pouca oportunidade para os veículos da João Colin e da Waldemar Döhler entrarem | Cenário 1, melhorou pouco. | Cenário 2 Cenário 3 |

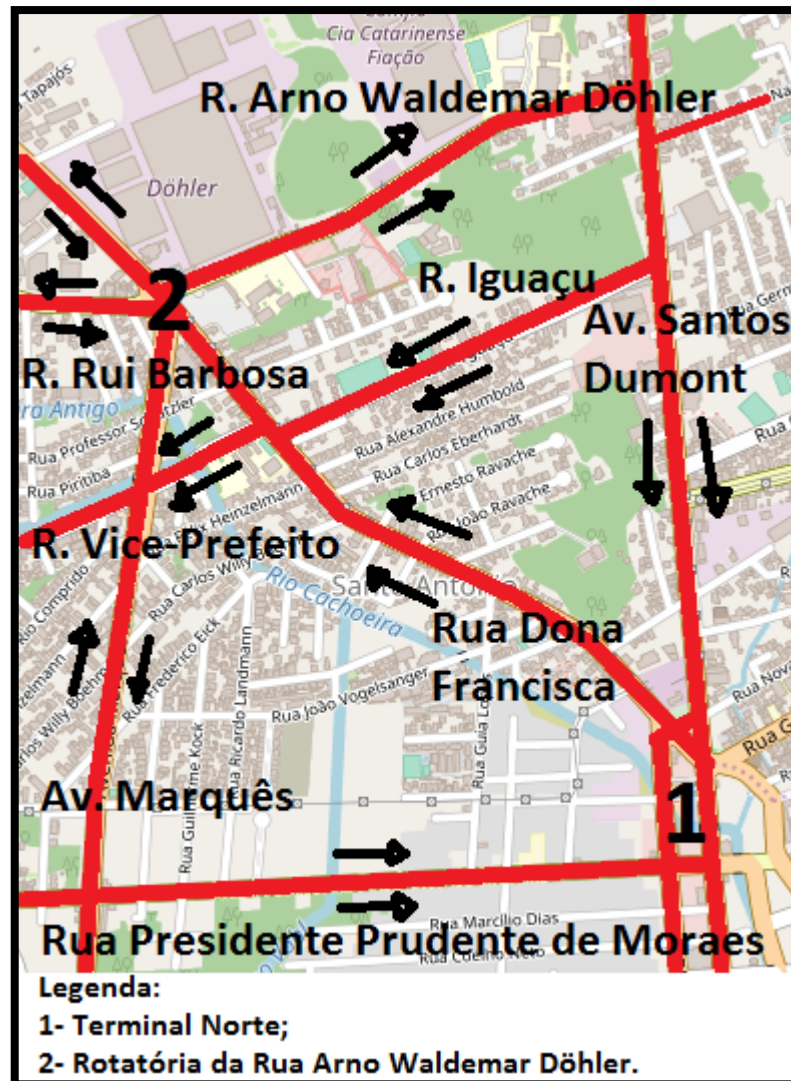
| | | |
|---|---------------|--|
| <p>Filas na Rua Dona Francisca na interseção com as Ruas Iguazu e Vice-Prefeito Carlos Luiz García provavelmente devido ao grande número de veículos que param no meio da Dona Francisca para fazer a conversão na Iguazu e na Vice-Prefeito.</p> | <p>Nenhum</p> | <p>Cenário 1 Cenário 2 Cenário 3</p> |
|---|---------------|--|

Fonte: Autor (2019).

Com estes resultados podemos concluir que nenhuma das propostas de mudança no tráfego apresentou melhora satisfatória tanto para o período da tarde quanto para o período da manhã se considerarmos apenas comparações gerais entre os cenários com melhor média (Tabelas 4 e 5). Também não apresentaram melhora satisfatória para os pontos críticos (Quadro 3). Logo, não há nenhuma das propostas que justifique uma alteração real por enquanto. Assim sendo, este trabalho só pode indicar que novos cenários sejam simulados em cenários futuros focando em resolver todos estes problemas críticos.

Uma sugestão para trabalhos futuros é mostrada na Figura 34, o cenário proposto seria uma ampliação do cenário 2 fazendo a Rua Dona Francisca ter sentido único do terminal norte até a rotatória e dando como opção de descida para o grande fluxo de veículos que viajam no sentido Norte-Sul no período da tarde a Rua Presidente Prudente de Moraes, que teria sentido único da Av. Marquês de Olinda até o terminal norte. Essa proposta objetivaria manter os benefícios que o cenário 2 apresentou em relação ao problema da Rui Barbosa e poderia adicionar benefícios aos outros problemas.

Figura 35- Sugestão de alterações para trabalhos futuros.



Fonte: Autor (2019).

6 CONCLUSÕES

A mobilidade urbana é de grande importância para o desenvolvimento das cidades e para o bem estar da população, porém, hoje em dia com o grande aumento do número de veículos particulares nas vias brasileiras, está se tornando cada vez mais difícil criar um ambiente eficiente e agradável de trânsito.

Quando iniciou-se o trabalho constatou-se que a Rua Dona Francisca na região entre o terminal norte e a rotatória da Rua Arno Waldemar Döhler e as ruas subjacentes estão atualmente em um estado de congestionamento elevado, por isso era importante que se apresentassem propostas de mudança que pudessem diminuir o congestionamento. Dessa forma o escopo deste trabalho compreendeu a região entre a Rua Dona Francisca e Av. Santos Dumont incluindo as ruas que tem acesso a rotatória da Rua Arno Waldemar Döhler e o terminal norte, definindo-se pontos de contagem e semáforos que deveriam ser cronometrados.

A metodologia utilizada para realizar o trabalho foi dividida em 6 etapas: levantamento bibliográfico, definição do escopo, levantamento de dados, elaboração dos cenários, definição de critérios para análise dos resultados e avaliação dos resultados.

O objetivo geral do trabalho era fazer uma análise de propostas de mudança no tráfego na região do trecho da Rua Dona Francisca que compreende do terminal norte até a rotatória da Arno Waldemar Döhler, utilizando simulações com o software SUMO. Este objetivo foi atendido realizando-se os objetivos específicos ao identificar o comportamento do tráfego através de contagens, obter uma boa previsão de como se comportará o tráfego no caso da realização das mudanças propostas e implementando-se um modelo de simulação que se aproxime da realidade utilizando o SUMO. Porém, o último objetivo específico, que era utilizar os resultados para sugerir mudanças no tráfego não foi concluído pois nenhuma das propostas de mudança teve uma melhora que justificasse uma implementação.

A pesquisa partiu da hipótese de que os três cenários de mudança propostos fossem diminuir o congestionamento da região do escopo, porém, a hipótese inicial foi refutada e nenhuma das mudanças propostas apresentou uma melhora que fosse satisfatória, tanto para o período da tarde, quanto para o período da manhã. Tendo isso em vista, como não foi encontrada uma solução para o problema, sugeriu-se que se mantivesse o estado atual de tráfego na região até que se façam simulações e análises de novas propostas.

Uma sugestão para trabalhos futuros é aumentar o escopo para compreender a Rua Presidente Prudente de Moraes e criar um cenário que simule um binário entre a Rua Dona

Francisca e a Rua Prudente de Moraes, onde a Rua Dona Francisca seria mão única entre o terminal norte e em direção a rotatória da Arno Waldemar Döhler e a Prudente de Moraes seria mão única no sentido Av. Marques de Olinda-terminal norte.

REFERÊNCIAS

- BARCELÓ, Jaume (Org.) **Fundamentals of Traffic Simulation**. New York: Springer, 2010.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. **PlanMob: Caderno de Referência Para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana**. Brasília, 2015. 237 p. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- CAMPUS, Vânia Barcellos Gouvêa. **Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos de Análise**. 2013. Disponível em: <<http://www.marcusquintella.com.br/sig/lib/uploaded/Planejamento%20de%20Transportes%20-%20V%C3%83%C2%A2nia%20Campos.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume V: Sinalização Semáforica**, 2014. 308 p. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1AC9nTwpSf3YfPeaEWta8brE4iPePtcFn/view>>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudos de Tráfego**, 2006. 384 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/723_manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- DUARTE, Anderson Riberiro et al. Detecção do Comprimento do Período Adequado de Aquecimento em Modelos de Simulação a Tempo Discreto. **INOVAE: Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 12-29, jul./dez. 2016.
- FERRAZ, Antonio Clovis Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **Transporte Público Urbano**. 2. Ed. São Carlos: Rima, 2004.
- GREENSHIELDS, Bruce D. A Study of Traffic Capacity. **Highway Research Board**, Ohio. 1935.
- INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. **PlanMOB Volume I. Plano de Mobilidade Urbana de Joinville**, 2016. 150 p. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/plano-de-mobilidade-de-joinville-planmob/>>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- LEITE, José Geraldo Maderna. **Engenharia de Tráfego: métodos de pesquisa, características de tráfego, interseções e sinais luminosos**. São Paulo, 1980.
- O'FLAHERTY, CA. (Org.) **Transport Planning and Traffic Engineering**. The Netherlands: Elsevier, 1997.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. Ed. Novo Hamburgo, 2013.
- ROESS, Roger P.; PRASSAS, Elena S.; MCSHANE, William R. **Traffic Engineering**. 4. Ed. Upper Saddle River, 2011.

SCHOFER, Ralph E.; LEVIN, Bernard M. The Urban Transportation Planning Process. **Technical Analysis Division, National Bureau of Standards**, Washington D.C., 20234, p. 185-197, jul. 1967.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville Cidade em Dados**, 2018. 297 p. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/joinville-cidade-em-dados-2018/>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

SONG, J. et al. Research on car-following model based on sumo. In: IEEE. **Advanced Infocomm Technology (ICAIT), 2014 IEEE 7th International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 47–55.

SUMO-Wiki. **Tutorials**. Disponível em: <<https://sumo.dlr.de/wiki/Tutorials>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**, 2000. 1207 p. Disponível em: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.

VIEIRA, Heitor. **Engenharia de Tráfego**. 20--?. 29 slides. Disponível em: <http://www.sabercom.furg.br/bitstream/1/1237/1/Engenharia_de_TrafegoI.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2. Ed. Porto Alegre, 2001.

APENDICE A – TABELAS DO LEVANTAMENTO DE DADOS

Tabela 6- Resultados do levantamento de dados detalhado para o período da manhã.

| Movimento | Horário | Automóvel | Moto | Ônibus | Caminhão | UCP |
|------------------|----------------|------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|
| A | 7:30 - 7:45 | 8 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | 7:45 - 8:00 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | 8:00 - 8:15 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 8:15 - 8:30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | Total | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 7:30 - 7:45 | 70 | 14 | 0 | 1 | 77,12 |
| | 7:45 - 8:00 | 61 | 19 | 0 | 0 | 67,27 |
| | 8:00 - 8:15 | 108 | 9 | 2 | 1 | 117,47 |
| | 8:15 - 8:30 | 70 | 2 | 1 | 0 | 72,66 |
| | Total | 309 | 44 | 3 | 2 | 334,52 |
| C | 7:30 - 7:45 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 7:45 - 8:00 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 8:00 - 8:15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 8:15 - 8:30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Total | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 7:30 - 7:45 | 123 | 12 | 1 | 0 | 128,96 |
| | 7:45 - 8:00 | 130 | 13 | 1 | 0 | 136,29 |
| | 8:00 - 8:15 | 123 | 7 | 2 | 3 | 136,81 |
| | 8:15 - 8:30 | 90 | 7 | 2 | 3 | 103,81 |
| | Total | 466 | 39 | 6 | 6 | 505,87 |
| E | 7:30 - 7:45 | 71 | 13 | 0 | 2 | 80,29 |
| | 7:45 - 8:00 | 57 | 12 | 0 | 0 | 60,96 |
| | 8:00 - 8:15 | 82 | 5 | 0 | 0 | 83,65 |
| | 8:15 - 8:30 | 26 | 0 | 0 | 1 | 28,5 |
| | Total | 236 | 30 | 0 | 3 | 253,4 |
| F | 7:30 - 7:45 | 15 | 1 | 0 | 1 | 17,83 |
| | 7:45 - 8:00 | 3 | 0 | 0 | 1 | 5,5 |
| | 8:00 - 8:15 | 14 | 1 | 0 | 0 | 14,33 |
| | 8:15 - 8:30 | 12 | 1 | 0 | 0 | 12,33 |
| | Total | 44 | 3 | 0 | 2 | 49,99 |
| G | 7:30 - 7:45 | 83 | 8 | 0 | 1 | 88,14 |
| | 7:45 - 8:00 | 92 | 17 | 0 | 2 | 102,61 |
| | 8:00 - 8:15 | 70 | 10 | 0 | 1 | 75,8 |
| | 8:15 - 8:30 | 63 | 8 | 0 | 2 | 70,64 |
| | Total | 308 | 43 | 0 | 6 | 337,19 |
| H | 7:30 - 7:45 | 4 | 5 | 0 | 1 | 8,15 |
| | 7:45 - 8:00 | 13 | 3 | 0 | 0 | 13,99 |
| | 8:00 - 8:15 | 22 | 5 | 0 | 0 | 23,65 |

| | | | | | | |
|---|-------------|------|-----|----|----|---------|
| | 8:15 - 8:30 | 28 | 2 | 0 | 2 | 33,66 |
| | Total | 67 | 15 | 0 | 3 | 79,45 |
| I | 7:30 - 7:45 | 107 | 0 | 0 | 0 | 107 |
| | 7:45 - 8:00 | 26 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| | 8:00 - 8:15 | 110 | 0 | 0 | 0 | 110 |
| | 8:15 - 8:30 | 220 | 0 | 0 | 0 | 220 |
| | Total | 463 | 0 | 0 | 0 | 463 |
| J | 7:30 - 7:45 | 151 | 0 | 0 | 0 | 151 |
| | 7:45 - 8:00 | 128 | 0 | 0 | 0 | 128 |
| | 8:00 - 8:15 | 124 | 0 | 0 | 0 | 124 |
| | 8:15 - 8:30 | 151 | 0 | 0 | 0 | 151 |
| | Total | 554 | 0 | 0 | 0 | 554 |
| M | 7:30 - 7:45 | 6 | 1 | 0 | 0 | 6,33 |
| | 7:45 - 8:00 | 5 | 0 | 0 | 4 | 15 |
| | 8:00 - 8:15 | 7 | 1 | 0 | 0 | 7,33 |
| | 8:15 - 8:30 | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | Total | 28 | 2 | 0 | 4 | 38,66 |
| N | 7:30 - 7:45 | 166 | 5 | 0 | 0 | 167,65 |
| | 7:45 - 8:00 | 154 | 16 | 0 | 3 | 166,78 |
| | 8:00 - 8:15 | 220 | 12 | 0 | 5 | 236,46 |
| | 8:15 - 8:30 | 174 | 6 | 1 | 3 | 185,48 |
| | Total | 714 | 39 | 1 | 11 | 756,37 |
| O | 7:30 - 7:45 | 72 | 14 | 7 | 1 | 93,12 |
| | 7:45 - 8:00 | 92 | 11 | 1 | 3 | 105,13 |
| | 8:00 - 8:15 | 120 | 7 | 2 | 6 | 141,31 |
| | 8:15 - 8:30 | 72 | 12 | 4 | 5 | 96,46 |
| | Total | 356 | 44 | 14 | 15 | 436,02 |
| P | 7:30 - 7:45 | 199 | 69 | 0 | 7 | 239,27 |
| | 7:45 - 8:00 | 174 | 35 | 1 | 3 | 195,05 |
| | 8:00 - 8:15 | 102 | 27 | 0 | 5 | 123,41 |
| | 8:15 - 8:30 | 121 | 13 | 0 | 3 | 132,79 |
| | Total | 596 | 144 | 1 | 18 | 690,52 |
| Q | 7:30 - 7:45 | 293 | 51 | 2 | 0 | 313,83 |
| | 7:45 - 8:00 | 248 | 60 | 2 | 1 | 274,3 |
| | 8:00 - 8:15 | 284 | 30 | 3 | 11 | 327,4 |
| | 8:15 - 8:30 | 247 | 14 | 3 | 12 | 287,62 |
| | Total | 1072 | 155 | 10 | 24 | 1203,15 |
| R | 7:30 - 7:45 | 138 | 27 | 8 | 15 | 200,41 |
| | 7:45 - 8:00 | 122 | 16 | 5 | 8 | 157,28 |
| | 8:00 - 8:15 | 109 | 11 | 6 | 7 | 142,13 |
| | 8:15 - 8:30 | 116 | 10 | 3 | 10 | 150,3 |
| | Total | 485 | 64 | 22 | 40 | 650,12 |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------|------|-----|----|----|--------|
| S | 7:30 - 7:45 | 100 | 38 | 0 | 5 | 125,04 |
| | 7:45 - 8:00 | 65 | 26 | 2 | 4 | 87,58 |
| | 8:00 - 8:15 | 89 | 16 | 1 | 3 | 103,78 |
| | 8:15 - 8:30 | 89 | 6 | 2 | 3 | 102,48 |
| | Total | 343 | 86 | 5 | 15 | 418,88 |
| T | 7:30 - 7:45 | 143 | 12 | 2 | 5 | 163,46 |
| | 7:45 - 8:00 | 111 | 13 | 5 | 1 | 127,79 |
| | 8:00 - 8:15 | 105 | 11 | 3 | 9 | 137,13 |
| | 8:15 - 8:30 | 76 | 3 | 3 | 9 | 105,49 |
| | Total | 435 | 39 | 13 | 24 | 533,87 |
| U | 7:30 - 7:45 | 125 | 19 | 1 | 5 | 145,77 |
| | 7:45 - 8:00 | 95 | 20 | 1 | 9 | 126,1 |
| | 8:00 - 8:15 | 95 | 9 | 0 | 7 | 115,47 |
| | 8:15 - 8:30 | 75 | 10 | 1 | 7 | 97,8 |
| | Total | 390 | 58 | 3 | 28 | 485,14 |
| V | 7:30 - 7:45 | 419 | 73 | 9 | 2 | 466,09 |
| | 7:45 - 8:00 | 360 | 73 | 3 | 5 | 402,59 |
| | 8:00 - 8:15 | 250 | 36 | 5 | 8 | 291,88 |
| | 8:15 - 8:30 | 214 | 38 | 3 | 6 | 247,54 |
| | Total | 1243 | 220 | 20 | 21 | 1408,1 |
| Calculados | | | | | | |
| K | 7:30 - 7:45 | 105 | -6 | 0 | 0 | 103,02 |
| | 7:45 - 8:00 | 10 | -10 | 0 | 0 | 6,7 |
| | 8:00 - 8:15 | 63 | -9 | -2 | -1 | 53,53 |
| | 8:15 - 8:30 | 148 | -4 | -1 | -1 | 142,18 |
| | Total | 326 | -29 | -3 | -2 | 305,43 |
| L | 7:30 - 7:45 | 104 | -5 | -1 | 0 | 100,35 |
| | 7:45 - 8:00 | 96 | 4 | -1 | 1 | 97,82 |
| | 8:00 - 8:15 | 61 | 2 | -2 | -2 | 52,66 |
| | 8:15 - 8:30 | 117 | 0 | -2 | -1 | 110,5 |
| | Total | 378 | 1 | -6 | -2 | 361,33 |
| X | 7:30 - 7:45 | 86 | 14 | 0 | 3 | 98,12 |
| | 7:45 - 8:00 | 60 | 12 | 0 | 1 | 66,46 |
| | 8:00 - 8:15 | 96 | 6 | 0 | 0 | 97,98 |
| | 8:15 - 8:30 | 38 | 1 | 0 | 1 | 40,83 |
| | Total | 280 | 33 | 0 | 5 | 303,39 |
| W | 7:30 - 7:45 | 87 | 13 | 0 | 2 | 96,29 |
| | 7:45 - 8:00 | 105 | 20 | 0 | 2 | 116,6 |
| | 8:00 - 8:15 | 92 | 15 | 0 | 1 | 99,45 |
| | 8:15 - 8:30 | 91 | 10 | 0 | 4 | 104,3 |
| | Total | 375 | 58 | 0 | 9 | 416,64 |
| Y | 7:30 - 7:45 | 405 | 73 | 16 | 0 | 461,09 |

| | | | | | |
|--------------|-------------|------------|-----------|-----------|----------------|
| 7:45 - 8:00 | 392 | 72 | 4 | 7 | 441,26 |
| 8:00 - 8:15 | 274 | 37 | 7 | 14 | 335,21 |
| 8:15 - 8:30 | 248 | 49 | 7 | 10 | 303,17 |
| Total | 1319 | 231 | 34 | 31 | 1540,73 |

Fonte: Autor (2019)

Tabela 7- Resultados do levantamento de dados detalhado para o período da tarde.

| Movimento | Horário | Automóvel | Moto | Ônibus | Caminhão | UCP |
|------------------|----------------|------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|
| A | 17:30 - 17:45 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 17:45 - 18:00 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | 18:00 - 18:15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | 18:15 - 18:30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Total | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| B | 17:30 - 17:45 | 76 | 11 | 2 | 0 | 83,63 |
| | 17:45 - 18:00 | 105 | 7 | 1 | 1 | 111,81 |
| | 18:00 - 18:15 | 90 | 11 | 0 | 0 | 93,63 |
| | 18:15 - 18:30 | 96 | 9 | 2 | 0 | 102,97 |
| | Total | 367 | 38 | 5 | 1 | 392,04 |
| C | 17:30 - 17:45 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3,5 |
| | 17:45 - 18:00 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | 18:00 - 18:15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 18:15 - 18:30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Total | 5 | 0 | 0 | 1 | 7,5 |
| D | 17:30 - 17:45 | 94 | 23 | 0 | 1 | 104,09 |
| | 17:45 - 18:00 | 90 | 17 | 5 | 4 | 115,61 |
| | 18:00 - 18:15 | 119 | 11 | 6 | 1 | 137,13 |
| | 18:15 - 18:30 | 130 | 8 | 1 | 0 | 134,64 |
| | Total | 433 | 59 | 12 | 6 | 491,47 |
| E | 17:30 - 17:45 | 49 | 2 | 0 | 0 | 49,66 |
| | 17:45 - 18:00 | 39 | 1 | 0 | 2 | 44,33 |
| | 18:00 - 18:15 | 49 | 0 | 0 | 0 | 49 |
| | 18:15 - 18:30 | 40 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| | Total | 177 | 3 | 0 | 2 | 182,99 |
| F | 17:30 - 17:45 | 7 | 2 | 0 | 0 | 7,66 |
| | 17:45 - 18:00 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | 18:00 - 18:15 | 13 | 5 | 0 | 2 | 19,65 |
| | 18:15 - 18:30 | 6 | 3 | 0 | 0 | 6,99 |
| | Total | 35 | 10 | 0 | 2 | 43,3 |
| G | 17:30 - 17:45 | 87 | 35 | 0 | 0 | 98,55 |
| | 17:45 - 18:00 | 80 | 20 | 0 | 3 | 94,1 |
| | 18:00 - 18:15 | 77 | 21 | 0 | 3 | 91,43 |

| | | | | | | |
|---|---------------|-----|-----|---|----|--------|
| | 18:15 - 18:30 | 89 | 19 | 0 | 1 | 97,77 |
| | Total | 333 | 95 | 0 | 7 | 381,85 |
| H | 17:30 - 17:45 | 26 | 4 | 0 | 0 | 27,32 |
| | 17:45 - 18:00 | 27 | 7 | 0 | 1 | 31,81 |
| | 18:00 - 18:15 | 16 | 0 | 1 | 1 | 20,5 |
| | 18:15 - 18:30 | 25 | 2 | 0 | 0 | 25,66 |
| | Total | 94 | 13 | 1 | 2 | 105,29 |
| I | 17:30 - 17:45 | 193 | 0 | 0 | 0 | 193 |
| | 17:45 - 18:00 | 195 | 0 | 0 | 0 | 195 |
| | 18:00 - 18:15 | 69 | 0 | 0 | 0 | 69 |
| | 18:15 - 18:30 | 105 | 0 | 0 | 0 | 105 |
| | Total | 562 | 0 | 0 | 0 | 562 |
| J | 17:30 - 17:45 | 214 | 0 | 0 | 0 | 214 |
| | 17:45 - 18:00 | 185 | 0 | 0 | 0 | 185 |
| | 18:00 - 18:15 | 157 | 0 | 0 | 0 | 157 |
| | 18:15 - 18:30 | 149 | 0 | 0 | 0 | 149 |
| | Total | 705 | 0 | 0 | 0 | 705 |
| M | 17:30 - 17:45 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3,33 |
| | 17:45 - 18:00 | 20 | 3 | 0 | 0 | 20,99 |
| | 18:00 - 18:15 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 18:15 - 18:30 | 12 | 1 | 0 | 0 | 12,33 |
| | Total | 39 | 5 | 0 | 0 | 40,65 |
| N | 17:30 - 17:45 | 122 | 24 | 0 | 1 | 132,42 |
| | 17:45 - 18:00 | 120 | 15 | 0 | 0 | 124,95 |
| | 18:00 - 18:15 | 148 | 26 | 0 | 2 | 161,58 |
| | 18:15 - 18:30 | 134 | 32 | 0 | 1 | 147,06 |
| | Total | 524 | 97 | 0 | 4 | 566,01 |
| O | 17:30 - 17:45 | 172 | 58 | 1 | 1 | 195,64 |
| | 17:45 - 18:00 | 190 | 28 | 2 | 3 | 210,74 |
| | 18:00 - 18:15 | 219 | 38 | 2 | 6 | 250,54 |
| | 18:15 - 18:30 | 226 | 40 | 1 | 0 | 241,2 |
| | Total | 807 | 164 | 6 | 10 | 898,12 |
| P | 17:30 - 17:45 | 181 | 44 | 2 | 4 | 209,52 |
| | 17:45 - 18:00 | 155 | 23 | 1 | 4 | 174,59 |
| | 18:00 - 18:15 | 174 | 27 | 0 | 0 | 182,91 |
| | 18:15 - 18:30 | 174 | 22 | 1 | 1 | 185,76 |
| | Total | 684 | 116 | 4 | 9 | 752,78 |
| Q | 17:30 - 17:45 | 154 | 24 | 3 | 9 | 190,42 |
| | 17:45 - 18:00 | 134 | 10 | 3 | 4 | 153,3 |
| | 18:00 - 18:15 | 150 | 16 | 0 | 3 | 162,78 |
| | 18:15 - 18:30 | 132 | 11 | 1 | 5 | 150,13 |
| | Total | 570 | 61 | 7 | 21 | 656,63 |

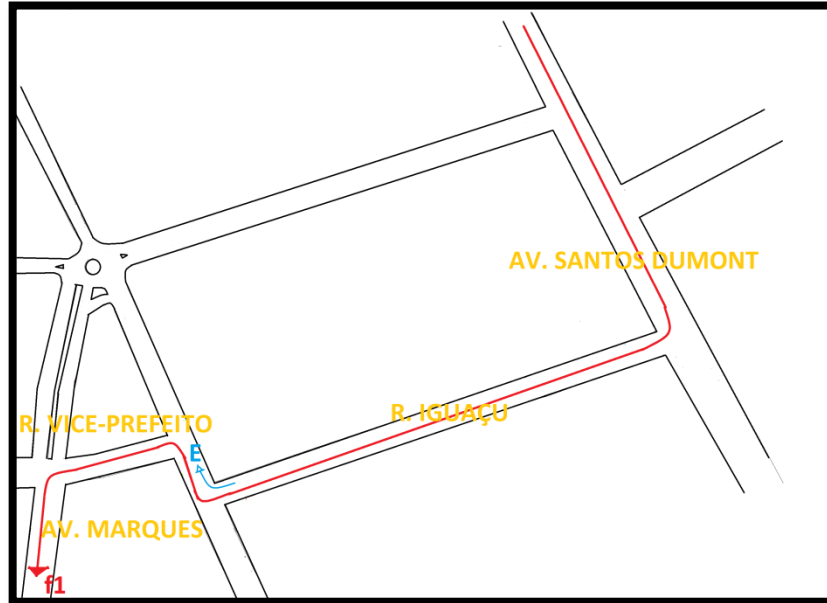
| | | | | | | |
|-------------------|---------------|------|-----|-----|----|---------|
| | 17:30 - 17:45 | 246 | 131 | 2 | 2 | 298,23 |
| | 17:45 - 18:00 | 236 | 36 | 9 | 4 | 275,88 |
| R | 18:00 - 18:15 | 258 | 89 | 5 | 2 | 302,37 |
| | 18:15 - 18:30 | 246 | 41 | 3 | 2 | 270,53 |
| | Total | 986 | 297 | 19 | 10 | 1147,01 |
| | 17:30 - 17:45 | 150 | 24 | 1 | 3 | 167,42 |
| | 17:45 - 18:00 | 98 | 12 | 4 | 3 | 117,46 |
| S | 18:00 - 18:15 | 128 | 9 | 0 | 5 | 143,47 |
| | 18:15 - 18:30 | 112 | 9 | 2 | 1 | 121,47 |
| | Total | 488 | 54 | 7 | 12 | 549,82 |
| | 17:30 - 17:45 | 120 | 48 | 4 | 3 | 151,34 |
| | 17:45 - 18:00 | 105 | 31 | 3 | 1 | 123,73 |
| T | 18:00 - 18:15 | 114 | 21 | 3 | 2 | 131,93 |
| | 18:15 - 18:30 | 106 | 17 | 2 | 3 | 123,11 |
| | Total | 445 | 117 | 12 | 9 | 530,11 |
| | 17:30 - 17:45 | 170 | 23 | 1 | 2 | 184,59 |
| | 17:45 - 18:00 | 178 | 19 | 0 | 3 | 191,77 |
| U | 18:00 - 18:15 | 193 | 12 | 0 | 2 | 201,96 |
| | 18:15 - 18:30 | 192 | 16 | 0 | 2 | 202,28 |
| | Total | 733 | 70 | 1 | 9 | 780,6 |
| | 17:30 - 17:45 | 400 | 89 | 0 | 1 | 431,87 |
| | 17:45 - 18:00 | 325 | 51 | 11 | 2 | 368,83 |
| V | 18:00 - 18:15 | 306 | 70 | 9 | 5 | 359,6 |
| | 18:15 - 18:30 | 361 | 50 | 9 | 5 | 408 |
| | Total | 1392 | 260 | 29 | 13 | 1568,3 |
| Calculados | | | | | | |
| | 17:30 - 17:45 | 141 | -13 | -2 | 1 | 135,21 |
| | 17:45 - 18:00 | 105 | -13 | -1 | 0 | 98,71 |
| K | 18:00 - 18:15 | 12 | -11 | -1 | -1 | 3,87 |
| | 18:15 - 18:30 | 25 | -11 | -2 | 0 | 17,37 |
| | Total | 283 | -48 | -6 | 0 | 255,16 |
| | 17:30 - 17:45 | 204 | 10 | 0 | -1 | 204,8 |
| | 17:45 - 18:00 | 169 | 3 | -5 | -1 | 157,49 |
| L | 18:00 - 18:15 | 104 | 5 | -6 | 0 | 93,65 |
| | 18:15 - 18:30 | 103 | 8 | -1 | 1 | 106,14 |
| | Total | 580 | 26 | -12 | -1 | 562,08 |
| | 17:30 - 17:45 | 56 | 4 | 0 | 0 | 57,32 |
| | 17:45 - 18:00 | 48 | 1 | 0 | 2 | 53,33 |
| X | 18:00 - 18:15 | 62 | 5 | 0 | 2 | 68,65 |
| | 18:15 - 18:30 | 46 | 3 | 0 | 0 | 46,99 |
| | Total | 212 | 13 | 0 | 4 | 226,29 |
| W | 17:30 - 17:45 | 113 | 39 | 0 | 0 | 125,87 |

| | | | | | | |
|---|---------------|-------------|------------|-----------|-----------|----------------|
| | 17:45 - 18:00 | 107 | 27 | 0 | 4 | 125,91 |
| | 18:00 - 18:15 | 93 | 21 | 1 | 4 | 111,93 |
| | 18:15 - 18:30 | 114 | 21 | 0 | 1 | 123,43 |
| | Total | 427 | 108 | 1 | 9 | 487,14 |
| Y | 17:30 - 17:45 | 516 | 143 | 1 | 2 | 570,19 |
| | 17:45 - 18:00 | 467 | 78 | 13 | 3 | 526,24 |
| | 18:00 - 18:15 | 463 | 103 | 11 | 9 | 541,49 |
| | 18:15 - 18:30 | 541 | 87 | 10 | 5 | 602,21 |
| | Total | 1987 | 411 | 35 | 19 | 2240,13 |

Fonte: Autor (2019)

APENDICE B – ROTAS E FLUXOS PARCIAIS

Figura 36- Fluxo parcial que passa na rota 1.

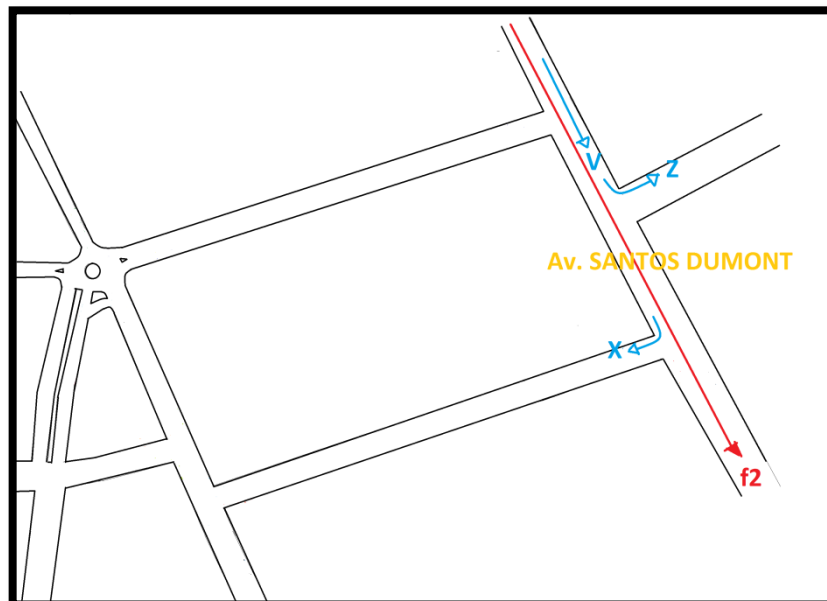


Fonte: Autor(2019)

$$f_1 = E$$

(13)

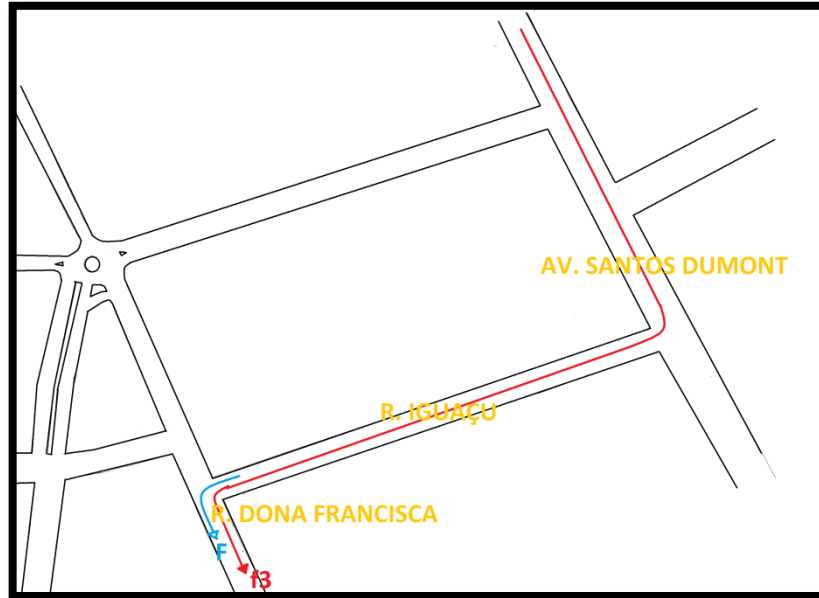
Figura 37- Fluxo parcial que passa na rota 2.



Fonte: Autor(2019)

$$f_2 = V-Z-X \quad (14)$$

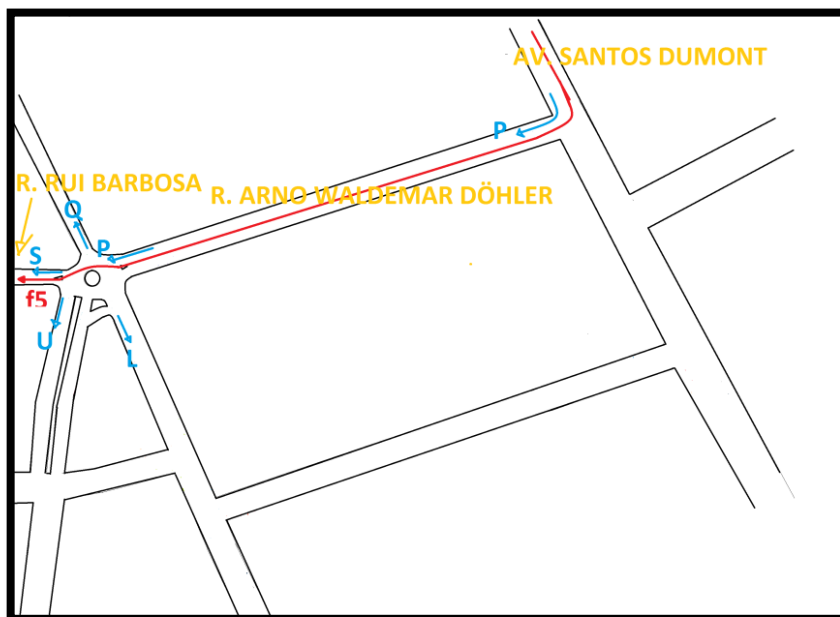
Figura 38- Fluxo parcial que passa na rota 3.



Fonte: Autor(2019)

$$f_3 = F \quad (15)$$

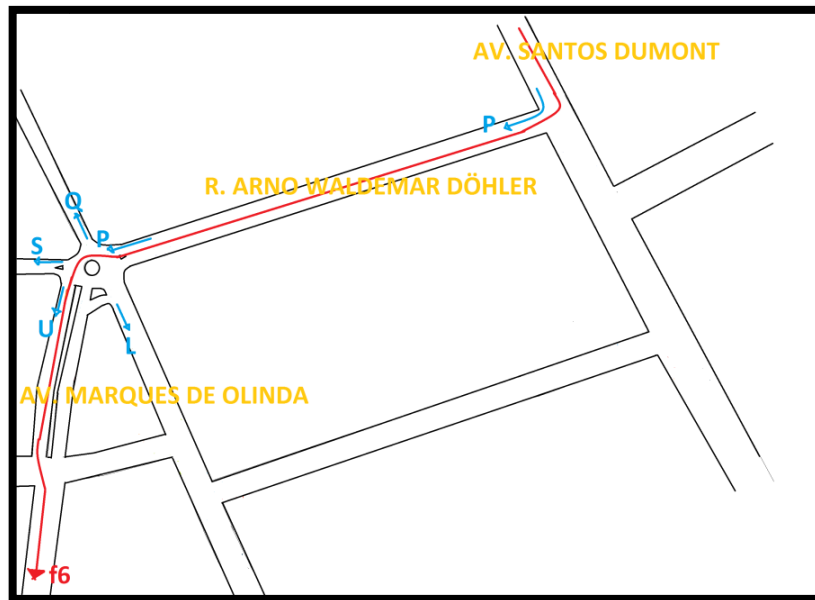
Figura 39- Fluxo parcial que passa na rota 5.



Fonte: Autor(2019) 1

$$f_5 = \left(\frac{S}{Q+S+U+L} \right) \times P \quad (16)$$

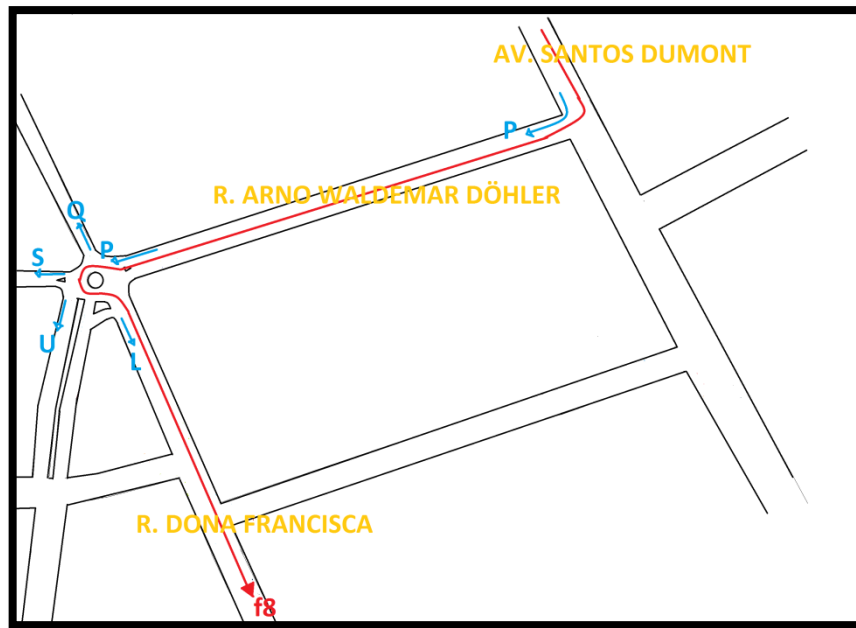
Figura 40- Fluxo parcial que passa na rota 6.



Fonte: Autor(2019)

$$f_6 = \left(\frac{U}{Q+S+U+L} \right) \times P \quad (17)$$

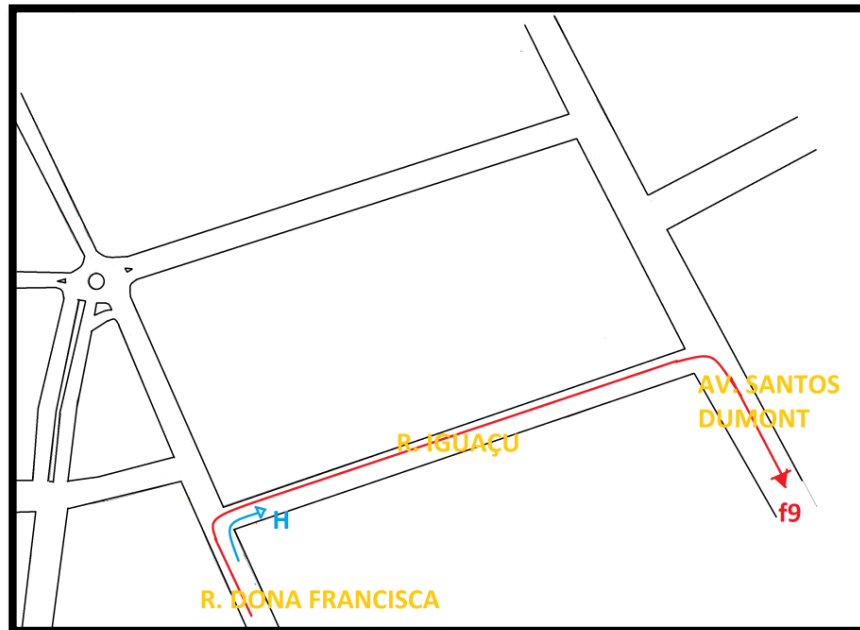
Figura 41- Fluxo parcial que passa na rota 8.



Fonte: Autor(2019)

$$f_8 = \left(\frac{L}{Q+S+U+L} \right) \times P \quad (18)$$

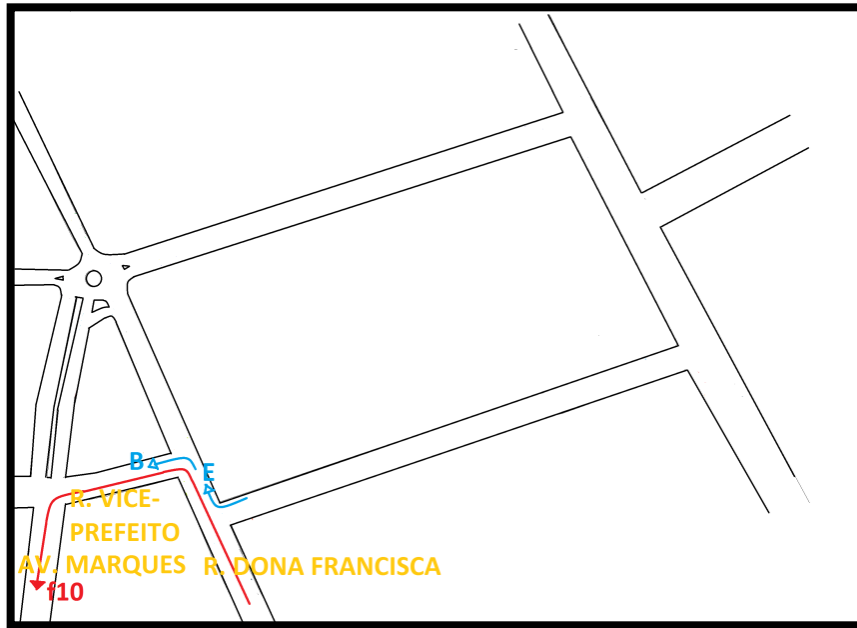
Figura 42- Fluxo parcial que passa na rota 9.



Fonte: Autor(2019)

$$f_9 = H \quad (19)$$

Figura 43- Fluxo parcial que passa na rota 10.

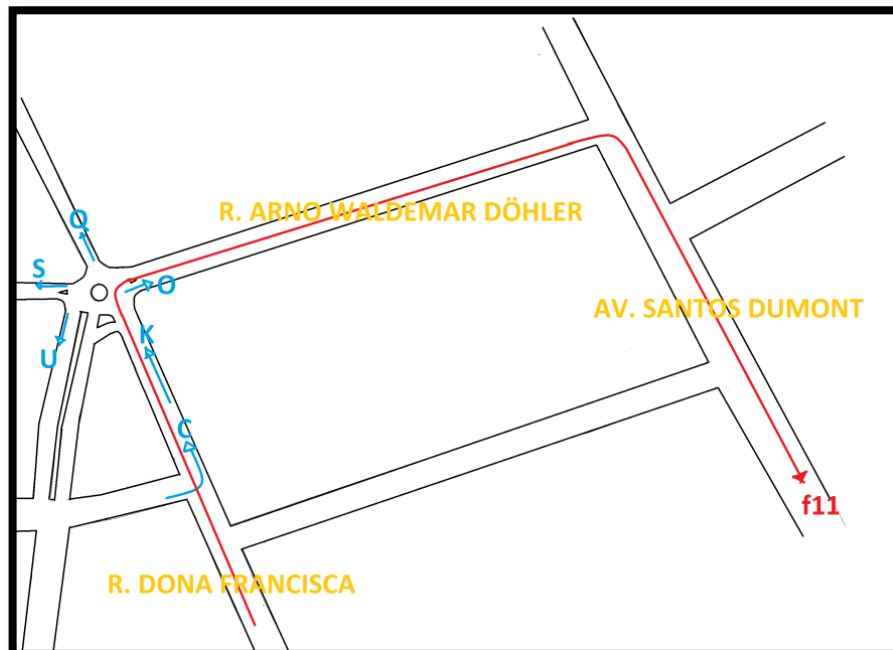


Fonte: Autor(2019)

$$f_{10} = B-E$$

(20)

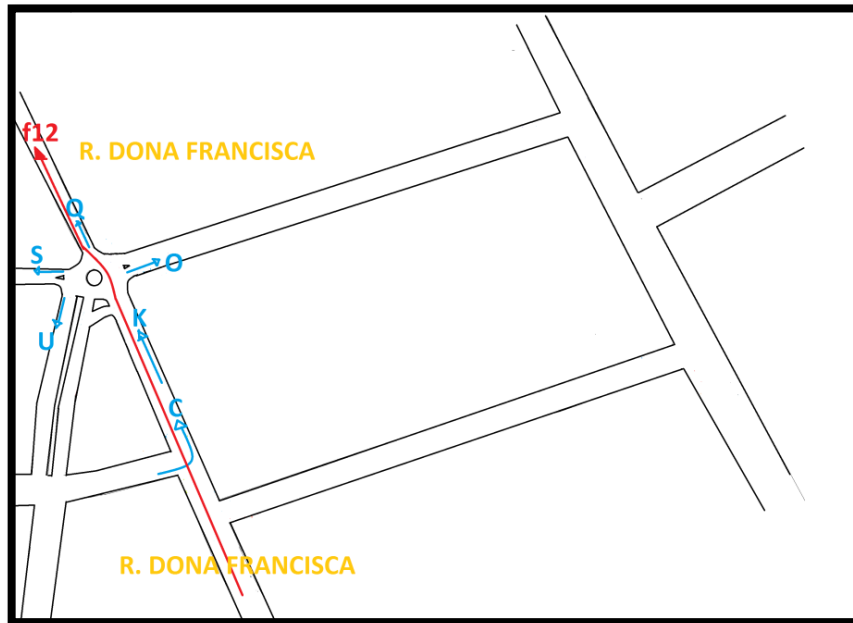
Figura 44- Fluxo parcial que passa na rota 11.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{11} = \left(\frac{O}{O+Q+S+U} \right) \times (K-C) \quad (21)$$

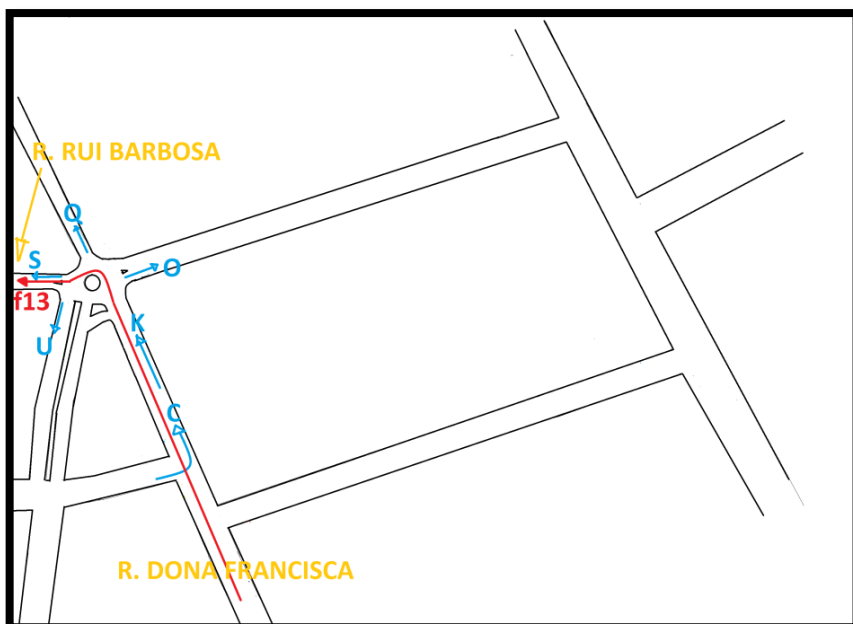
Figura 45- Fluxo parcial que passa na rota 12.



Fonte: Autor(2019) 2

$$f_{12} = \left(\frac{Q}{O+Q+S+U} \right) \times (K-C) \quad (22)$$

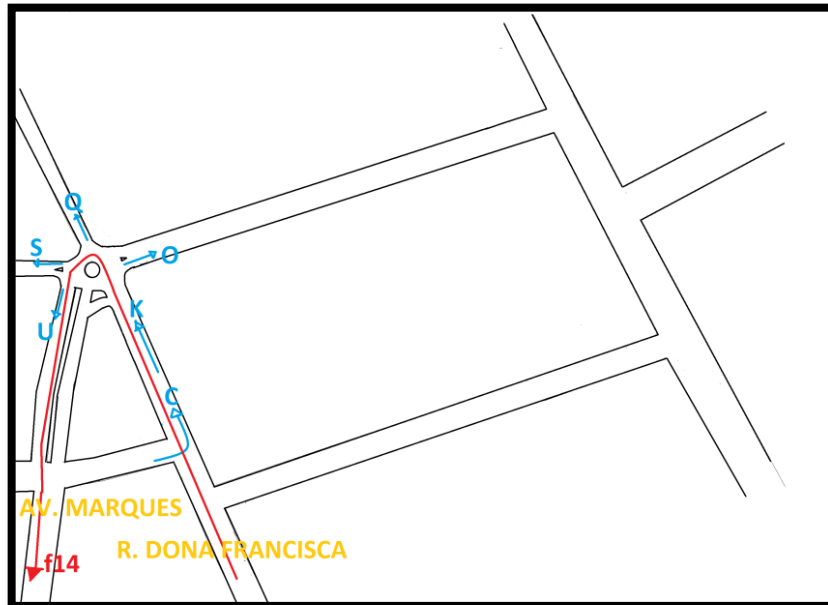
Figura 46- Fluxo parcial que passa na rota 13.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{13} = \left(\frac{S}{O+Q+S+U} \right) \times (K-C) \quad (23)$$

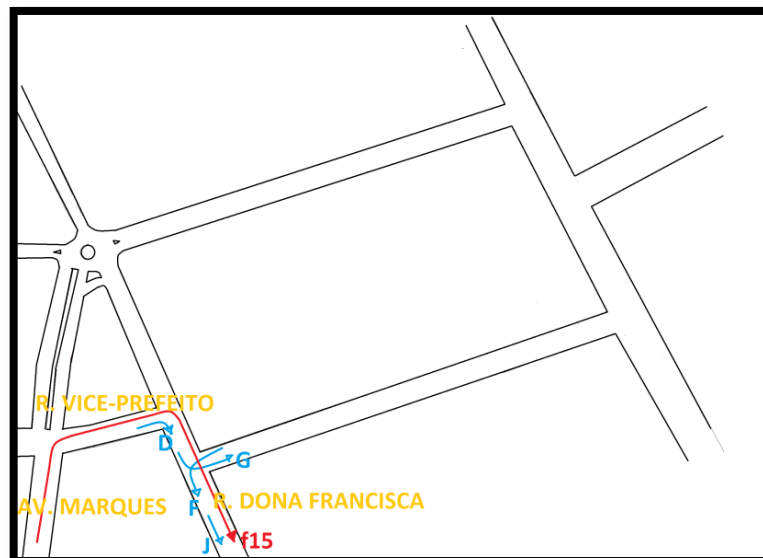
Figura 47- Fluxo parcial que passa na rota 14.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{14} = \left(\frac{U}{O+Q+S+U} \right) \times (K-C) \quad (24)$$

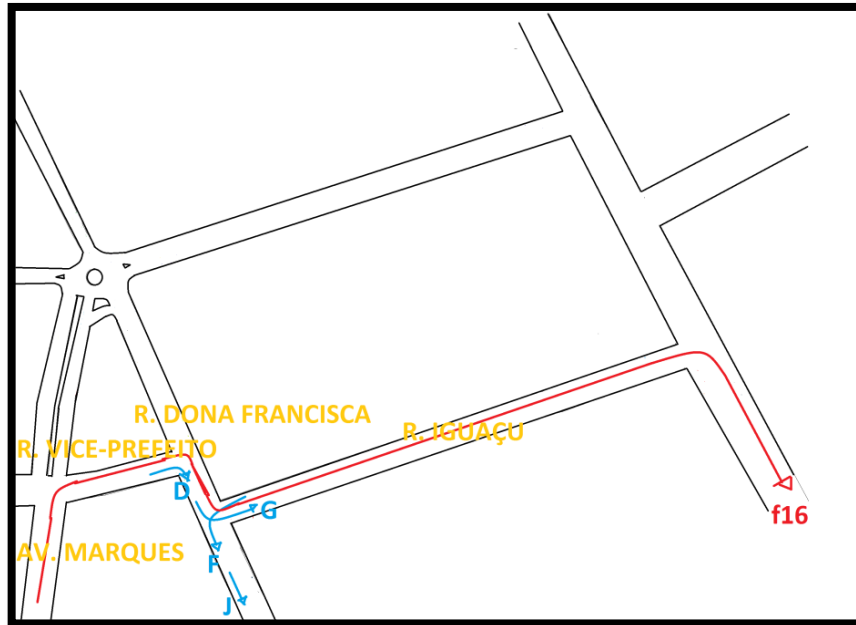
Figura 48- Fluxo parcial que passa na rota 15.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{15} = \left(\frac{J-F}{J-F+G} \right) \times D \quad (25)$$

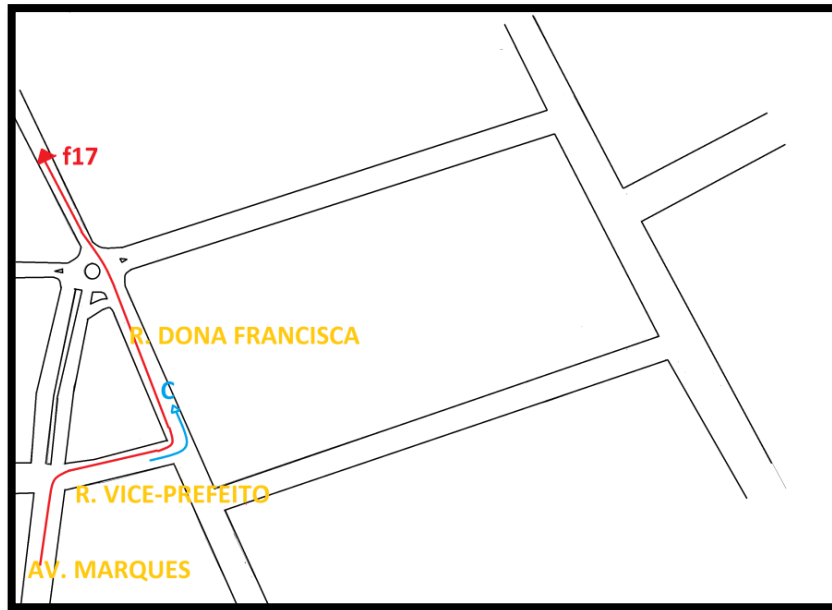
Figura 49- Fluxo parcial que passa na rota 16



Fonte: Autor(2019)

$$f_{16} = \left(\frac{G}{J-F+G} \right) \times D \quad (26)$$

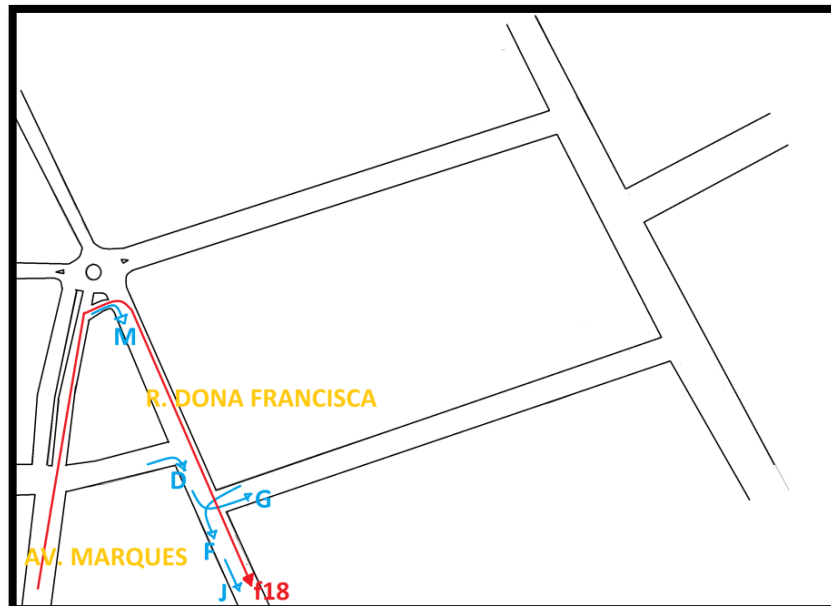
Figura 50- Fluxo parcial que passa na rota 17.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{17} = C/2 \quad (27)$$

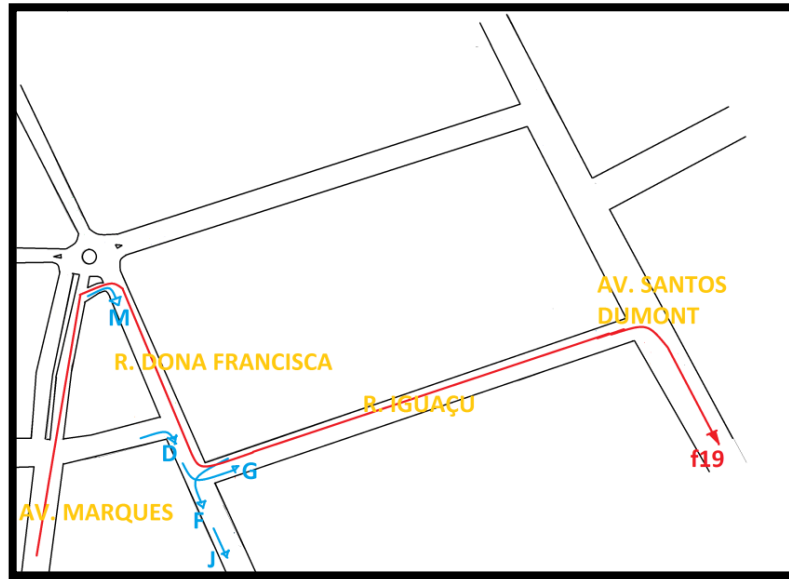
Figura 51- Fluxo parcial que passa na rota 18.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{18} = \left(\frac{J-F}{J-F+G} \right) \times M \quad (28)$$

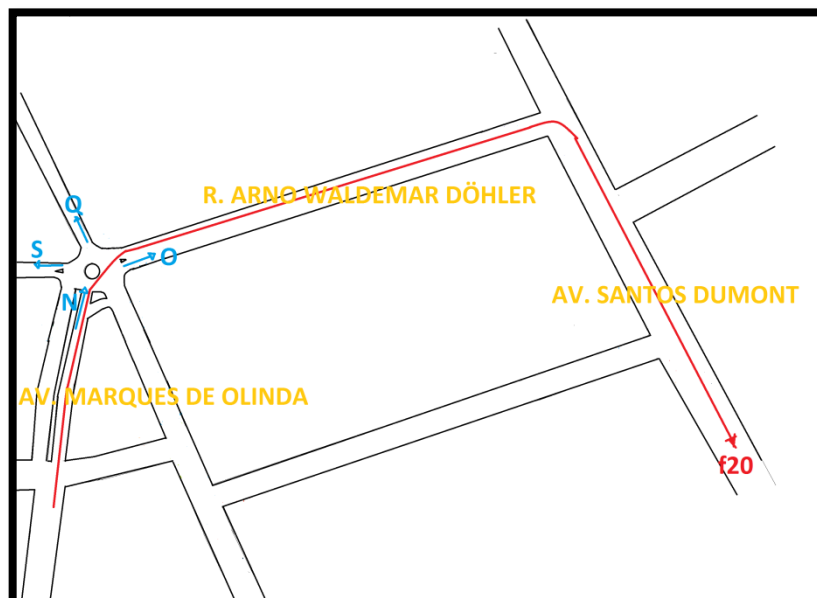
Figura 52- Fluxo parcial que passa na rota 19.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{19} = \left(\frac{G}{J-F+G} \right) \times M \quad (29)$$

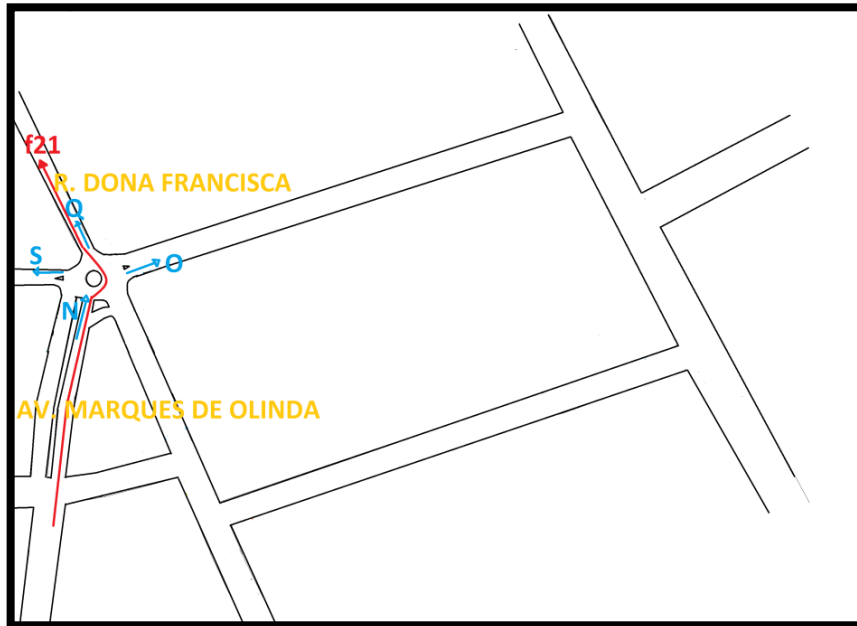
Figura 53- Fluxo parcial que passa na rota 20.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{20} = \left(\frac{O}{O+Q+S} \right) \times N \quad (30)$$

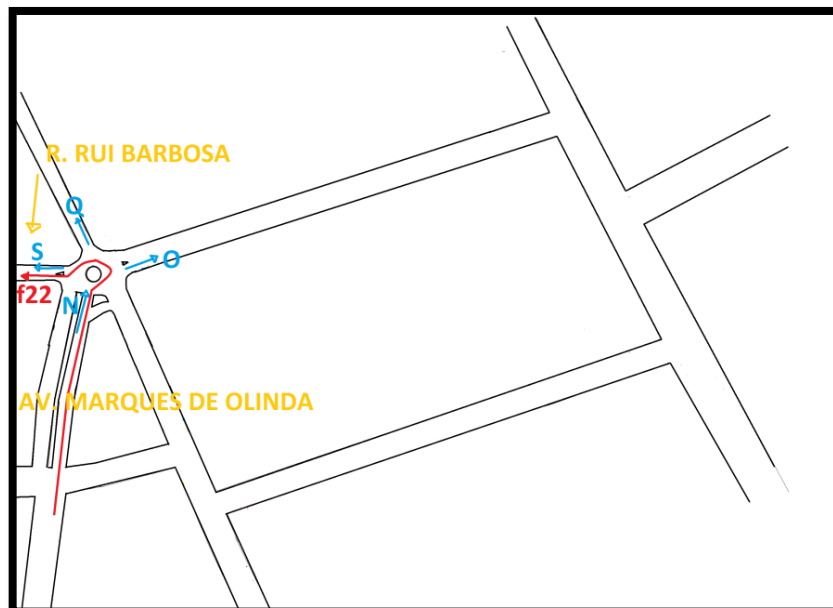
Figura 54- Fluxo parcial que passa na rota 21.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{21} = \left(\frac{Q}{O+Q+S} \right) \times N \quad (31)$$

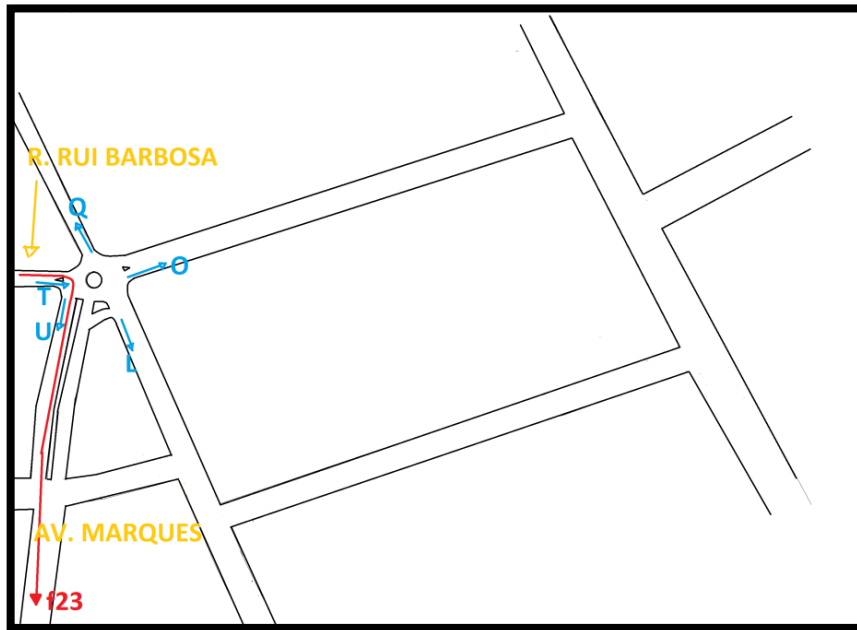
Figura 55- Fluxo parcial que passa na rota 22.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{22} = \left(\frac{S}{O+Q+S} \right) \times N \quad (32)$$

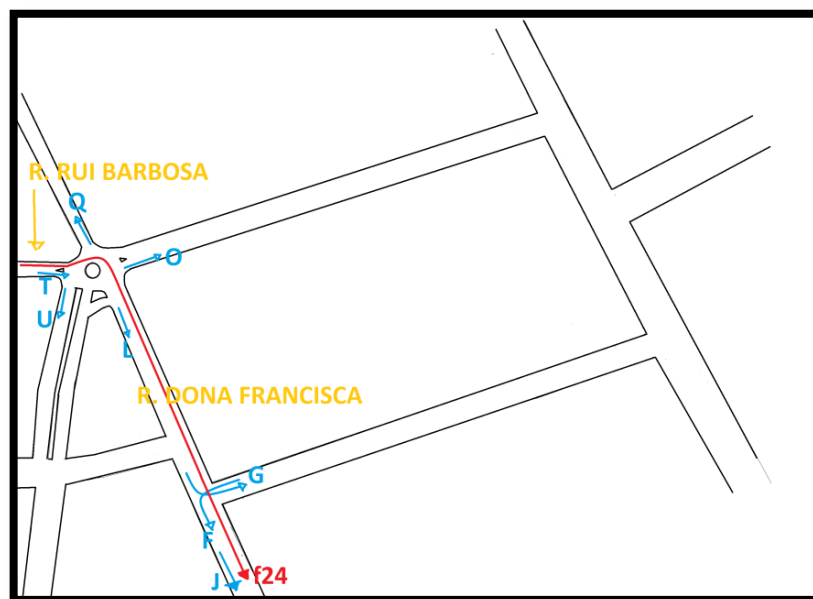
Figura 56- Fluxo parcial que passa na rota 23.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{23} = \left(\frac{U}{U+L+O+Q} \right) \times T \quad (33)$$

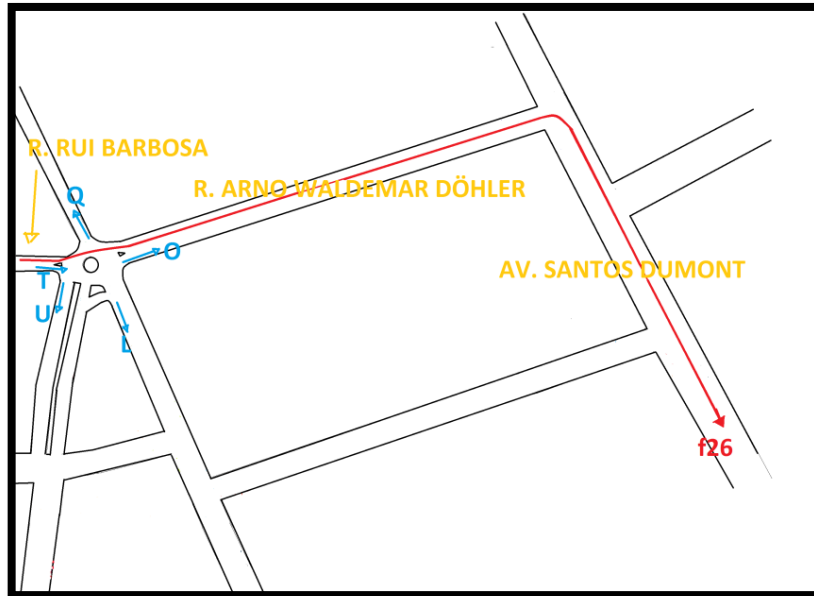
Figura 57- Fluxo parcial que passa na rota 24.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{24} = \left(\frac{J-F}{J-F+G} \right) \times \left(\frac{L}{U+L+O+Q} \right) \times T \quad (34)$$

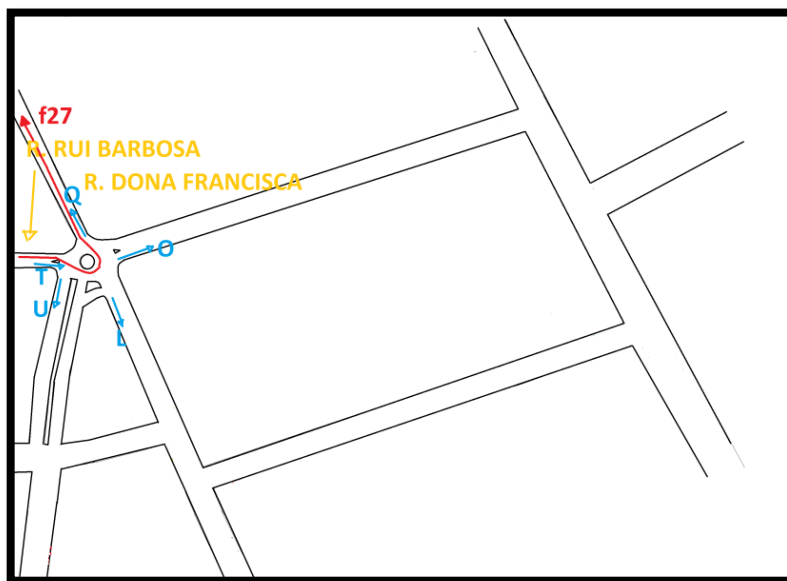
Figura 58- Fluxo parcial que passa na rota 26.



Fonte: Autor(2019) 3

$$f_{26} = \left(\frac{O}{U+L+O+Q} \right) \times T \quad (35)$$

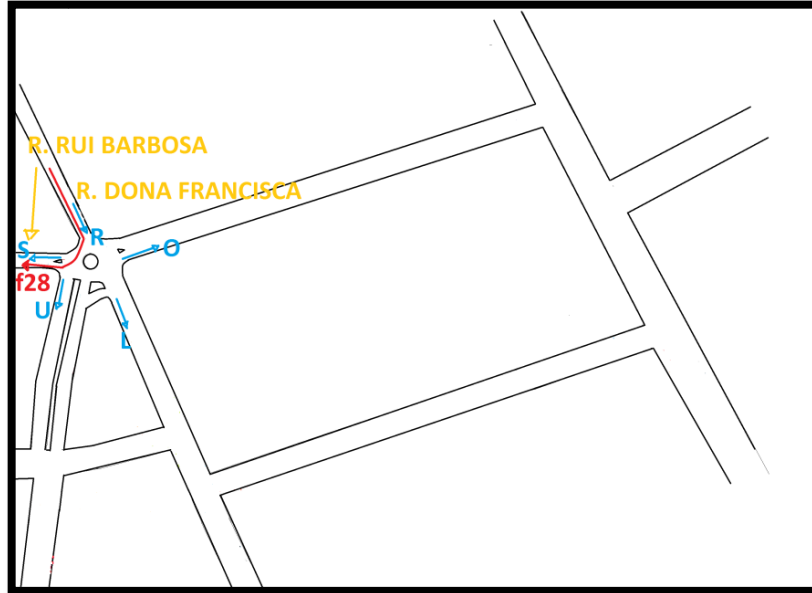
Figura 59- Fluxo parcial que passa na rota 27.



Fonte: Autor(2019) 4

$$f_{27} = \left(\frac{Q}{U+L+O+Q} \right) \times T \quad (36)$$

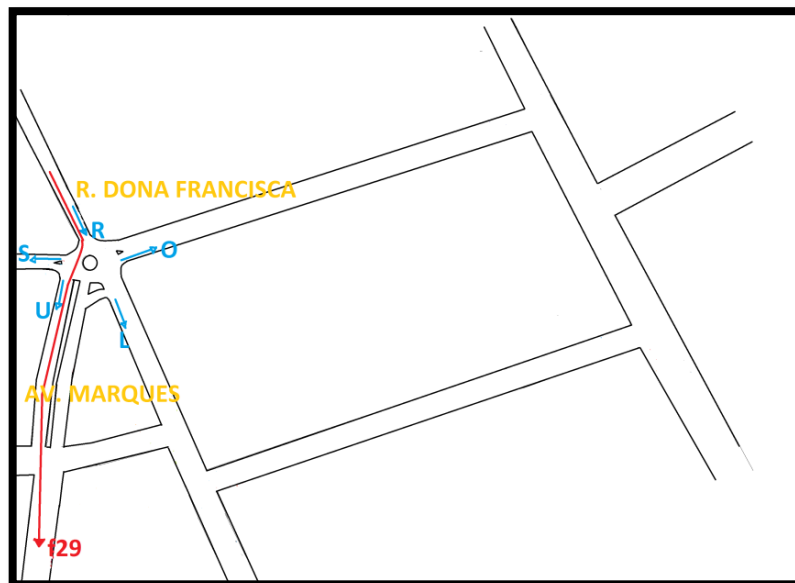
Figura 60- Fluxo parcial que passa na rota 28.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{28} = \left(\frac{S}{S+U+L+O} \right) \times R \quad (37)$$

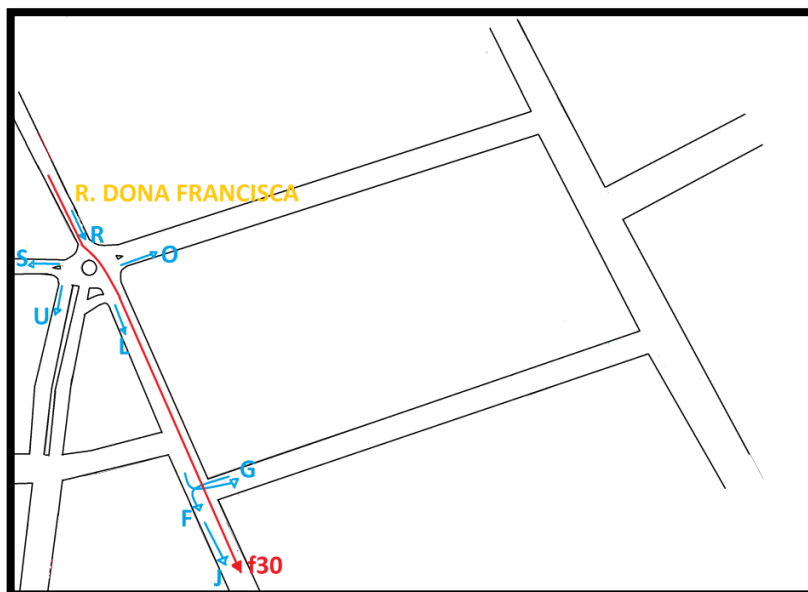
Figura 61- Fluxo parcial que passa na rota 29.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{29} = \left(\frac{U}{S+U+L+O} \right) \times R \quad (38)$$

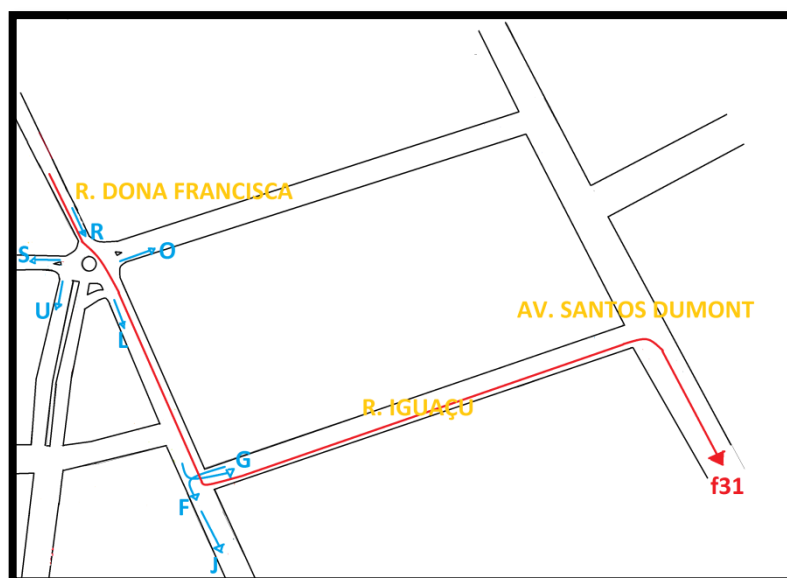
Figura 62- Fluxo parcial que passa na rota 30.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{30} = \left(\frac{J-F}{J-F+G} \right) \times \left(\frac{L}{S+U+L+O} \right) \times R \quad (39)$$

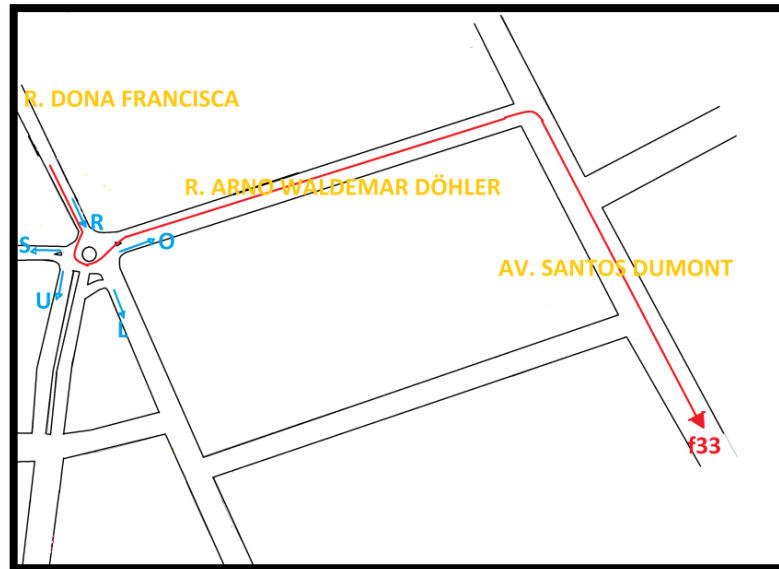
Figura 63- Fluxo parcial que passa na rota 31.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{31} = \left(\frac{G}{J-F+G} \right) \times \left(\frac{L}{S+U+L+O} \right) \times R \quad (40)$$

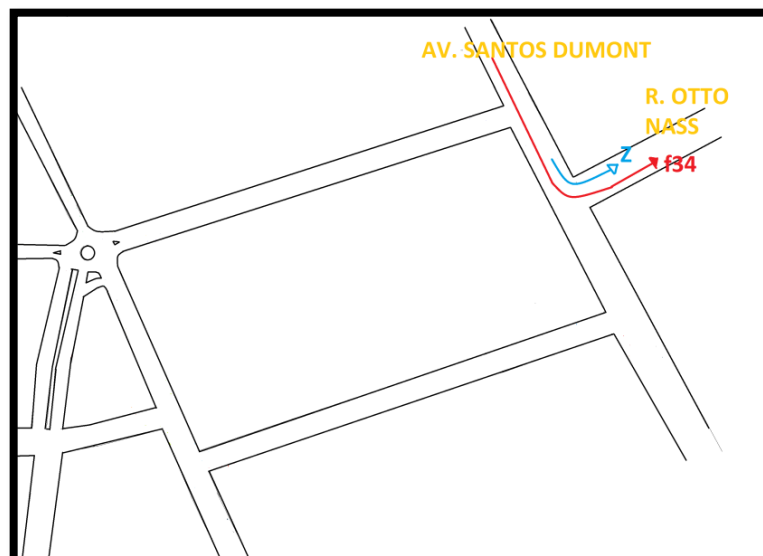
Figura 64- Fluxo parcial que passa na rota 33.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{33} = \left(\frac{O}{S+U+L+O} \right) \times R \quad (41)$$

Figura 65- Fluxo parcial que passa na rota 34.



Fonte: Autor(2019)

$$f_{34} = Z$$

(42)