

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**CENTRO DE JOINVILLE**

**ANÁLISE DO TRÁFEGO NA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE GASPAR  
ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES**

**Ana Carolina Witte**

Joinville, SC

2015

ANA CAROLINA WITTE

**ANÁLISE DO TRÁFEGO NA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE GASPAR  
ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística. Sob orientação da professora Christiane Wenck Nogueira Fernandes Co-orientação do professor Benjamin Grando Moreira

Joinville, SC

2015

## **AGRADECIMENTOS**

Não poderia começar meus agradecimentos de diferente forma, não sendo pelos meus pais Ivan e Maria Goretti. Muito obrigada por todo apoio e amor durante toda minha vida, por acreditar em mim em momentos que nem eu mesmo achei que conseguiria, por todos os puxões de orelha e todo o respeito. Vocês sempre foram e sempre serão meus heróis e meu maior exemplo de amor, respeito e dedicação. Só nós sabemos por tudo que nossa família passou, e o quanto nos tornou mais fortes e unidos com o passar dos anos. Amo muito vocês.

Meus irmãos Yuri e Thiago, nosso anjinho Ivan, e para minha irmã Indira. Sem vocês a vida teria sido muito sem graça. Obrigada por tudo, pelas conversas, risadas, brincadeiras e todo o amor dado a mim. Todos vocês são parte de mim e contribuíram para minha formação. Um amor incomparável que só quem tem irmãos sabe o quanto é forte e verdadeiro. Tenho muito orgulho de cada um de vocês, amo muito cada um de vocês.

Para as quatro melhores amigas que eu poderia ter encontrado na universidade. Alice, Emanuelle, Johanna e Luiza. Como foi bom a vida ter colocado vocês no meu caminho, agradeço sempre por tudo o que nós vivemos, por todas as histórias. Por ter dividido um pedaço de minha vida com vocês e por perceber o quanto crescemos e amadurecemos juntas. Gurias, eu amo vocês!!

Todos os professores que passaram por minha vida, muito obrigada por fazer parte da minha formação. Desde os professores da pré escola até os universitários. Sem vocês eu não seria quem eu sou. Obrigada por terem escolhido uma profissão tão nobre quanto a de ensinar, ajudar e cuidar.

Por último, gostaria de agradecer a professora Christiane e ao professor Benjamim. Meus últimos professores, os que acreditaram que esse trabalho pudesse ser concluído e por me ajudarem sempre que precisei. Sem vocês nada disso seria possível. Muito obrigada.

## RESUMO

O tráfego na Rodovia SC-412, conhecida como Rodovia Jorge Lacerda, tem apresentado um aumento significativo nos últimos anos com reflexo direto no trânsito na cidade de Gaspar. Visando melhorar esse aspecto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem por objetivo analisar as condições de tráfego na região central da cidade de Gaspar. Quanto à pesquisa, buscou-se por referências bibliográficas em artigos científicos sobre o tema, foram definidas as áreas geradoras de tráfego, realizou-se a simulação do cenário atual da cidade de Gaspar e do cenário proposto e comparando-os.

Palavras chave: fluxo de veículos, Rodovia SC-412, simulação de tráfego.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre o grau de mobilidade e acessibilidade das rodovias .....	47
Figura 2 – Vias congestionadas na cidade de Gaspar.....	55
Figura 3 – Rodovia SC-412 na cidade de Gaspar.....	56
Figura 4 – Vias de acesso as regiões geradoras de tráfego.....	57
Figura 5 – Malha viária a ser estudada.....	62
Figura 6 –Rodovia Ivo Silveira : cenário atual.....	64
Figura 7 – Rua Aristiliano Ramos: cenário atual.....	65
Figura 8 – Rodovia SC-412 sentido Blumenau – Gaspar: cenário atual.....	65
Figura 9 – Contorno viário de Gaspar.....	66
Figura 10 –Fluxo de veículos na Rodovia Ivo Silveira: cenário 2.....	68
Figura 11 – Fluxo de veículos na Rua Aristiliano Ramos: cenário 2.....	68
Figura 12 – Fluxo de veículos na Rodovia SC-412: cenário 2.....	68
Figura 13 –Rodovia Ivo Silveira: cenário 3.....	70
Figura 14 – Rua Aristiliano Ramos: cenário 3.....	70
Figura 15 – Rua Aristiliano Ramos: cenário 3.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fluxo de veículos nas principais vias da cidade de Gaspa.....	19
Tabela 2 – Comparação entre os <i>softwares</i> de simulação de tráfego .....	29
Tabela 3 – Relação entre as classes funcionais e técnicas.....	49
Tabela 4 –Fator de equivalência.....	51
Tabela 5 – Valores para as características utilizadas na simulação.....	58
Tabela 6 – Volume de tráfego.....	61
Tabela 7 –Características dos caminhos: cenário 2.....	67
Tabela 8 – Características dos caminhos: cenário 3.....	69
Tabela 9 – Resultados da simulação do cenário atual.....	75
Tabela 10 – Resultados da simulação do cenário 2.....	76
Tabela 11 – Resultados da simulação do cenário 3.....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade $CO_2$ emitida por cenário.....	72
Gráfico 2 – Quantidade de CO emitida por cenário.....	72
Gráfico 3 – Velocidade por cenário.....	73
Gráfico 4 – Tempo de espera por cenário.....	73
Gráfico 5 – Emissão de ruídos por cenário.....	74
Gráfico 6 – Emissão de $NO_x$ por cenário.....	74
Gráfico 7 – Consumo de combustível por cenári.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**vdp** – Veículos por dia

**vhp** – Veículos por hora

**VMD** – Volume médio diário

**VMDa** – Volume médio diário anual

**VMDm** – Volume médio diário mensal

**VMDs** – Volume médio diário semanal

**VMDd** – Volume médio diário em um dia de semana

**VP** – Veículos leves

**CO** – Veículos comerciais rígidos

**SR/RE** – Veículos comerciais articulados

**VH** – Volume horário

**VHP** – Volume horário de projeto

**Vhp** – Volume da hora de pico

**FHP** – Fator horário de pico

**AIMSUN** – *Advanced Interactive Microscopic: Simulator for Urban and Non-urban Networks*

**PNG** – *Portable Network Graphics*

**JPG** – *Joint Photographic Experts Group*

**BMP** – *Device Independent Bitmap*

**GIF** – *Graphics Interchange Format*

**SVG** – *Scalable Vector Graphics*

**SID** – *Multiresolution seamless image database*

**TIFF** – *Tagged Image File Format*

**CAD** – *Computer aided design*

**GIS** – *Geographic information system*

**GPX** – *GPS Exchange format*

**GPS** – *Global positioning system*

**Google KML** – *Keyhole markup language*

**VISUM** – State of the art Travel Demand Modeling

**PARAMICS** – Microscopic traffic simulator

**TRANSYT** – Traffic network and isolated intersection study tool

**SYNCHRO** – Schedule optimization through visual validation

**OBDC** – Open database connectivity

**PGV** – Pólos geradores de tráfego

**IES** – Instituto de ensino superior

**DF** – Distrito federal

**OD** – Origem/destino

**VISSIM** – *Verkehr In Städten – SIMulations modell*

**VisVAP** – Vehicle-actuated signal control

**FREQ** – Frequência

**SUMO** – Simulation of Urban Mobility

**ITS** – Instituto de sistemas de transporte

**DLR** – Centro aeroespacial alemão

**MATsim** – *Multi-agent transport simulation toolkit*

**XML** – Extensible markup language

**TraCI** – Traffic Control Interface

**DTA** – Assinalamento dinâmico de demanda

**HBEFA** – Manual de fatores de emissão para o transporte rodoviário

**DITRAN** – Departamento de trânsito da cidade de Gaspar

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 OBJETIVO GERAL .....	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
2. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	18
2.1 Trecho do sistema viário analisado .....	18
2.2 Coleta de dados.....	18
2.3 Simulação do fluxo de veículos nas vias da região central da cidade de Gaspar .....	19
O próximo capítulo, referencial teórico, apresenta as definições das principais características utilizadas para o entendimento e execução do presente trabalho. ....	
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
3.1 PLANO DIRETOR .....	20
3.2 PLANO DE MOBILIDADE .....	21
3.2.1 Lei da mobilidade.....	23
3.3 SIMULADORES DE TRÁFEGO .....	26
3.3.1 AIMSUN - <i>Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks</i> .....	31
3.3.2 VISSIM - <i>Verkehr In Städten – SIMulations modell</i> .....	36
3.3.3 SUMO - <i>Simulation of Urban Mobility</i> .....	39
3.4 Classificação das rodovias .....	43
3.4.1 Classificação funcional .....	44
3.4.2 Classificação técnica.....	46
3.4.3 Relação entre as classificações funcional e técnica.....	47
3.5 Características do tráfego .....	48
3.5.1 Volume de tráfego .....	48
3.5.2 Fator de hora de pico.....	51
3.5.3 Composição do tráfego.....	52
4. ESTUDO DE CASO: TRECHO DA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE GASPAR .....	54
4.1 A RODOVIA SC-412 NA CIDADE DE GASPAR.....	55
4.2 COLETA DE DADOS .....	56
4.2.1 Identificação das regiões geradoras de tráfego.....	56

4.2.2 Características da simulação.....	56
Em que:.....	59
4.2.2.1 Volumes de tráfego.....	59
4.2.4 Simulação .....	61
4.4 CENÁRIOS DE ANÁLISE.....	63
4.4.1 Cenário 1 – cenário atual .....	63
4.4.2 Cenários propostos .....	64
4.4.2.1 – Cenário 2 – Redução de 20%.....	66
4.4.2.2 Cenário 3 – Redução de 50% .....	68
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	71
5.1 Análises dos cenários atual e cenário 2.....	76
5.2 Análise dos cenários atual e cenário 3.....	79
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
REFERÊNCIAS .....	85
ANEXOS .....	89

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil sendo um país de dimensões continentais e de grande diversidade em seu território, ainda faz pouco uso de outros modos de transporte além do modo rodoviário, o qual apresenta a maior porcentagem, 61,1% (CNT,2014) de utilização dentre todos os modos de transportes.

O sistema de transporte no Brasil vem passando por um processo lento de evolução. Por muitos anos e até os dias de hoje, o modo rodoviário prevalece na matriz de transportes brasileira, apesar de apresentar os mais altos custos, maiores riscos de avaria, grande incidência no roubo de cargas, maior prejuízo ao meio ambiente e de utilizar estradas cada vez mais precárias na maior parte da malha viária (MARTINS, 2009).

O transporte rodoviário, o qual, segundo (FREITAS, 2004) é aquele que se realiza em estradas de rodagem, com utilização de veículos como caminhões e carretas, apresenta como vantagens a possibilidade de serviço porta a porta, sem necessidade de fazer conexões durante seu percurso entre sua origem e destino, além de possuir uma frequência e disponibilidade do serviço, velocidade e comodidade inerentes ao serviço porta a porta (BALLOU, 2006).

Esse sistema de transportes depende do estado de sua infraestrutura, suas vias e terminais, bem como dos veículos que por ela percorrem. Neste cenário, de melhorar o sistema viário, destaca-se a engenharia de tráfego que trata da elaboração de projetos de sinalização, o planejamento e organização do trânsito, no estudo da circulação, hierarquização das vias, entre outras (CUCCI, 2015).

Os Engenheiros de Tráfego são profissionais responsáveis pelo planejamento viário, a programação de semáforos, a disposição de sinalização, o desenvolvimento de formas de controle de trânsito, o desenho geométrico para a construção de vias, entre outras atividades. Para isso, é realizado o monitoramento do tráfego da área estudada, que contém como parâmetro principal o fluxo de veículos que percorrem as vias durante todos os dias. De posse do valor desses

fluxos e de conhecimento de parte do sistema a ser melhorado é possível analisar e avaliar as condições de tráfego.

Gaspar está localizada no Vale do Itajaí e faz limites com as cidades de Brusque, Ilhota e Blumenau. A Rodovia SC-412 conhecida como Rodovia Jorge Lacerda, é uma rodovia que interliga o município de Itajaí, a partir da BR-101, ao município de Blumenau, passando por Ilhota e Gaspar, com uma extensão de aproximadamente 40 km. A rodovia recebe um grande fluxo de veículos de várias partes da cidade de Gaspar, gerando assim um intenso congestionamento na cidade como um todo, sendo que a rodovia em estudo passa pelo meio da cidade.

Gaspar possui uma população estimada de 65.024 mil habitantes e área de 386,776 km<sup>2</sup>. A cidade faz divisa ao norte com as cidades de Massaranduba, Luis Alves e Ilhota, ao sul com Brusque e Guabiruba, ao leste com Ilhota e Itajaí e ao oeste com Blumenau. Suas principais atividades econômicas são a indústria, o comércio e a agricultura, destacando-se a rizicultura e a indústria têxtil (IBGE, 2015).

Grande parte do escoamento do que é produzido na cidade de Gaspar é feito pelo modo rodoviário. "Uma das características relativas ao modo rodoviário é o fluxo de veículos ou volume de tráfego, onde os conhecimentos das características dos fluxos de veículos aliado a técnicas analíticas é essencial para planejar, projetar e operar um sistema de transportes" (MAY, 1990).

Nesse sentido, a escolha do tema deste trabalho tem por objetivo analisar a condição de trafegabilidade na região central da cidade de Gaspar, tendo como principal causador de congestionamento a Rodovia SC-412.

Para que o objetivo seja atingido será realizada uma comparação do cenário atual e do proposto através do uso do simulador de tráfego SUMO, o qual constitui um software livre de simulação disponível desde 2001. Ele permite a modelagem de modos de transporte e suas relações, incluindo veículos rodoviários, transportes públicos e pedestres. O simulador possui ferramentas de suporte que lidam com tarefas como descoberta de rotas, visualização, importação de rede, configuração de controladores semafóricos, entre outros.

## 1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

O controle efetivo do tráfego no espaço urbano requer, principalmente, um conhecimento contínuo e sistêmico do comportamento dos fluxos veiculares sobre o sistema viário, de modo a adequar o controle de tráfego à variação da demanda (INSIGNARES e TERRY, 1991). Com a falta do conhecimento dos fluxos de veículos nas cidades não é possível conhecer o padrão de deslocamento veicular nas mesmas, uma vez que ele é elemento essencial para a realização de ações de planejamento e tomadas de decisão na gestão de tráfego, podendo assim comprometer a precisão de diversas análises de impacto no sistema viário e resultar em projetos inapropriados ou desnecessários.

Sendo assim, o conhecimento das características do tráfego através da variação do volume é de extrema importância tanto no planejamento estratégico, focando em um planejamento da circulação, bem como em nível operacional, no qual se pode influenciar o desempenho de planos semaforicos, resultando sua relação com a capacidade da via.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Devido à atual condição de trafegabilidade na cidade Gaspar e de seu sistema viário estar saturado em alguns pontos, todos os motoristas que precisam utilizar a Rodovia SC-412 dispõem uma quantidade de tempo maior do que o esperado trafegando pela mesma.

Os motoristas que usam a Rodovia SC-412 para ir de Blumenau ao Litoral, em horários de pico, permanecem parados em congestionamentos que chegam a quase quatro quilômetros. O trecho, que em dias de pouco movimento é percorrido em cinco minutos, passa a ser feito em 10, 15, 20 e até 30 minutos dependendo do fluxo na rodovia, problema que se alastra por toda a região central da cidade de Gaspar.

O problema na Rodovia SC-412 vem sendo enfrentado há muitos anos e algumas interferências na rodovia já foram realizadas, porém ainda não foram suficientes para amenizar os congestionamentos na cidade de Gaspar. Devido à

necessidade de passar pela Rodovia SC-412, quem está na rodovia precisa reduzir sua velocidade para dar espaço aos motoristas de Gaspar, o que provoca a lentidão.

Visando melhorar essa condição, este trabalho propõe mudanças no fluxo de veículos do sistema viário da Cidade de Gaspar. Localidades próximas a mesma também serão beneficiadas com essa mudança, o que terá como consequência uma melhora na qualidade de trafegabilidade nas vias e qualidade de vida da população.

A partir dos resultados gerados através das simulações, é possível saber o quanto cada veículo, presente na região central da cidade de Gaspar, emite de gases poluentes e o quanto emite de ruído. De posse desses valores é possível saber o quanto uma redução do fluxo de veículos ocasionou uma melhora na qualidade do ar da região, bem como uma melhor qualidade de vida dos munícipes de Gaspar.

Devido ao fato de que cidades de pequeno porte, normalmente, não possuem estudos através de simulações de tráfego, esse trabalho se justifica como sendo um instrumento incentivador para outros alunos e profissionais da área de transportes aliam a teoria e a prática de planejamento urbano. Prática que deve ser utilizada em todas as cidades, independente de seu número populacional.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as condições de trafegabilidade na região central da cidade de Gaspar através de simulações.

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os dados das vias simuladas junto à Prefeitura Municipal da Cidade de Gaspar;
- Analisar origem/destino dos veículos que utilizam as principais vias da cidade de Gaspar;
- Definir porcentagens de redução no fluxo de veículos em algumas vias da Cidade de Gaspar;
- Simular o cenário com os dados reais e o cenário proposto;
- Analisar as diferenças entre os cenários simulados no trabalho.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado de forma a atingir o objetivo geral. Assim, o mesmo é estruturado traçando o objetivo que se deseja atingir com e justificando sua execução. Após isso é abordada a metodologia utilizada bem como a fundamentação teórica, visando embasar e estruturar conceitos que serão utilizados nas simulações e análises realizadas.

A metodologia decorre-se no capítulo 2, onde é apresentada as etapas desenvolvidas nesse trabalho, tanto para a pesquisa bibliográfica como para a simulação dos cenários.

O capítulo 3 corresponde ao referencial teórico, no qual serão apresentados todos os conceitos utilizados nas simulações e suas respectivas análises. Primeiramente serão apresentadas informações sobre Plano Diretor, Plano de Mobilidade e Lei de Mobilidade. Posteriormente três *softwares* de simulação de tráfego serão caracterizados, e por último serão definidas algumas características de Engenharia de Tráfego.

A apresentação dos cenários de análise está contida no capítulo 4. Nele serão definidos o cenário com os dados atuais da cidade de Gaspar, bem como os dois cenários propostos.

O capítulo 5 contém os resultados obtidos através das simulações e a análise dos mesmos. A partir de cada cenário analisado, serão criadas tabelas com os valores de cada variável considerada. A análise é baseada na comparação entre as tabelas de cada cenário.

As considerações finais, limitações do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros serão apresentadas no capítulo 6. Primeiramente são apresentadas as considerações finais provenientes das análises das simulações dos cenário, posteriormente as limitações encontradas no trabalho, tanto no referencial teórico bem como na construção das simulações. Por último são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

## 2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Este trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira etapa, onde é executada durante todo o desenvolvimento do trabalho, constitui em uma pesquisa bibliográfica sobre o tema “Fluxo de veículos em Rodovias”. Nesta fase, são consultadas as principais bibliografias sobre o tema. A segunda etapa é composta pela parte empírica e descritiva do trabalho, onde é desenvolvida utilizando o *software* de simulação de tráfego SUMO, considerando um trecho do sistema viário.

### 2.1 Trecho do sistema viário analisado

Para o presente trabalho um trecho da região central da cidade de Gaspar foi analisado, trecho este que compreende as vias que percorrem regiões próximas ao centro da cidade de Gaspar - SC. Para isso, quatro situações de grande fluxo de veículos foram simuladas, haja vista que as mesmas influenciam na quantidade de veículos que trafegam na área de estudo.

### 2.2 Coleta de dados

Os dados necessários para a realização da simulação foram coletados junto ao Departamento de Trânsito (DITRAN) da cidade de Gaspar. Os dados coletados foram de fluxo de veículos nas seguintes vias em ambos os sentidos: Rodovia Jorge Lacerda (SC-412), Rodovia Ivo Silveira, Rua Itajaí – Centro - Blumenau, Rua Itajaí – Centro - Rua Itajaí. Na tabela 1 apresentam-se os valores de fluxo de veículos nas vias em estudo.

**Tabela 1** – Fluxo de veículos nas principais vias da cidade de Gaspar

Rodovia SC-412 (veic/dia)	Rodovia Ivo Silveira (veic/dia)	Rua Itajaí → Blumenau (veic/dia)	Rua Itajaí → Centro → Rua Itajaí (veic/dia)
12000	9000	800	1200

Fonte: DITRAN (2015)

A partir dos dados contidos na Tabela 1, os cenários simulados puderam ser criados e analisados.

### 2.3 Simulação do fluxo de veículos nas vias da região central da cidade de Gaspar

A simulação foi realizada através de três etapas. A primeira delas constitui a importação da malha viária onde são alocados os fluxos de veículos. Na segunda etapa foi criado um arquivo contendo todas as rotas que possuem veículos trafegando bem como a atribuição dos fluxos de veículos para as mesmas. Por último gerou-se um arquivo de configuração que contém tanto o arquivo da malha viária (etapa 1) quanto o arquivo de rotas/fluxo de veículos (etapa 2), o qual é aberto no *software* de simulação de tráfego SUMO e assim realizada a simulação com todas as características já atribuídas e prontas para análise.

O próximo capítulo, referencial teórico, apresenta as definições das principais características utilizadas para o entendimento e execução do presente trabalho.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo se inicia com as definições sobre Plano Diretor, Plano de Mobilidade e Lei de Mobilidade. Posteriormente é feita uma apresentação sobre três *softwares* de simulação de tráfego, os quais são cada vez mais utilizados no planejamento de sistemas viários. Por fim são definidas algumas características relacionadas ao sistema viário em geral.

#### 3.1 PLANO DIRETOR

A Constituição de 1988 define como obrigatórios os Planos Diretores para cidades com população acima de 20.000 habitantes. O Estatuto da Cidade reafirma essa diretriz, estabelecendo o Plano Diretor como o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (artigos 39 e 40). Conforme estabelece o Estatuto das Cidades, o Plano Diretor é instrumento obrigatório para municípios com população acima de 20.000 habitantes; para aqueles situados em regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas; em áreas de interesse turístico; ou em áreas sob influência de empreendimentos de grande impacto ambiental. Municípios que não se incluem em qualquer destas categorias precisam dispor obrigatoriamente de um Plano Diretor, se o poder público pretender aplicar os instrumentos previstos no capítulo de Reforma Urbana da Constituição de 1988 (BRASIL, 2001).

O Plano Diretor é um instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, servindo como aliado na luta diária contra os problemas enfrentados pelas pessoas ao se locomoverem nas cidades, onde o modo de transporte é associado majoritariamente com o uso de veículos particulares. Assim, é necessário tratar das necessidades de deslocamentos a partir do conceito de mobilidade urbana, juntamente com sua sustentabilidade.

A mobilidade urbana sustentável pode ser definida como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visam proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não motorizados e coletivos de transportes, de forma efetiva, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável, baseado nas pessoas e não nos veículos.

A elaboração de um plano de mobilidade urbana sustentável é possível independente do porte da cidade, considerando-se a diversidade dos municípios brasileiros, pois ela possui valores que podem ser considerados universais. A ação do Poder Público para garantir a mobilidade urbana sustentável deve considerar todo o espaço público onde há circulação de pessoas, que envolve as áreas de pedestres e as vias de maneira completa, evitando intervenções parciais (BOARETO, 2003).

### 3.2 PLANO DE MOBILIDADE

O Plano de Mobilidade amplia a abrangência da análise por tratar todas as componentes do sistema de mobilidade de forma integrada. Problema da falta de integração do sistema de mobilidade, o qual as grandes cidades vem enfrentando, tanto no que se refere ao aspecto institucional, quanto em relação as questões físicas e operacionais do sistema viário, devido ao elevado crescimento nas frotas de automóveis e motocicletas, além do aumento do número de viagens realizadas pelo modo privado em detrimento do número de viagens utilizando o modo de transporte coletivo. Isso gera elevados níveis de conflito entre os fluxos de passageiros e o sistema de distribuição de mercadorias.

Para que se consigam resultados positivos e de longo prazo é necessário que a questão da distribuição de cargas urbanas seja inserida no processo de planejamento urbano, embora ainda não estejam muito claros quais os instrumentos efetivos para viabilizar essa abordagem, na medida em que poucas cidades têm informações confiáveis a respeito de seu sistema de distribuição de cargas (PLANMOB, 2010).

O Estatuto da Cidade (Brasil, 2005), no artigo 41, § 2º, determina que “no caso de cidades com mais de quinhentos mil habitantes, deverá ser elaborado um plano de transporte integrado, compatível com o Plano Diretor ou nele inserido”. Esta disposição foi complementada pela Resolução nº 34, de 01 de julho de 2005, do Ministério das Cidades, aprovada pelo Conselho das Cidades que, no art. 8º, diz: “nos casos previstos pelo art. 41 do Estatuto da Cidade, o Plano de Transporte Urbano Integrado, ora denominado de Plano Diretor de Transporte e Mobilidade, deverá contemplar os seguintes princípios e diretrizes gerais (BRASIL, 2005):

- Garantir a diversidade das modalidades de transporte, respeitando as características das cidades, priorizando o transporte coletivo, que é estruturante, sobre o individual, os modos não motorizados e valorizando o pedestre;
- Garantir que a gestão da Mobilidade urbana ocorra de modo integrado com o Plano Diretor Municipal;
- Respeitar as especificidades locais e regionais;
- Garantir o controle da expansão urbana, a universalização do acesso à cidade, a melhoria da qualidade ambiental e o controle dos impactos no sistema de mobilidade gerados pela ordenação do uso do solo.

Os objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável estão na intersecção de três campos de ação: desenvolvimento urbano, sustentabilidade ambiental e inclusão social (BRASIL, 2004a):

- Desenvolvimento urbano: tem por objetivo a integração entre transporte e controle territorial, redução dos gastos de circulação e a oferta de transporte público eficiente e de qualidade;
- Sustentabilidade ambiental: o uso igualitário do espaço urbano, a melhoria da qualidade de vida e do ar e a sustentabilidade energética;
- Inclusão social: acesso democrático à cidade e ao transporte público e a valorização da acessibilidade universal e dos deslocamentos de pedestres e ciclistas. As ações e programas que a política prevê se superpõem nestes campos de reflexão sobre a produção do espaço urbano como lentes em busca de um foco, que é a sustentabilidade da mobilidade urbana.

A participação popular se faz necessária quando é preciso obter informações sobre o sistema de transporte e o sistema viário dos municípios, além das prioridades escolhidas pela população. Isso determinará a abordagem utilizada na elaboração do Plano de Mobilidade.

Muitas vezes, quando se tratando de municípios de pequeno porte, o Plano de Mobilidade consegue solucionar questões importantes do sistema viário ou de traçados preliminares de vias que possibilitem a intercomunicação entre os bairros.

Além dos princípios, objetivos e diretrizes da lei, o Plano de Mobilidade deve contemplar (BRASIL, 2013):

I - os serviços de transporte público coletivo;

II - a circulação viária;

III - as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana;

IV - a acessibilidade para pessoas com deficiência e restrição de mobilidade;

V - a integração dos modos de transporte público e destes com os privados e os não motorizados;

VI - a operação e o disciplinamento do transporte de carga na infraestrutura viária;

VII - os pólos geradores de viagens;

VIII - as áreas de estacionamentos públicos e privados, gratuitos ou onerosos;

IX - as áreas e horários de acesso e circulação restrita ou controlada;

X - os mecanismos e instrumentos de financiamento do transporte público coletivo e da infraestrutura de mobilidade urbana; e

XI - a sistemática de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em prazo não superior a 10 (dez) anos.

A criação da Lei 12.587/12, que tem por objetivo fazer com que a política de mobilidade urbana seja cumprida, prevê que os planos devem ser avaliados, revisados e atualizados no prazo não superior a dez anos.

### 3.2.1 Lei da mobilidade

A Presidência da República sancionou a Lei nº 12.587, em 3 de janeiro de 2012, que estabelece as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana após 17 anos de tramitação no Congresso Nacional (IPEA, 2012).

Essa lei apresenta como novidade a exigência de que todos os municípios com mais de 20 mil habitantes elaboram seus planos de mobilidade urbana, tendo assim a tarefa de planejar e executar a política de mobilidade urbana, e que os mesmos deverão ser revistos no prazo máximo de dez anos. Com essa mudança, o

número de municípios obrigados a terem um plano de mobilidade passa de 38 para aproximadamente 1.663 municípios.

O desenvolvimento das cidades se deve muito a forma de como é realizado o transporte na mesma. Uma cidade que possui um sistema de transportes bem organizado e eficiente, com sua mobilidade urbana bem planejada, terá como resultado ao longo dos anos qualidade de vida aos seus cidadãos bem como um desenvolvimento econômico atendendo as expectativas postas sobre ele.

Nesta lei são definidos e classificados os modos e serviços de transporte, além de exemplificadas infraestruturas de mobilidade urbana, sendo que estas devem ser inter-relacionadas com um planejamento sistêmico para que seus resultados produzam benefícios efetivos e proporcionais aos investimentos feitos, pois apenas aumentar o investimento em infraestrutura não garante melhoria da mobilidade urbana.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada nos seguintes princípios (BRASIL, 2013):

- Acessibilidade universal;
- Desenvolvimento sustentável, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- Equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;
- Eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;
- Gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana;
- Segurança nos deslocamentos das pessoas;
- Justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços;
- Equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros; e
- Eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.

As diretrizes que são orientações a serem seguidas para que sejam atingidos os objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana, destacam a necessidade de integração com as demais políticas urbanas e a priorização dos

modos não motorizados e do transporte público coletivo. A Política Nacional de Mobilidade Urbana é orientada pelas seguintes diretrizes (BRASIL, 2013):

- Integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;
- Prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
- Integração entre os modos e serviços de transporte urbano;
- Mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;
- Incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;
- Priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado;
- Integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

Os objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana definem o que se espera para o futuro do país, e com o apoio e comprometimento dos governos e sociedade, será possível reduzir as desigualdades sociais e melhorar as condições urbanas de mobilidade e acessibilidade. A Política Nacional de Mobilidade Urbana possui os seguintes objetivos (BRASIL, 2013):

- Reduzir as desigualdades e promover a inclusão social;
- Promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais;
- Proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere à acessibilidade e à mobilidade;
- Promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades; e
- Consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana.

Atualmente, as condições de mobilidade urbana nas cidades não são satisfatórias, uma vez que existem muitos congestionamentos, insuficiente oferta de modos de transporte coletivo além de os mesmos estarem com sua capacidade esgotada em boa parte do dia. Ligado a isso está a degradação dos serviços de transportes coletivo, aumento de tarifas, surgimento de transporte informal e poluição do ar.

As cidades crescem com a criação de novos bairros, os quais estão cada vez mais distantes dos locais de trabalho e lazer, exigindo assim a construção de ruas e avenidas que conectem esses novos bairros à cidade. Com isso os moradores acabam se deslocando a maiores distâncias, gastando mais tempo durante suas viagens no seu dia a dia.

Ao pensarmos uma política de mobilidade urbana, devemos pensar nos diferentes meios de transporte. Isto é, pensar no carro, na moto, no ônibus, no trem, no metrô, na bicicleta, no andar a pé, entre outros. Características que podem ser modeladas dentro do sistema de transportes através do uso de *softwares* de simulação de tráfego (BRASIL, 2005a), que permitem replicar uma série de eventos hipotéticos que poderão ocorrer com a implantação de uma mudança no sistema de transportes analisado.

### 3.3 SIMULADORES DE TRÁFEGO

O crescente desenvolvimento das cidades e o fácil acesso à compra de veículos fizeram com que as cidades se tornassem cada vez mais congestionadas, fato que há algumas décadas era exclusividade de cidades de grande porte. Atualmente, cidades de pequeno e médio porte também sofrem com suas ruas cada vez mais congestionadas, sistema viário incapaz de suprir a demanda existente e sua população cada vez mais descontente com o mesmo.

Visando melhorar o problema dos congestionamentos nas cidades, um bom planejamento urbano do transporte se faz necessário. Aliado as técnicas do planejamento urbano existe a necessidade de implantar melhorias no sistema viário, para isso cada vez mais se utilizam os *softwares* de simulação de tráfego.

Os resultados gerados com a simulação, obtida replicando uma sequência de eventos hipotéticos do sistema estudado em um simulador de tráfego, são bem aceitáveis para a decisão de implantação ou não de alguma mudança no sistema viário, vantagem que não existe quando a mudança é implantada diretamente na cidade sem que nenhuma simulação seja realizada *a priori*.

Sendo assim, os simuladores de tráfego são ferramentas importantes tanto no planejamento do transporte urbano quanto no controle de tráfego urbano e rodoviário.

Existem diversos *softwares* com essa funcionalidade, onde cada um faz a análise e simulação do tráfego de maneiras distintas. Por exemplo, podem considerar o fluxo de veículos como sendo um grande pelotão ou analisá-los separadamente considerando para cada tipo de veículo seu tamanho, velocidade, aceleração, etc.

A criação de um modelo de simulação, geralmente, envolve um esforço relativamente grande, porém, quando desenvolvido, permite representar muitas situações alternativas de projeto em pouco tempo e a baixo custo. No caso do tráfego, a técnica da simulação possui três subdivisões, macroscópica, mesoscópica e microscópica (Portugal, 2005), as quais são detalhadas a seguir:

- Macroscópica: o fluxo de tráfego é concebido como um fluido onde a individualidade dos veículos é desprezada. Esse tipo de simulação apresenta como vantagem o pouco espaço ocupado na memória e a velocidade de execução, em contrapartida são menos flexíveis e com menor detalhamento;
- Mesoscópica: quando os veículos são agrupados em pelotões e tratados desta forma quanto a tamanho, localização, velocidade e aceleração. Esse tipo de simulação é normalmente utilizada em redes semaforicas tendo como objetivo explicar a deformação dos pelotões ao longo do espaço e do tempo;
- Microscópica: onde os veículos são tratados de forma individualizada, sendo os modelos tão detalhados quanto for o seu propósito. Cada veículo conserva, individualmente, todas as características de interesse para o sistema.

A seguir a Tabela 2 apresenta uma comparação entre os três *softwares* de simulação de tráfego que serão apresentados no próximo capítulo, afim de sintetizar as características de cada um deles bem como apontar diferenças entre eles.

**Tabela 2** – Comparação entre os *softwares* de simulação de tráfego

	<b>AIMSUN</b>	<b>VISSIM</b>	<b>SUMO</b>
<b>Desenvolvimento</b>	Espanhol	Alemão	Norte Americano
<b>Característica</b>	Integração; Modularidade; Extensividade; Desempenho.	Multimodal; Aplicações urbanas e interurbanas; Integra transporte público e privado; Desenvolvido na linguagem computacional C++.	Consome pouca memória; Facilidade em estender a aplicação; Velocidade nas simulações; Portabilidade.
<b>Tipo de simulação</b>	Microscópica e mesoscópica	Microscópica	Microscópica
<b>Características do movimento</b>	Segue o princípio <i>car-following</i> para movimentos longitudinais, o qual possui características de aceleração e desaceleração.  Os veículos são tratados individualmente com seus atributos característicos.	Utiliza o princípio <i>car-following</i> para orientar seus veículos. É possível modelar a movimentação de pedestres, recurso não presente nos demais simuladores apresentados.	É utilizada uma versão modificada de tempo discreto e espaço contínuo do modelo <i>car-following</i> .  Movimento longitudinal se da separadamente do movimento lateral.  Assume que o motorista não é perfeito em realizar a velocidade desejada.

**Fonte:** Autoria própria

A utilização de técnicas de simulação tem como funções principais a otimização, otimização dinâmica, estimação de parâmetros e *gaming* (Lourenço, 1981), as quais serão apresentadas a seguir:

- Otimização: busca uma otimização global do sistema, pois permite que diversas configurações se aproximem de seus ótimos possíveis;
- Otimização dinâmica: utilizada quando não é possível, ou seja, é muito difíceis de formular modelos dinâmicos ou estocásticos de otimização. Assim a simulação tem como objetivo determinar valores ótimos em diversos pontos de transição;
- Estimacão de parâmetros: simulação empregada quando os dados de um modelo são pobres os inadequados, assim a simulação pode ser usada para criar artificialmente um arquivo de dados pelo qual os parâmetros possam ser estimados;
- *Gaming*: é o processo de formular simulações alternativas, quando o problema dado é muito complexo e difícil de modelar, o qual envolve inúmeras respostas ou decisões.

As técnicas de simulação são fortemente utilizadas nos processos de análise e/ou otimização de sistemas de tráfego. Citando (Richardson, 1983), dentre seus motivos de utilização estão o realismo, transparência, validação do modelo e variação nas taxas de fluxo:

- Realismo: Como a maioria dos sistemas de tráfego são bastante complexos, com muitas variáveis, interações e subsistemas a utilização de modelos de simulação é preferível uma vez que são muito mais hábeis para representar estes sistemas realisticamente, com menor necessidade de se formular hipóteses altamente duvidosas, o que é comum nos modelos analíticos.
- Transparência: Por possuir natureza modular e da forte aderência às características do sistema real, os modelos de simulação são muito mais transparentes a qualquer pessoa que queira conhecer seu funcionamento. Assim assegurando que os resultados fornecidos são utilizados com a confiança oriunda do conhecimento de sua procedência e de como eles foram obtidos. Eles são relativamente mais fáceis de serem entendidos pelos usuários.
- Validação do modelo: Pela simulação possuir uma estrutura modular, é possível fazer a validação do desempenho do modelo módulo-a-módulo, antes de efetuá-la na totalidade do modelo.

- Variação nas taxas de fluxo: Em modelos de simulação o tratamento da variação da demanda é realizado facilmente. Essa variação é facilmente programada como um evento futuro, fazendo a taxa média atual do fluxo mudar, porém a existência de filas será considerada na nova condição de solicitação. Tal característica é realmente útil na avaliação das condições de tráfego em um período de supersaturação temporária.

Considerando as funções e os motivos da simulação a ser realizada, faz-se a proposta do processo da simulação, a qual segundo (Shannon, 1977) é obtido através das doze etapas mostradas a seguir

1. Definição do sistema: Definir claramente os objetivos do estudo, para que se possa saber a finalidade, ou seja, por que estudar este problema e que perguntas que se espera responder.
2. Planejamento de Projeto: Possuir a equipe suficiente e adequada, o apoio à gestão, *hardware* e recursos de *software* para realizar o trabalho.
3. Definição do sistema: Determinar os limites e restrições para serem usadas na definição do sistema (ou processo) e investigar a forma como o sistema trabalha.
4. Formulação do modelo conceitual: O desenvolvimento de um modelo preliminar de forma gráfica (por exemplo, diagrama de blocos ou fluxo do processo gráfico) ou em pseudocódigo para definir os componentes, variáveis descritivas e interações (lógica) que constituem o sistema.
5. Projeto experimental preliminar: Selecionar as medidas de eficácia, os fatores a serem variados, e os níveis desses fatores a serem investigados, ou seja, quais os dados que devem ser recolhidos a partir do modelo, de que forma, e em que medida.
6. Preparação de dados de entrada: Identificar e recolher os dados de entrada necessários pelo modelo.
7. Tradução do modelo: Formular o modelo em uma linguagem de simulação apropriado.
8. Verificação e Validação: Confirmar que o modelo funciona da maneira pretendida o analista (depuração) e que a saída do modelo é crível e representativa da saída do sistema real.

9. Projeto Experimental final: Projetar uma experiência que irá produzir a informação desejada e determinar como cada um dos ensaios especificados no projeto experimental deve ser executado.
10. Experimentação: Executar a simulação para gerar os dados desejados e executar análise de sensibilidade.
11. Análise e Interpretação: Inferências a partir dos dados gerados pela simulação roda.
12. E documentação de implementação: A comunicação dos resultados, colocando os resultados de usados, gravando os resultados, e documentar o modelo e a sua utilização.

É importante compreender que quanto mais tempo se esperar para começar a etapa 7, mais rápido o modelo será completo e o projeto assumido. A figura que representa um fluxograma das etapas a serem realizadas para a formulação de uma simulação pode ser encontrada no Anexo I.

Para o presente trabalho três *softwares* de simulação de tráfego foram apresentados, porém na elaboração das simulações realizadas utilizou-se o *software* SUMO cuja simulação é do tipo microscópica e tem como função a geração dos resultados do sistema estudado.

### 3.3.1 AIMSUN - *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks*

AIMSUN é um simulador microscópico de tráfego que, como tal, permite modelar o comportamento individual de cada veículo da rede durante o tempo de simulação estabelecido e de acordo com as várias teorias de comportamento dos veículos. Este modelo foi desenvolvido e implementado como uma ferramenta de apoio aos engenheiros de tráfego de modo a poderem analisar e projetar modelos de tráfego, este *software* é baseado nos seguintes princípios básicos (VILARINHO, 2008):

- Integração: quanto mais desenvolvido for o *software*, novas configurações serão desenvolvidas e aprimoradas, exigindo assim uma programação

robusta que acompanhe a complexidade dinâmica. Isso faz com que não se exija uma total reimplantação do *software*;

- Modularidade: reutilizar os processos e tarefas estando de acordo com a filosofia de integração do *software*;
- Extensividade: a habilidade dos usuários em programar extensões customizadas relativamente fáceis;
- Desempenho: é o único princípio que trata do desempenho da simulação uma vez que os três primeiros tratam apenas da arquitetura do *software*. A velocidade de processamento dos *chips* aumenta a cada ano e novas técnicas de desenvolvimento também surgem como a programação paralela. Assim o desafio é conseguir manter o ritmo de desempenho de acordo com as novas mudanças implantadas no *software*.

#### 3.3.1.1 Características de movimento

O AISUM utiliza o princípio *car-following*, o qual é regido por dois princípios: aceleração e desaceleração. Estando a via livre, o veículo tentará atingir a velocidade máxima permitida para a via, e a desaceleração está limitada a uma velocidade menor que a do carro líder (carro que está na frente do veículo analisado).

A simulação realizada por este *software* pode ter tanto origem microscópica quanto mesoscópica, o que fará a diferenciação das mesmas será o nível de abstração e no processo utilizado para atualizar cada veículo.

Durante a simulação, a cada intervalo de tempo as informações que não dependem de outras atividades, como os semáforos, são atualizadas. Logo após se dá início a um conjunto de repetições com o intuito de atualizar características da simulação como vias, intersecções e veículos. Assim são inseridos novos veículos e os dados de relatórios.

Os veículos são tratados individualmente com seus atributos característicos, dados a eles quando entram no sistema e durante a simulação esses atributos permanecem constantes.

Os veículos quando executam o movimento longitudinal obedecem ao modelo *car-following*. A cada passo da simulação, a posição e a velocidade de cada veículo é atualizada, respeitando o seguinte critério: se é necessário trocar de faixa então o modelo de troca é efetuada, caso contrário, aplica-se o modelo *car-following*. Complementando este modelo, existe a influência das faixas adjacentes, isto é, quando um veículo está sozinho percorrendo a seção, com veículos lentos na faixa de menor velocidade ao lado, este ganha um aumento na sua velocidade (HALLMANN, 2011).

### 3.3.1.2 Malha viária

Ao se iniciar um novo projeto utilizando o AIMSUN tem-se a opção de começar um projeto do zero ou utilizar configurações pré-definidas como, largura da via, existência de acostamentos, permitir ultrapassagens, entre outras. Em relação a frota a ser utilizada, também existem modelos pré-configurados, com uma cor padrão para o veículos, o modelo de visualização 3D, aceleração máxima, tempo para frear, etc.

Para a simulação no AIMSUN é necessário o conhecimento de dados da infraestrutura viária como:

- formato das vias;
- número de faixas;
- existência de faixa reservada;
- permissões de conversão em cada intersecção e inclusive nos cruzamentos de pedestres se for necessário a análise.

O AIMSUN suporta variados tipos de arquivos para importação, entre eles alguns estão listados abaixo.

- imagens aéreas, como PNG, JPG, BMP, GIF, SVG, SID e TIFF;
- modelos 3D;
- CAD;
- GIS, como OpenGIS GML, GPX e Google KML;

- Formatos de outras aplicações como VISUM, VISSIM, PARAMICS, TRANSYT e SYNCHRO.

Arquivos de imagens e Auto Cad são utilizados somente como pano de fundo para o desenvolvimento da topologia, enquanto que os arquivos provenientes de outros simuladores conseguem criar uma malha viária completa. Mesmo assim, alguns parâmetros devem ser ajustados com a ajuda do AIMSUN.

O primeiro passo da simulação é a criação da malha viária em estudo, nesse *software* ela é criada com o auxílio de duas ferramentas, a *Section tool* que é responsável pela criação das vias e a *Node tool* que cria as intersecções das mesmas. O caminho pelo qual o veículo percorre é mostrado através da indicação de flechas, e a definição de alguma faixa como preferencial ou a colocação de semáforos impede que ocorram colisões.

#### 3.3.1.3 Controladores de tráfego

Em cada intersecção das vias podem ser colocado semáforos, os quais podem ser fixos ou atuados dinamicamente, dependendo das condições de trânsito. Cada semáforo deve ser configurado separadamente com seu tempo de início e duração de cada plano, o tamanho do ciclo, a duração da fase amarela e os grupos associados em cada nó.

Os controladores dinâmicos devem ser modelados utilizando detectores virtuais, enquanto que a interface auxilia o usuário na programação de uma lógica de controle baseada nos padrões NEMA, SCATS, UTOPIA, VS-PLUS, SICE e SCOOT. Caso se deseja programar de forma customizada, faz-se o uso da API (Interface de Programação da Aplicação) do AIMSUN (HALLMANN, 2011).

#### 3.3.1.4 Atribuição de demanda

A atribuição de demanda para este *software* pode ser inserida de duas maneiras ou por matriz origem/destino ou por estados de trânsito:

- Matriz OD: é necessário possuir o zoneamento das áreas a serem modelados para a inserção de centróides, eles são como pontos de partida e chegada de

veículos. Essa matriz deve estar separada em várias matrizes, cada uma contendo um tipo de veículo, e utilizar pequenas porções de tempo, algo em torno de 15 minutos. Essas matrizes podem ser copiadas de programas de planilhas eletrônicas ou diretamente do banco de dados via conexão ODBC;

- Estados de trânsito: são como injetores e coletores de veículos dos demais *softwares*. Porém o mesmo não é aconselhável quando se deseja fazer uma simulação de cenários muito complexos.

### 3.3.1.5 Relatórios

Este *software* trás como diferencial a possibilidade de visualizar os resultados em tempo real, mostrando os valores de todas as variáveis mudando durante a simulação.

Assim que é terminada a simulação, um sumário com todos os valores processados é fornecido. Isso proporciona ao usuário saber ao final da simulação, para uma determinada via, todas as informações à respeito dela.

Outra funcionalidade é poder configurar novas maneiras de visualizar a simulação. As vias e veículos podem ficar coloridos ou mostrar legendas de acordo com as escolhas feitas.

Tavares (2011) escolheu esse *software* para a análise de Pólos Geradores de Viagens (PGV), devido às diversas possibilidades de construção, calibração e validação da rede, além dos diversos indicadores que o programa oferece para verificação dos resultados da simulação. O estudo de caso compreende uma Instituição de Ensino Superior (IES) localizada na cidade de Guará II – DF. Primeiro foi definido o local do PGV, sua área de influência, bem como dados do sistema viário que seria impactado, demanda de tráfego e de transporte coletivo nessa região para criação da rede. A primeira simulação foi do cenário sem a implantação do empreendimento. Após, uma nova simulação foi realizada com base nos dados de quantidade de viagens produzidas pela IES, distribuição modal e de Origem/Destino (OD). Com a comparação das simulações realizadas, foi detectado um provável aumento no volume e na densidade de tráfego e redução da velocidade média no entorno do PGV, impactos os quais são reduzidos com o aumento da

distância em relação ao objetivo estudado. Assim concluiu-se que os resultados provenientes de redes simuladas possibilitam avaliar de maneira efetiva o impacto da inserção de empreendimentos em ambientes urbanos consolidados. Outra conclusão obtida da simulação é que é possível detectar impactos não contíguos ao local de implantação do PGV.

### 3.3.2 VISSIM - *Verkehr In Städten – SIMulations modell*

O VISSIM é um simulador de tráfego microscópico, multimodal, que oferece aplicações urbanas e interurbanas, integrando transporte público e privado. Condições complexas de trânsito são visualizadas de acordo com modelos de tráfego realísticos (BARCELÓ, 2010).

Desenvolvido na linguagem computacional C++, possui três modelos matemáticos que compõem seu núcleo. O primeiro representa os aspectos técnicos e físicos envolvendo os transportes, o segundo a demanda para gerar as pessoas e veículos percorrendo o sistema e o último, um modelo que controla o trânsito com semáforos, regras de preferências, etc. Os três modelos interagem entre si.

#### 3.3.2.1 Características de movimento

Assim como o modelo anterior, este utiliza a abordagem *car-following* para orientar os demais veículos, conforme o veículo se aproxima do veículo líder, seu ângulo de visão muda e a velocidade sofre alteração.

Os movimentos laterais são compostos de três comportamentos diferentes: seleção da faixa, troca de faixa e o movimento lateral contínuo. Para a seleção da faixa, o motorista escolhe a faixa com a melhor interação disponível, contanto que ele esteja distante da próxima intersecção relevante. Cada intersecção mantém um controle da distância e esta deve ser obedecida para ser efetuada a conversão (BARCELÓ, 2010).

A conversão de faixa só será permitida caso haja espaço para o veículo realizá-la. Caso não ocorra, três situações podem ocorrer:

- O veículo ao lado desacelerar;

- O próprio veículo desacelerar;
- Quanto mais próxima a conversão, mais agressivo o veículo fica, podendo em alguns casos até mesmo parar.

Por não poder ocorrer de maneira instantânea, o movimento lateral tem que ser contínuo, ou seja, a escolha da posição lateral é decidida no local onde o motorista possui o máximo intervalo até uma possível colisão. Assim que escolhida a faixa onde irá ocorrer a movimentação lateral, o motorista aplica uma velocidade lateral de forma a manter uma distância segura dos demais veículos.

No VISSIM também é possível modelar a movimentação de pedestres, recurso não presente nos outros simuladores aqui apresentados.

#### 3.3.2.2 Malha viária

Quando se faz a simulação de uma malha viária complexa, é necessário replicar o modelo da infraestrutura em escala. Nesse *software* as vias são representadas na cor cinza enquanto que a direção do movimento é indicada por setas. O simulador opera em módulos, ou seja, enquanto uma ferramenta estiver sendo utilizado, somente seu recurso “alterar”, “inserir” e “apagar” estarão a disposição do usuário.

Cada via possui as seguintes propriedades que caracterizam parte da classe principal:

- Unicidade;
- Coordenadas planares;
- Número de faixas;
- Tamanhos;
- Veículos habilitados a percorrê-la.

#### 3.3.2.3 Controladores de tráfego

A coordenação semaforica utilizando o VISSIM pode ser configurada segundo fórmulas pré-programadas fornecidas pelo *software* ou funções de lógica podem ser definidas através de programação de linguagem C ou Pascal.

Acompanhando o *software*, existe o programa *Vehicle-Actuade Signal Control* (VisVAP), que possui interface gráfica para desenvolver lógicas através de diagramas.

Em intersecções com semáforos, o modelo mais simples, possui tabelas onde o usuário pode definir o tempo de ciclo de cada fase para determinado semáforo. Desenvolvido para um controlador simples, esta tarefa é feita pelo *software* VISSIG, que inclui diversas opções, incluindo otimizações para dar preferência à determinada via (HALLMANN, 2011).

#### 3.3.2.4 Atribuição de demanda

Os veículos são gerados randomicamente em vértices de entradas ou estacionamentos. Estes fluxos são definidos individualmente para múltiplos períodos de tempo. Como o número de saídas é dado em um intervalo  $[0,t]$ , seguindo a distribuição de Poisson, que significa  $\lambda t$ , então o intervalo de tempo  $x$  entre dois veículos sucessivos vai seguir a distribuição exponencial que significa  $1/\lambda$ ,  $\lambda$  é a medida em veículos por hora. Se o volume de trânsito exceder a capacidade da via, os veículos são empilhados fora da simulação até obter espaço (BARCELÓ, 2010).

A definição da matriz OD não está ligada somente ao local onde o motorista deve chegar, mas também informações da topologia para escolher o caminho percorrido por ele. Essas informações são salvas, e a cada nova vez que percorrer a malha viária as utilizará para a escolha da rota baseado no custo das mesmas.

No VISSIM, os nodos são demarcados através de formas geométricas na intersecção escolhida pelo usuário, sendo que por ele é capaz de se definir a direção que o motorista pode seguir até chegar ao próximo nodo. Feito isso, devem ser inseridos os estacionamentos, que devem estar conectados com um nodo previamente inserido e ser definido como uma zona.

Os veículos acessam o estacionamento para entrar ou sair da simulação. De posse dessas definições é possível inserir a matriz OD. Sendo que a mesma só poderá ser editada por um editor de texto, o *software* não possui nenhuma ferramenta para isso. Este arquivo irá conter as zonas envolvidas nas rotas, o

intervalo de tempo selecionado e o fluxo de veículos para este intervalo de tempo entre as zonas.

Gomes, *et.al* (2003) utilizaram o *software* VISSIM para simular os congestionamentos em *freeways*. A demanda de tráfego foi definida um conjunto de matrizes OD, que contêm os números médios dos veículos que vão de cada origem da auto-estrada para todos os destinos, em intervalos de 15 minutos. O primeiro passo realizado por eles foi compilar um conjunto completo e representativo dos fluxos de fronteira, cobrindo cada rampa de acesso, rampa de saída, e os dois limites de linha principal. Então o FREQ, um popular modelo macroscópico, foi utilizado para converter o fluxo de fronteira para o conjunto requerido de matrizes OD.

#### 3.3.2.5 Relatórios

O VISSIM permite ao usuário acompanhar em tempo real os resultados da simulação. Para isso é necessário clicar sobre o veículo ou pedestre que se deseja obter informações.

Outra opção que o *software* proporciona é a possibilidade de analisar relatórios em arquivos, armazenar a informação em banco de dados ou em modo janela, sempre podendo observar, em uma janela separada, os dados no momento em que são gerados. Devem-se determinar os semáforos que serão analisados, assim como as vias e os tempos de viagens.

Diversos resultados como informações dos veículos, dados dos nodos, desempenho da topologia, paradas de ônibus, tempos de viagens, troca de faixa, tamanho das filas, tempo de atraso, entrada de veículos e caminhos assinalados dinamicamente podem ser obtidos diretamente do módulo de resultados.

#### 3.3.3 SUMO - *Simulation of Urban Mobility*

"Simulação de Mobilidade Urbana" é um *software* de simulação microscópica de tráfego rodoviário. O trabalho no projeto do SUMO começou no ano de 2000, com a primeira implementação iniciada no ano de 2001. No início, SUMO foi desenvolvido em colaboração entre o Centro de Informática Aplicada Colônia

(Zaik) e do Instituto de Sistemas de Transporte (ITS), pelo Centro Aeroespacial Alemão (DLR). Em 2004, o trabalho em SUMO foi continuado por apenas o DLR, embora com a contribuição das organizações externas ou indivíduos (BARCELÓ, 2010).

Projetado pelo Instituto de Sistemas de Transportes, possui três características básicas:

- Pouco consumo de memória;
- Facilidade em estender a aplicação;
- Velocidade nas simulações.

Suas principais características são a rapidez e portabilidade, fato que permite ao *software* rodar em qualquer ambiente computacional, onde sua simulação se faz de forma aberta e possui fácil compreensão.

O *software* é dividido em diversas partes, todas as entradas e saídas do programa estão contidas em arquivos no formato XML, cada uma dessas partes possui um determinado propósito que deve ser executado separadamente, assim para chegar a simulação final o usuário deve percorrê-las.

#### 3.3.3.1 Características de movimento

Neste *software* o movimento longitudinal se dá separadamente do movimento lateral, e ambos pouco interagem entre si. O *software* tem como inovação assumir que o motorista não é perfeito em realizar a velocidade desejada, assim a mesma se torna menor. Isso faz com que na simulação ocorra a criação de congestionamentos espontâneos e o chamado *slow-start* (início lento), ambas as características de motoristas reais.

#### 3.3.3.2 Malha viária

A malha viária utilizada na simulação pode ser obtida de duas formas. A primeira delas é importando modelos prontos de outros simuladores através da ferramenta NETCONVERT, que permite ler redes de outros simuladores de trânsito

como VISUM, Vissim, ou MATsim. Ele também lê outros formatos como shapefiles ou *Open Street Map* (BEHRISCH, BIEKER, ERDAMNN e KRAJZEWICZ, 2011).

A segunda forma é utilizando dois arquivos onde um contém as informações de cada intersecção (chamadas de *nodes*) da via e outro contendo a interligação das vias (os *edges*). Esses dois arquivos são configurados e através do programa NETCONVERT é gerado um terceiro arquivo, com o formato de leitura para o SUMO, contendo a malha viária a ser estudada. Os problemas encontrados na malha viária final devem ser corrigidos nos arquivos XML iniciais.

### 3.3.3.3 Controladores de tráfego

Quando se considera um semáforo de comportamento simples, o mesmo pode ser inserido no SUMO durante a criação do arquivo contendo os nós da malha viária através da adição de mais uma característica, o *traffic\_light*, no arquivo.

Porém quando se deseja uma programação semaforica mais complexa pode-se fazer uso da ferramenta TraCI (*Traffic Control Interface*), a qual permite conexão com o Python onde a programação do semáforo se faz da maneira lógica desejada.

### 3.3.3.4 Atribuição de demanda

O modelo de demanda original do SUMO é uma lista de veículos, com tempos de saída e dois pontos no mapa para origem e destino, chamado de *trip*. Utilizando uma das ferramentas que acompanha o SUMO, a DUAROUTER é possível com um simples algoritmo de caminho mais curto, obter uma lista com a rota completa de todos os veículos. Esta rota completa é chamada de *route* e é armazenada em arquivos XML para carregar o programa (HALLMANN, 2011).

A forma citada acima é apenas uma das maneiras que a atribuição de demanda pode ser realizada no SUMO. Ela também pode ser feita através da utilização de definições de fluxo que permitem agregar mais veículos em uma viagem; assinalamento dinâmico de demanda (DTA), onde se obtêm um conjunto realístico de rotas através da malha viária.

Utilizando a ferramenta OD2TRIPS, que converte a matriz OD (origem-destino) em viagens, é possível definir o intervalo de tempo desta matriz e produzir rotas para os veículos ou distribuir estes valores uniformemente entre o intervalo dado. É possível dividir grandes matrizes em intervalos pré-determinados (entre as 13h e 15h da tarde, por exemplo) ou em um dia inteiro.

A ferramenta DFROUTER utiliza injetores (*sources*) e coletores de veículos (*sinks*). Os veículos entram na malha viária e a percorrem até encontrar um coletor. São utilizados para simular rodovias, pois em cenários urbanos podem ficar para sempre dentro da simulação.

### 3.3.3.5 Relatórios

A simulação realizada no *software* SUMO permite gerar uma quantidade considerável de resultados, sendo eles apresentados em arquivos de texto ou através de *sockets* para o usuário. Através da linha de comando podem-se obter os relatórios mais comuns, o de posição dos veículos, informações de viagens, rotas de veículos e estatísticas.

Segundo Hallmann (2011), outros relatórios devem ser especificados através de arquivos adicionais.

#### a) Informação baseada no veículo.

- Posições dos veículos ao longo do tempo: contém posições e velocidades de todos os veículos em todos os passos;
- Posições dos veículos ao longo do tempo para um determinado tipo de veículo.

#### b) Detectores simulados.

- Detectores de indução simulada;
- Câmeras de movimento;
- Entrada e saída de veículos simulados.

#### c) Valores para arestas ou faixas.

- Via/faixa medidas de desempenho na rede;
- Via/faixa emissão de poluição por veículos baseado em HBEFA (Manual de Fatores de Emissão para o Transporte Rodoviário);

- Via/faixa emissão de ruído baseado em Harmonoise (escada de ruídos ambientais).

d) Informação agregada ao veículo.

- Informações de viagem agregada de cada veículo;
- Rotas de veículos.

e) Estatísticas sobre o estado corrente da simulação.

f) Relatórios de Semáforos.

- Informações sobre os estados dos semáforos;
- Informações sobre os ciclos de um semáforo específico, responsável por uma determinada intersecção;
- Câmeras acopladas aos semáforos para captar veículos.

Krajzewicz, *et.al* (2002) utilizam o *software* SUMO em alguns projetos para validar suas suposições sobre as novas tecnologias:

- Um projeto de Califórnia investiga se os laços detectores espalhados em diferentes pistas da rodovia podem ser usados para prever congestionamentos;
- Tentar validar as previsões de fluxo de tráfego com base em dados fluante de carros recuperados de Táxis em Berlim, Viena e Würzburg;
- Um projeto interno tenta prever as vantagens das novas tecnologias de sensores, na previsão de rota e as fases de semáforo de encerramento;
- Um projeto dos EUA tenta melhorar o tráfego dentro de uma área *off-rampa* rodovia.

Com base nas informações sobre *softwares* de simulação de tráfego, características referentes à Engenharia de Tráfego podem ser estudadas. Todas as informações apresentadas até a presente seção e as próximas serviram de instrumento teórico para a execução do presente trabalho.

### 3.4 Classificação das rodovias

Buscando atender a enfoques e objetivos específicos de natureza técnica, administrativa e de interesse dos usuários das vias em geral, as rodovias foram

classificadas em duas formas básicas, funcional e técnica, que serão apresentadas a seguir.

Para fins de execução de projetos, por exemplo, há conveniência de se dispor de uma classificação diretamente relacionada com o nível de qualidade dos serviços que a rodovia se propõe prestar, ou seja, deverá prover os meios físicos necessários para que os volumes de tráfego previstos executem com economia, conforto e segurança as viagens desejadas (DNER, 1999).

#### 3.4.1 Classificação funcional

Nesta classificação, a base para a divisão hierárquica dos subsistemas é tida conforme o tipo de serviço que a via oferece e a função que será exercida.

A classificação funcional de rodovias está diretamente ligada com o porte das cidades envolvidas. Rodovias classificadas como do sistema arterial são utilizadas para transporte entre cidades de grande porte. Rodovias classificadas como do sistema coletor servem cidades de porte médio e também se conectam com o sistema arterial. Rodovias do sistema local atendem pequenas povoações ou fazendas e sítios e conectam-se com as coletoras (MONTEIRO, 2011).

A classificação funcional de rodovias está relacionada com o quanto uma rodovia tem de mobilidade e acessibilidade. Com base nos dados presentes no Manual de Projeto Geométrico (Dner, 1999), os seus tipos de classificação são apresentados abaixo:

a) Arterial: tem por objetivo proporcionar um alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego; promover ligação entre as cidades e outros centros capazes de atrair viagens de longa distância; integrar municípios, estados e países vizinhos e proporcionar acesso a distâncias razoáveis a todas as áreas desenvolvidas de grande densidade, por meio de adequado espaçamento interno. Essa classificação pode ser dividida em três tipos: principal, primário e secundário.

- Principal: utilizada em viagens internacionais e inter-regionais e possui extensão total entre 2,0 e 3,5% da rede rodoviária.

- Primário: utilizada em viagens inter-regionais e inter-estaduais e sua extensão total compreende entre 1,5 e 3,5% da rede rodoviária.
- Secundário: utilizada em viagens intra-regionais e viagens não servidas por sistema de nível superior, possui extensão total entre 2,5 e 5,0% da rede rodoviária.

b) Coletor: essa classificação tem por objetivo atender ao tráfego intermunicipal e centros geradores de tráfego de menor vulto não servidos pelo sistema arterial; juntamente com o sistema arterial, forma uma rede contínua que possibilita a ligação de áreas rurais e centros municipais à malha arterial, proporcionando mobilidade e acesso dentro de uma área específica do Estado. Essa classificação pode ser dividida em dois tipos: primário e secundário.

- Primário: liga cidades com mais de 5.000 habitantes não servidas por rodovias de nível superior, possuindo uma extensão total entre 4,0 e 8,0% da rede rodoviária.
- Secundário: liga centros urbanos com população acima de 2.000 habitantes e sedes municipais que não estejam servidas por rodovias de nível superior, possui extensão total entre 10,0 e 15,0% da rede rodoviária.

C) Local: essa classificação é destinada essencialmente a proporcionar acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias de nível superior, pertencentes em geral ao sistema coletor secundário.

- Possui extensão total entre 65,0% a 80,0% da rede rodoviária.

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro do ano de 2008 (BRASIL, 2008):

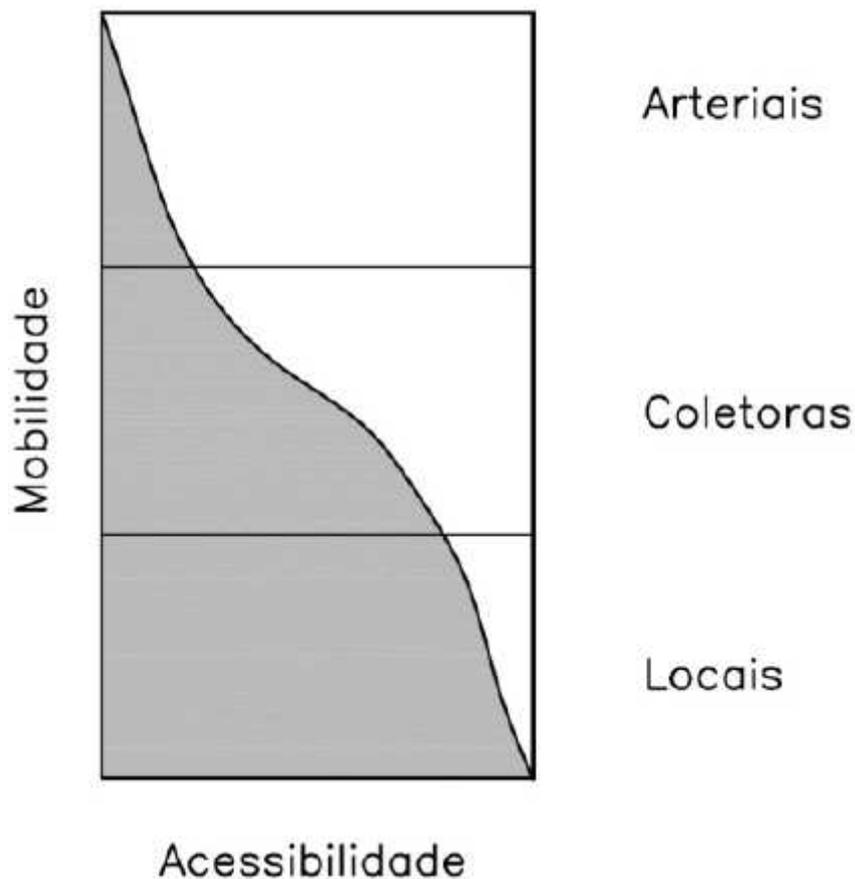
a) Via arterial: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.

b) Via coletora: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.

c) Via local: aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

A Figura 1 representa a comparação entre o grau de mobilidade e acessibilidade entre as três principais classificações de vias.

**Figura 1** – Comparação entre o grau de mobilidade e acessibilidade das rodovias.



**Fonte:** DNIT, 2010.

#### 3.4.2 Classificação técnica

Tendo em vista o que foi citado sobre a classificação funcional, pode se inferir que, a princípio, cada trecho de rodovia deveria possuir características técnicas definidas para atender a fatores tais quais: volume e composição de tráfego, velocidade, relevo do terreno, dentre outras (DNER, 1999).

Vias de maior nível hierárquico geralmente possuem classificação técnica de menor numeração, possui volume de tráfego maior. Porém algumas exceções podem ocorrer, onde uma rodovia de classe funcional inferior seja classificada tecnicamente como uma de classe superior, devido ao seu volume de tráfego.

As classes de projeto, segundo o (Der/SP, 2006) são as seguintes:

- Classe 0 ou Classe Especial: Rodovia de elevado padrão técnico, com controle total de acesso, adotada quando os volumes de tráfego previstos para o horizonte de projeto correspondem a níveis de serviço inferiores a “C” em terreno plano ou levemente ondulado e inferior a “D” em terreno fortemente ondulado ou montanhoso;
- Classe I-A: Rodovia de pista dupla com controle parcial de acesso, adotada quando os volumes de tráfego previstos para o horizonte de projeto correspondem a níveis de serviço inferiores a “C” em uma via de pista simples;
- Classe I-B: Rodovia de pista simples, adotada para volume bidirecional do horizonte de projeto de 200 veíc/h ou volume diário médio bidirecional de 1.400 veículos mistos;
- Classe II: Rodovia de pista simples, adotada para volume diário médio bidirecional do horizonte de projeto entre 700 e 1.400 veículos mistos;
- Classe III: Rodovia de pista simples, prevista para um VMD bidirecional de 300 a 700 veículos mistos;
- Classe IV: Rodovia de pista simples, adotada para volume diário médio bidirecional do horizonte de projeto inferior a 300 veículos mistos.

#### 3.4.3 Relação entre as classificações funcional e técnica

Recomenda-se que as classes de rodovias sejam agrupadas de acordo com características e critérios a nível de padrão técnico, visando compatibilizá-las em um sistema de classificação funcional, ou seja, deseja-se atribuir a certa classe funcional um determinado conjunto de características técnicas que julgam serem compatíveis com o nível hierárquico daquela classe.

Os projetos de engenharia deverão obedecer em princípio aos critérios da classe de projeto correspondente à classe funcional da rodovia, sem quaisquer outras considerações, admitindo-se a previsão de implantação por etapas (Dner, 1999). A seguir a Tabela 3 ilustra a relação geral entre as classes funcionais e as classes técnicas.

**Tabela 3** - Relação entre as classes funcionais e técnicas

<b>Sistema</b>	<b>Classes funcionais</b>	<b>Classes técnicas</b>
<b>Arterial</b>	Principal	Classes 0 e I
	Primário	Classe I
	Secundário	Classes I e II
<b>Coletor</b>	Primário	Classes II e III
	Secundário	Classes III e IV
<b>Local</b>	Local	Classe III e IV

**Fonte:** DNER, 1999

### 3.5 Características do tráfego

As características do tráfego são de fundamental importância nos estudos da engenharia de tráfego, elas são utilizadas para o planejamento e execução de melhorias do sistema viário atual bem como para futuras melhorias do mesmo. Sendo assim é necessária a definição de características como o volume de tráfego, composição do tráfego e fator de hora de pico.

#### 3.5.1 Volume de tráfego

Define-se volume de tráfego (ou Fluxo de Tráfego) como o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo. É expresso normalmente em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph) (Dnit, 2006). Segundo (Denatran, 2012) volume de tráfego (ou fluxo de tráfego) ao número de veículos ou pedestres que passa por uma dada seção de via durante o período de realização de uma contagem.

O volume de tráfego poderá ser definido como sendo apenas para um determinado sentido da via ou para ambos os sentidos, padrão que será definido de acordo com o tipo de projeto que esta sendo executado.

O mesmo poderá também ser definido de acordo com o período de tempo de coleta dos dados. A seguir são apresentadas as subdivisões do volume de tráfego.

#### 3.5.1.1 Volume médio diário (VMD)

Volume médio diário de tráfego de uma via corresponde à média da soma total de veículos pelo número de dias de levantamento no local. Este período pode ser de 3 ou 7 dias, com duração de 16 ou 24 horas diárias (totalizados hora a hora e por categoria), ou ainda a critério do DAER poderão ser executadas contagens de 1 a 2 dias em horários especiais (Daer, 2010). É o número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período de tempo. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que se trata de um ano (DNER, 1999).

Essa classificação é utilizada quando há uma necessidade de saber se a via precisa ser melhorada ou se é necessária à implantação de novas vias, se os benefícios esperados de uma obra viária foram atingidos, no cálculo de taxas de acidentes, etc.

Segundo (Dner, 1999) o volume médio diário pode ser subdividido de acordo com o período, em dias, de coleta dos dados, sendo que todos possuem como unidade de medida veículos/dia (vpd):

- Volume Médio Diário Anual (VMDa): total de veículos que trafegam durante um ano dividido por 365 dias.
- Volume Médio Diário Mensal (VMDm): total de veículos que trafegam em um mês dividido pelo número de dias desse mês. Sendo acompanhado pelo nome do mês em que foi feita a contagem.
- Volume Médio Diário Semanal (VMDs): total de veículos que trafegam em uma semana dividido por 7 dias. Sendo acompanhado pelo nome do mês em que foi feita a contagem.
- Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd): total de veículos que trafegam em um determinado dia da semana. Sendo acompanhada pela indicação do dia de semana e do mês correspondente a contagem.

Esses volumes de tráfego podem ser verificados considerando todos os tipos de veículos que circulam no trecho de análise, sendo expresso em "Unidades de Tráfego Misto", bem como poderá ser feita uma conversão desse tráfego misto para um único tipo de veículo, nesse caso todos os veículos serão transformados para seu equivalente em veículos de passeio e o volume será expresso em termos de "Unidades de Carro de Passeio". A seguir a Tabela 4 de equivalência para a conversão em carros de passeio.

**Tabela 4 - Fator de Equivalência**

<b>Tipo de veículo</b>	<b>VP</b>	<b>CO</b>	<b>SR/RE</b>	<b>M</b>	<b>B</b>
<b>Fator de equivalência</b>	1,0	1,5	2,0	1,0	0,5

**Fonte:** DNIT, 2006

Onde:

- VP = Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel;
- CO = Representa os veículos comerciais rígidos, não articulados;
- SR = Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples (cavalo mecânico) e um semirreboque;
- RE = Representa os veículos comerciais com reboque;
- M = Representa as motocicletas;
- B = Representa as bicicletas;

### 3.5.1.2 Volume horário (VH) e volume horário de projeto (VHP)

O número total de veículos trafegando em um determinado trecho de uma determinada hora do dia é chamado de volume horário (VH) (Dnit, 2006). A partir da definição do volume horário pode-se determinar o volume horário de projeto (VHP), que é o volume utilizado (demanda máxima horária) que uma rodovia, em condições ideais, poderia atender sem gerar congestionamento. VHP é o fluxo de veículos (número de veículos por hora) que deve ser atendido em condições adequadas de segurança e conforto pelo projeto da via em questão (DNER, 1999).

Porém essa condição é custosa, uma vez que a demanda varia de acordo com várias características como o período do dia, sentido da viagem, dia da semana, etc. Caso fosse projetada para o volume horário de projeto, a rodovia em questão estaria superdimensionada durante as demais horas do ano, tornando assim o valor investido no projeto superior ao necessário e a rodovia apresentaria um grande grau de ociosidade.

Nos EUA é utilizado o volume compreendido entre a 30<sup>a</sup> e a 100<sup>a</sup> hora, enquanto que no Brasil chega-se a utilizar o volume da 50<sup>a</sup> hora para o projeto de vias.

#### 3.5.1.3 Volume da hora de pico (Vhp)

Como é de conhecimento geral o volume de tráfego não se faz constante durante todas as horas do dia. Buscando saber qual a hora, dentro de um dia, em que uma rodovia está mais solicitada, introduziu-se o conceito de volume da hora de pico. Como os volumes de tráfego variam de dia para dia, mês para mês e de ano para ano, pode-se encontrar diversos Vhp diferentes (DNIT, 2006).

Tendo posse dos valores do volume da hora de pico, é possível analisar o tráfego de uma rodovia já implantada e seu nível de serviço, bem como se existe a necessidade de implantação de uma nova via, expandindo a capacidade de determinado trecho.

#### 3.5.2 Fator de hora de pico

As horas de pico, que contém os maiores valores para volume de veículos de uma via em um determinado dia, variam de acordo com o local escolhido, porém os mesmos tendem a se manter semelhantes quando escolhido o mesmo local no mesmo dia da semana (DNIT, 2006).

O volume de veículos que passa por uma seção de uma via não é uniforme no tempo. A comparação de contagens de quatro períodos consecutivos de quinze minutos, mostra que são diferentes entre si. Essa variação leva ao estabelecimento do “Fator Horário de Pico” (FHP), que mede justamente esta flutuação e mostra o

grau de uniformidade do fluxo (Dnit, 2006). A equação abaixo representa como o fator hora de pico é calculado.

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4v_{15max}}$$

Em que:

- FHP = fator de hora de pico;
- $V_{hp}$  = volume da hora de pico;
- $v_{15max}$  = volume durante o período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico.

A adoção de quatro intervalos de 15 minutos busca uma melhor representação do volume de tráfego em uma via. Se fosse escolhido um valor menor a esse, poderia ocorrer o superdimensionamento da via e ociosidade da mesma. Caso fosse escolhido um intervalo de maior tempo poderia resultar em um subdimensionamento da via e maior período de congestionamento.

O fator horário de pico varia teoricamente e faz-se difícil verificar seu valor como sendo um. Ele varia normalmente entre:

- 0,25 - fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos;
- 1,00 - fluxo completamente uniforme.

Nas áreas urbanas o valor de FHP varia entre 0,80 a 0,98. O FHP superior a 0,95 é forte indicativo de grandes volumes de tráfego, possuindo até em alguns casos restrições de capacidade durante a hora de pico.

### 3.5.3 Composição do tráfego

A composição do tráfego nas vias contempla variados tipos de veículos, os quais diferem entre si em tamanho, peso e velocidade. Assim os efeitos causados pelos mesmos são diferenciados, por exemplo, quanto maior e mais carregado for um veículo, maior será a força exercida por ele sobre as camadas que compõem a pavimentação da via. Considerando esse aspecto, essa quantidade de veículos pesados determina características geométricas que as vias devem ter em seu

projeto, para que as mesmas suportem esses veículos sem sofrer grandes danos em suas estruturas.

Os Estudos de Tráfego devem ser capazes de distinguir a composição do tráfego que circula ou circulará em determinado trecho rodoviário, afim de discriminar as seguintes categorias (CASTRO, 2001):

- Tráfego local: é o tráfego que circula atualmente na região e que pode ser medido através de pesquisas próximas ao local de implantação da obra (contagem volumétrica e classificatória);
- Tráfego desviado: é o tráfego que circula na região, porém em rodovias com melhores condições de tráfego que a rodovia a ser pavimentada;
- Tráfego gerado: é o tráfego que surgirá com a implantação da rodovia e deve ser estimado a partir de estudos macro-econômicos regionais (quantidade de viagens diárias de cada classe de veículos).

No Brasil e nos países menos desenvolvidos, a composição do tráfego se faz majoritariamente de veículos pesados como o caminhão e os ônibus, enquanto que nos Estados Unidos esses valores são inferiores (CASTRO, 2011).

Com a atual situação das cidades brasileiras, em relação principalmente ao sistema viário urbano, as mesmas precisam de profundas mudanças para que se tenha um desenvolvimento equilibrado. Para isso devem contar com fontes estáveis e seguras de financiamento para o desenvolvimento urbano e assim poderão expandir-se de forma adequada e democrática. Assim seu planejamento é de fundamental importância.

O próximo capítulo apresenta o estudo de caso analisado para o presente trabalho, onde para a realização do mesmo foram utilizadas as definições apresentadas neste capítulo.

#### 4. ESTUDO DE CASO: TRECHO DA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE GASPAR

Cerca de 12 mil veículos passam pela Rodovia SC-412, também conhecida como Rodovia Jorge Lacerda, diariamente (Ditran, 2015) e o congestionamento não está limitado somente às regiões próximas a Rodovia. O problema se alastra por vários bairros da cidade gerando uma redução da velocidade de locomoção dos veículos bem como um maior tempo gasto no trânsito. Assim no presente trabalho, a Rodovia SC-412 é analisada e considerada como a principal via geradora de congestionamentos na cidade de Gaspar, devido a seu intenso fluxo de veículos diários e sua localização.

Segundo contagem realizada pelo Ibge (2015) na Cidade de Gaspar, existe 41.053 veículos de propriedade dos moradores da cidade, valor que apresenta aumento nos últimos anos. Buscando melhorar a condição de trafegabilidade na cidade de Gaspar a Prefeitura Municipal já realizou mudanças no sistema viário como a construção do viaduto da Avenida das Comunidades e o impedimento de conversão à esquerda na Rua Aristiliano Ramos para a Rodovia SC-412 sentido oeste, porém as mesmas não são suficientes para melhorar o problema da cidade. A Figura 2 representa trechos congestionados da Rodovia SC-412 na cidade de Gaspar.

**Figura 2 – Vias congestionadas na cidade de Gaspar**



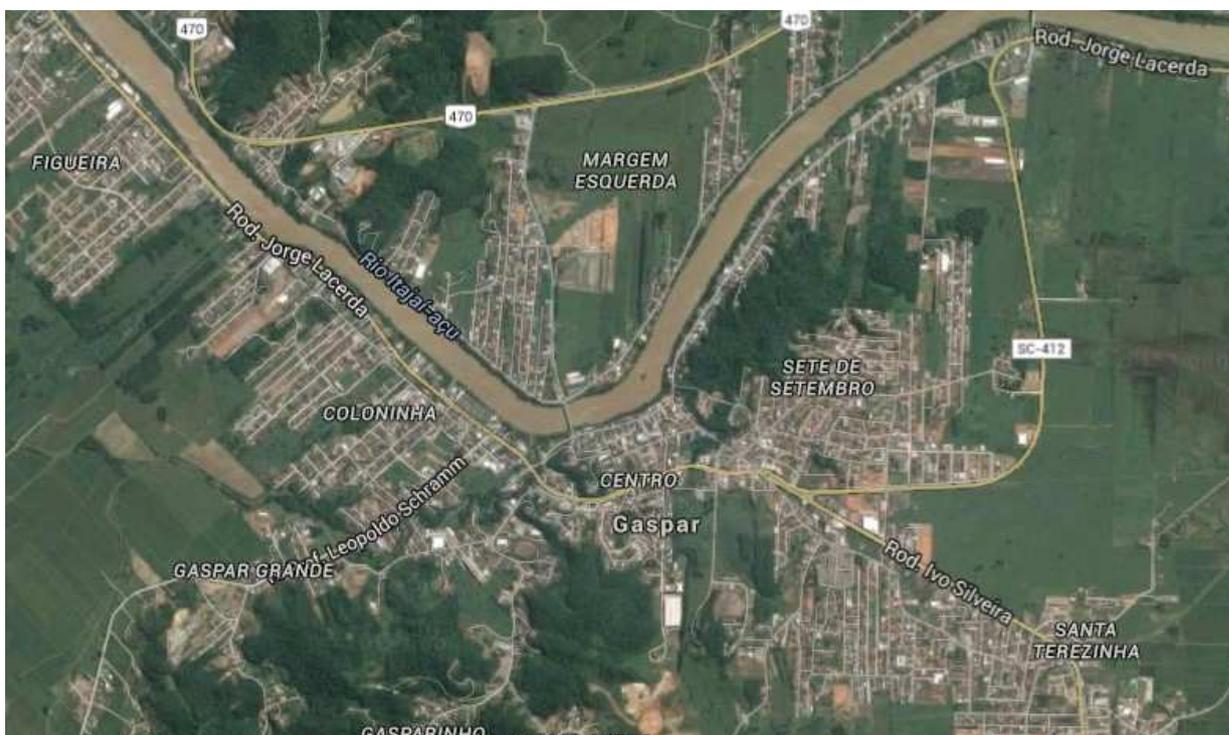
**Fonte:** DOMÍCIO (2013)

Buscando novas melhorias, a Prefeitura Municipal de Gaspar conta com um projeto futuro que é o Contorno de Gaspar o qual possui a mesma finalidade que a Rodovia SC-412, ou seja, ligar a cidade de Blumenau ao litoral e vice-versa, sendo que não possui a necessidade de passar pelo centro da cidade de Gaspar, pretendendo-se a diminuição do fluxo de veículos presentes na região central da cidade.

#### 4.1 A RODOVIA SC-412 NA CIDADE DE GASPARG

A Rodovia SC-412, é uma rodovia de ligação que interliga o município de Itajaí, a partir da BR-101, com a cidade de Blumenau, passando pelas cidades de Ilhota e Gaspar, na região do Vale do Itajaí, com uma extensão aproximada de quarenta quilômetros. A Figura 3 apresenta a localização da Rodovia SC-412 na cidade de Gaspar.

**Figura 3** – Rodovia SC-412 na cidade de Gaspar



Fonte: Google Maps.

Contornando a região central da cidade de Gaspar está localizada a Rodovia SC-412, a qual é utilizada por motoristas que são residentes da cidade de Gaspar

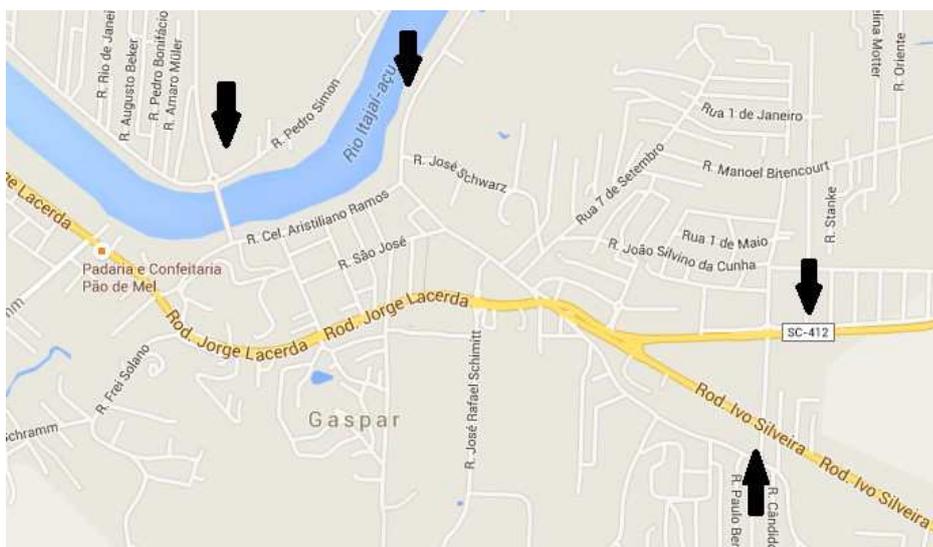
bem como por motoristas de outras cidades, mas que precisam utilizar a rodovia durante seu percurso.

## 4.2 COLETA DE DADOS

### 4.2.1 Identificação das regiões geradoras de tráfego

Para o presente trabalho são consideradas quatro vias de acesso a regiões geradoras de tráfego: Rodovia Ivo Silveira; Rua Itajaí; Rodovia SC-412 e Ponte Hercílio Decker. Os fluxos de veículos das mesmas, quando em contato no cruzamento das mesmas, geram congestionamentos na Rodovia SC-412 e se alastra para alguns bairros da cidade de Gaspar, fator que foi decisivo na escolha dessas regiões na análise de fluxo de veículos. A Figura 4 aponta as quatro regiões geradoras de fluxo de veículos.

**Figura 4** – Vias de acesso as regiões geradoras de tráfego



**Fonte:** Googlemaps

### 4.2.2 Características da simulação

Para que a simulação seja realizada, primeiro faz-se necessário definir quais características são utilizadas, quais rotas possuem fluxo de veículos, a definição dos tipos de veículos que estarão presentes na simulação e as características dos fluxos de veículos presentes na vias. As informações estão presentes em um arquivo denominado de “rotas.rou.xml”.

Em relação às rotas é necessário especificar as características dos veículos que circulam na simulação, sendo elas:

- Aceleração (*accel*): o quanto a velocidade do veículo aumenta a cada metro;
- Desaceleração (*decel*): o quanto a velocidade do veículo diminui a cada metro;
- Identificação do veículo (*id*): nome dado para o veículo;
- Tamanho do veículo (*length*): comprimento que cada veículo irá possuir na simulação;
- Velocidade máxima em que trafega (*maxSpeed*): o valor máximo que a velocidade de um veículo poderá atingir;
- Defeitos do motorista (*sigmas*): parâmetro relacionado a forma como o motorista dirige;
- Cor do veículo (*color*): cor atribuída a cada veículo na simulação.

A Tabela 5 apresenta os valores das características definidas acima. Para todos os cenários e todas as rotas, esses valores foram os mesmos.

**Tabela 5** – Valores para as características utilizados na simulação

<b>Característica</b>	<b>Aceleração</b>	<b>Desaceleração</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Velocidade Máxima</b>	<b>Defeitos do motorista</b>
	1m/s	5m/s	4m	50m/s	0.5

**Fonte:** Autoria própria

A segunda parte a definir foram às rotas, as quais devem ser elaboradas uma a uma. Para isso é necessário saber o nome de cada trecho que constitui uma rota e colocá-los em sequência no arquivo. As rotas possuem como características:

- Identificação da rota (*route id*): nome dado a rota simulada;
- Caminhos (*edges*): sequência numérica que representa os trechos presentes na via simulada.

O trecho que primeiro aparecer no arquivo será o ponto de início dos veículos na simulação enquanto que o último trecho será onde os veículos deixam a simulação.

Para o presente trabalho foram definidas nove rotas, as quais são apresentadas a seguir:

- Rota 1: Rodovia Ivo Silveiro para cidade de Blumenau (Anexo II);
- Rota 2: Rodovia Jorge Lacerda para cidade de Blumenau (Anexo III);
- Rota 3: Rua Itajaí para centro da cidade de Gaspar para Rua Itajaí (Anexo IV);
- Rota 4: Cidade de Blumenau para Rodovia Jorge Lacerda (Anexo V);
- Rota 5: Cidade de Blumenau para Rodovia Ivo Silveira (Anexo VI);
- Rota 6: Margem Esquerda para cidade de Blumenau (Anexo VII);
- Rota 7: Cidade de Blumenau para Margem Esquerda (Anexo VIII);
- Rota 8: Rodovia Jorge Lacerda para centro da cidade de Gaspar para Rodovia Jorge Lacerda (Anexo IX);
- Rota 9: Rodovia Ivo Silveria para centro da cidade de Gaspar para Rodovia Ivo Silveira (Anexo X).

As características dos fluxos de veículos em cada rota aparece na parte final desse arquivo. A mesma define como é o comportamento do fluxo na via escolhida, sendo constituída das seguintes partes:

- Identificação do fluxo (*flow id*);
- Tipo de veículos que a compõe (*type*);
- Nome da rota percorrida (*route*);
- Início (*begin*) e fim (*end*) do fluxo de veículos;
- Período em que cada veículo, que compõe o fluxo, entra na simulação (*period*).

Dentro da característica *period*, é alocado o fluxo de veículos que percorrem as vias simuladas em ambos os sentidos. Assim, para cada rota, um período é calculado com base em seu fluxo de veículos na hora de pico e o tempo de

simulação estipulado. A equação abaixo é utilizada para calcular o período em que os veículos entram na simulação:

$$period = \frac{\text{tempo de simulação}}{\text{fluxo de veículos (HP)}}$$

Em que:

- *Period*: o período de tempo em que cada fluxo de veículos entra na simulação.
- Tempo de simulação: tempo em que a simulação foi realizada;
- Fluxo de veículos (HP): quantidade de veículos percorrendo as vias em hora de pico.

A característica período representa de quantos em quantos segundos um novo veículo entra na simulação, para cada rota. Neste trabalho, cada rota apresenta um valor de período.

#### 4.2.2.1 Volumes de tráfego

Os volumes de tráfego utilizados na simulação foram obtidos diretamente com o Departamento de Trânsito da cidade de Gaspar (DITRAN) ou por atribuição representativa (valor de mil veículos por via em ambos os sentidos).

Para a atribuição de fluxo de veículos em cada uma das rotas definidas, é utilizada uma porcentagem do fluxo de veículos presente no principal trecho da rota. Assim, dos valores informados pelo DITRAN, uma porcentagem do valor de cada via é considerado em suas respectivas rotas, fato considerado uma vez que os valores obtidos com o DITRAN representam quantos veículos passam por determinada via em ambos os sentidos, mas não é informado seu destino. Por exemplo, pela Rodovia Ivo Silveira trafega diariamente nove mil veículos em ambos os sentidos, dos quais estes podem ter como destino a cidade de Brusque, bairro Santa Terezinha (trafegando na rodovia no sentido da cidade de Brusque), assim a rota que representa a Rodovia Ivo Silveira possui uma porcentagem dos nove mil veículos, pelo fato de a mesma possuir mais de um possível destino.

Para a Rodovia Ivo Silveira é considerado o valor de 50% do fluxo da via tendo como destino a cidade de Blumenau, o mesmo valor foi utilizado para a rota

inversa. Para a rota que começa na Ponte Hercílio Decker é atribuído o valor representativo de 2.000 veículos diários. A rota que começa na Rodovia SC-412 indo até o centro da cidade de Gaspar e voltando para a rodovia, e a rota que se inicia na Rodovia Ivo Silveira sentido centro e retornando para a rodovia, é atribuído o valor representativo de 1.000 veículos por dia. Por fim, para a rota que representa o caminho entre a Rodovia SC-412 e a cidade de Blumenau, o fluxo de veículos é de 12 mil por dia, então na simulação esse valor é menor (para esta rota), uma vez que veículos originados de outras rotas também fazem uso do trecho da rodovia, ao passo que ao realizar a soma de todos os veículos que utilizam a SC-412 chega-se então aos 12 mil veículos diários.

Na tabela 6 é apresentado o fluxo de veículos em relação às 24 horas do dia. Caso fosse feita uma divisão pelo número de segundos de um dia, geraria um fluxo de veículos constante nesse período, caso que não condiz com a realidade, uma vez que no período da manhã, por volta das 08:00h e 09:00h, e no período da tarde, entre 17:00h e 18:00h, ocorrem os horários de pico, nos quais o fluxo de veículos é maior que nas demais horas do dia.

Segundo Santos (2015), estudos indicam que o fluxo de veículos chega a duplicar nas horas de pico. Assim para as simulações realizadas o fluxo de veículos na hora de pico é o valor duplicado do fluxo de veículos em uma hora normal do dia. Esse valor é representado pela quinta coluna da Tabela 6.

**Tabela 6** – Volume de tráfego

	<b>Fluxo diário</b>	<b>Fluxo por segundo</b>	<b>Fluxo por hora (HP)</b>	<b>Fluxo dobrado (HP)</b>	<b>Período (s)</b>
<b>Rota 1</b>	4.000	0,046	167	333	2,10
<b>Rota 2</b>	7.700	0,0891	321	642	1,09
<b>Rota 3</b>	1.200	0,0138	50	100	7,00
<b>Rota 4</b>	5.700	0,0659	238	475	1,47
<b>Rota 5</b>	4.000	0,0462	167	333	2,10
<b>Rota 6</b>	2.000	0,0231	83	167	4,20
<b>Rota 7</b>	1.000	0,0115	42	83	8,40
<b>Rota 8</b>	1.000	0,0115	42	83	8,40
<b>Rota 9</b>	1.000	0,0115	42	83	8,40

**Fonte:** Autoria própria

#### 4.2.4 Simulação

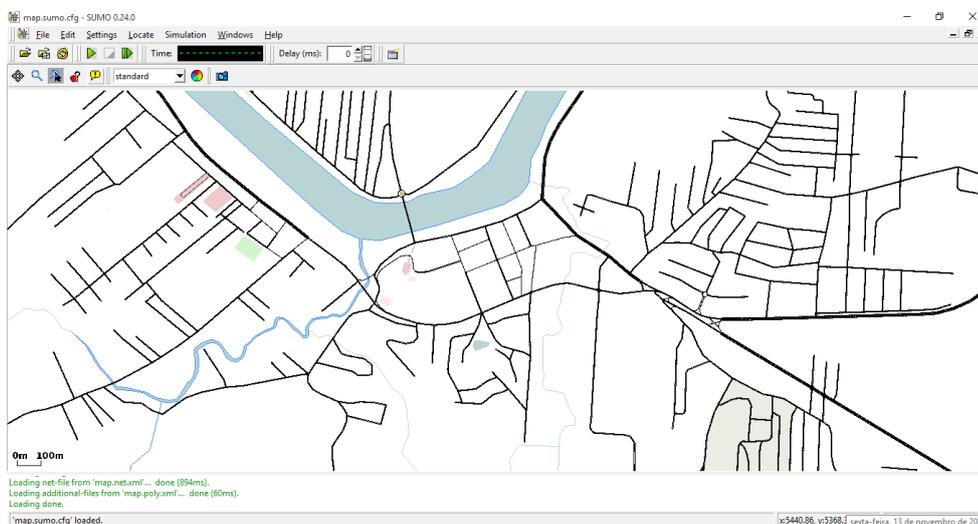
A simulação é o resultado de uma sequência de etapas. Primeiro é necessário instalar no computador, onde ocorrerá a simulação, os seguintes programas: *sumo 0.24* e *python*.

A definição da área para a simulação foi realizada através do *openstreetmap*, selecionando o tamanho da área e exportando-a. Sendo que o arquivo resultante é denominado de “*map.osm*”, o mesmo é salvo em uma nova pasta criada, aqui denominada de “*mapa*”. O anexo X apresenta a área do município de Gaspar que foi exportada.

Como o *software* de simulação de tráfego SUMO não consegue utilizar a extensão “.*osm*” é necessário fazer uma conversão do arquivo. A mesma é realizada através do *prompt* de comando. Uma sequência de passos é realizada e como resultado é gerado um novo arquivo de extensão “.*xml*” que agora pode ser interpretado pelo *software* SUMO. A sequência de passos realizados no *prompt* de comando está apresentado no anexo XI.

Ao final dessa sequência de comandos o *software* de simulação de tráfego SUMO inicia contendo a malha viária a ser simulada. A Figura 5 mostra a malha viária importada para o *software* SUMO.

**Figura 5 – Malha viária a ser estudada**



**Fonte:** Autoria própria

Em seguida cria-se o arquivo de rotas, aqui denominado de “rotas.rou.xml”. Assim, para a simulação são definidas nove rotas e seus respectivos fluxos de veículos alocados. Defini-se ainda o tempo de simulação de 700 segundos, tempo de simulação escolhido porque quanto maior for o tempo de simulação maior é o tamanho dos arquivos gerados e conseqüente maior tempo de processamento, valor esse que foi utilizado para a definição dos períodos de cada fluxo de veículos em seus respectivos caminhos.

Configurar a simulação é a última etapa a ser realizada. Nela um novo arquivo é criado e nomeado aqui como “gaspar.sumo.cfg”, o qual contém como dados de entrada os dois arquivos “map.net.xml” e “rotas.rou.xml”, e como dado de saída o arquivo “emissao.xml” e a especificação do tempo de simulação.

O passo final é inicializar o *software* de simulação SUMO e através da janela *open* selecionar *open simulation* e localizar o arquivo “gaspar.sumo.cfg”, o qual irá abrir a simulação da malha viária a ser estudada juntamente com todas as características implementadas nas etapas anteriores. O anexo XII apresenta esse arquivo de configuração. Ao final das etapas, a simulação é rodada e os resultados dos cenários são gerados podendo posteriormente ser comparados.

Assim, ao final da simulação um arquivo de extensão “.xml” é gerado. Então através *script* em *python xyz.py*, é possível converter o arquivo para a extensão “.csv”, para que o mesmo possa ser utilizado pelo programa *Microsoft Office Excel*.

Com os resultados já em forma de planilha, os mesmos são ser filtrados de acordo com as variáveis que se deseja analisar. No presente trabalho essas variáveis são: emissão de  $CO_2$ , CO,  $NO_x$  por veículo; velocidade do veículo; tempo de espera do veículo; quantidade de ruído emitida por veículo e combustível gasto por veículo.

Depois de filtrada as variáveis de análise, são obtidas a média de cada variável, considerando todos os cenários. Assim, a análise se constitui na comparação dos valores obtidos por cenário.

#### 4.4 CENÁRIOS DE ANÁLISE

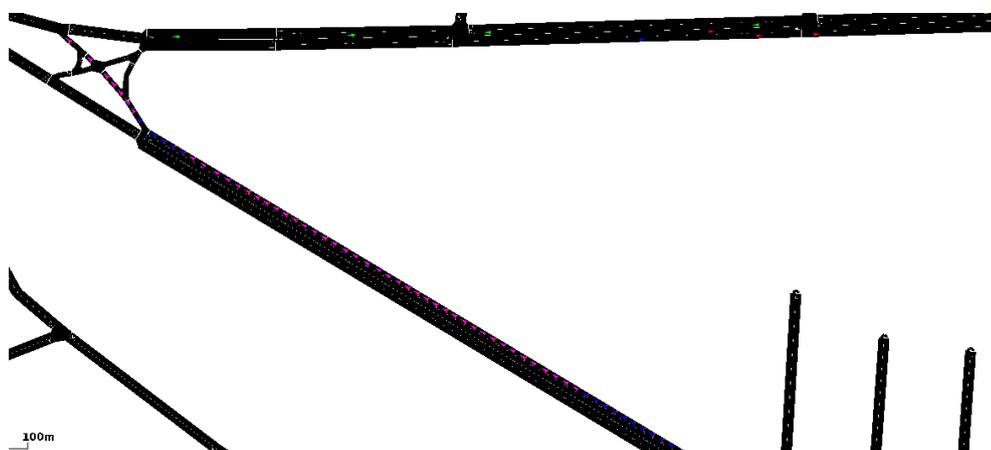
Nesta seção apresenta-se os três cenários analisados neste trabalho. O primeiro compreende o cenário atual do fluxo de veículos presentes nas principais vias da cidade de Gaspar, no horário de pico, enquanto que o segundo e terceiro cenários, os cenários propostos, ocorre uma redução de 20% e 50%, respectivamente, do fluxo de veículos nas vias simuladas. As simulações são realizadas com o intuito de mostrar a situação de trafegabilidade na cidade de Gaspar em horário de pico.

##### 4.4.1 Cenário 1 – cenário atual

Neste cenário o fluxo de veículos presente nas principais vias da cidade de Gaspar, é o fluxo em hora de pico. Para a definição dos valores encontrados, presentes na Tabela 6 da seção 4.2.2.1, são utilizados dados obtidos através do Departamento de Trânsito (DITRAN) da cidade de Gaspar e dados representativos.

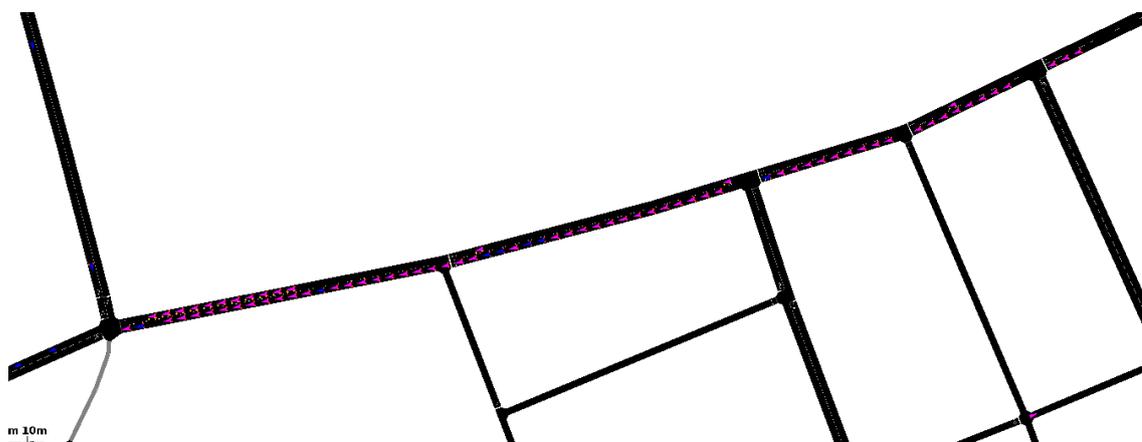
As Figuras 6,7 e 8 mostram as principais vias analisadas, sendo: Rodovias Ivo Silveira, SC-412 e Rua Aristiliano Ramos (centro da cidade de Gaspar). A Figura 6 representa o congestionamento gerado na Rodovia Ivo Silveira, a Figura 7 o congestionamento na Rua Aristiliano Ramos enquanto que na Figura 8 é mostrado o congestionamento, representado pelo número de veículos presente na Rodovia SC-412.

**Figura 6 – Rodovia Ivo Silveira**



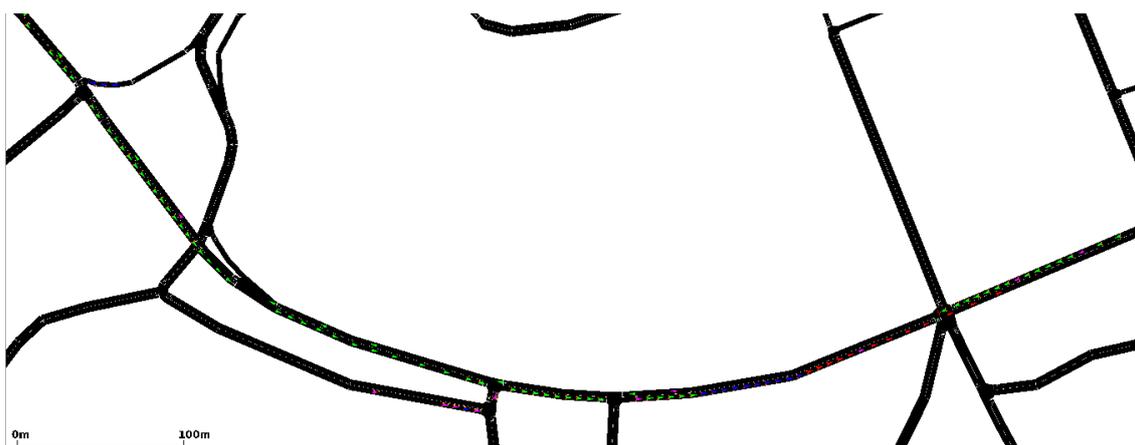
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 7 – Rua Aristiliano Ramos**



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 8 – Rodovia SC-412 sentido Blumenau – Gaspar**



**Fonte:** Autoria própria

Ao final do tempo estipulado para a simulação, os resultados são gerados e então podem ser analisados.

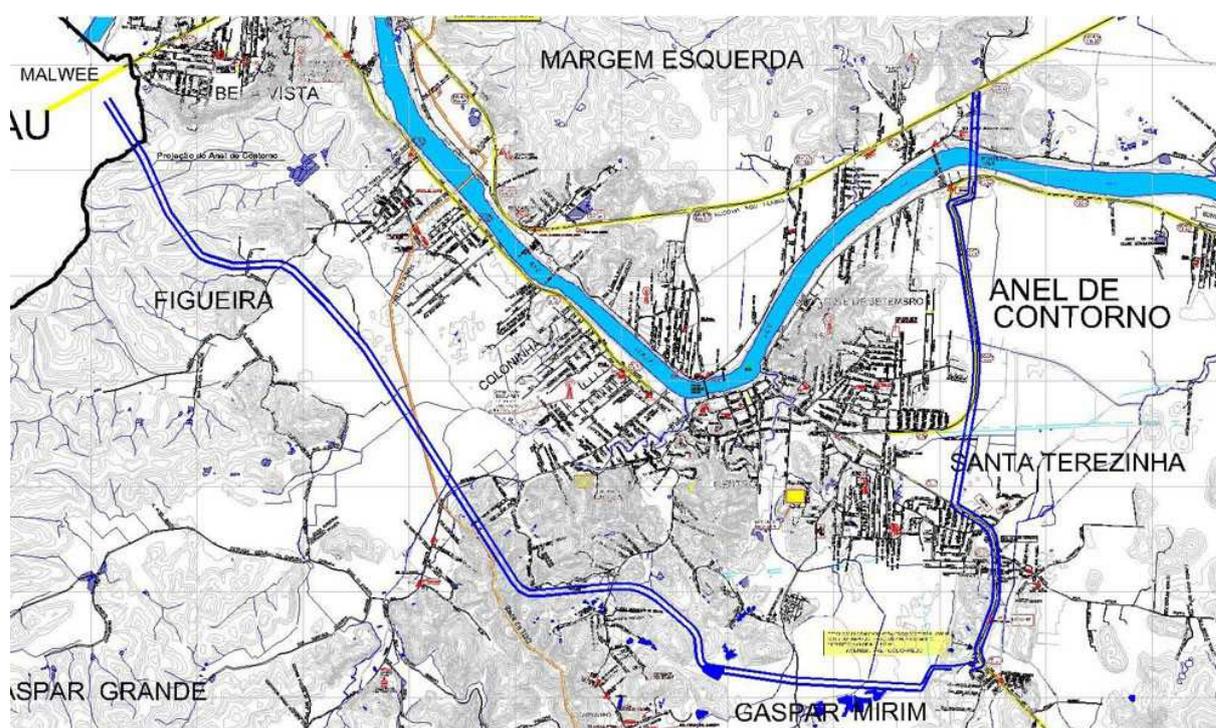
#### 4.4.2 Cenários propostos

Para os cenários propostos é considerado um projeto que a Prefeitura Municipal de Gaspar planeja para o município, o qual é chamado de Contorno Viário de Gaspar e tem como principal objetivo reduzir o trânsito na região central da cidade e o tráfego de veículos na Rodovia SC-412 e, a duplicação da BR-470. Essas obras trarão maior agilidade a quem viaja entre as cidades do Vale do Itajaí, partindo

da cidade de Blumenau e cidades do médio e alto Vale em direção ao litoral e vice-versa.

O Contorno Viário de Gaspar é uma rodovia de aproximadamente vinte e dois quilômetros de extensão que interliga as cidades de Gaspar e Blumenau, começando na Rodovia SC-412, na altura da Ponte do Vale, e seguindo até a Rua Itajaí, na cidade de Blumenau. A Figura 9 mostra o caminho por onde o Contorno Viário de Gaspar estará localizado.

**Figura 9** – Contorno Viário de Gaspar



**Fonte:** FRESARD (2011)

A BR-470 trecho Navegantes, Gaspar, Massaranduba, Blumenau também é uma rota alternativa para quem não deseja ou precisa passar pela região central da cidade de Gaspar, porém devido a seu intenso fluxo de veículos mais veículos não a utilizam. Porém com sua duplicação o tráfego na mesma será reduzido e novos veículos poderão utilizá-la. A obra de duplicação está em andamento.

O cenário 2 proposto é então baseado em uma redução hipotética do fluxo de veículos de 20% enquanto que o cenário 3 proposto apresenta uma redução hipotética de 50% do fluxo de veículos nas vias modeladas na simulação.

Para cada cenário, um novo fluxo de veículos e período foram calculados e assim adicionados nas tabelas. A seguir são apresentados o cenário 2 e o cenário 3.

#### 4.4.2.1 – Cenário 2 – Redução de 20%

Neste cenário, o fluxo de veículo que trafega pela cidade de Gaspar é reduzido em 20%. A Tabela 7 representa os valores calculados para cada caminho da simulação.

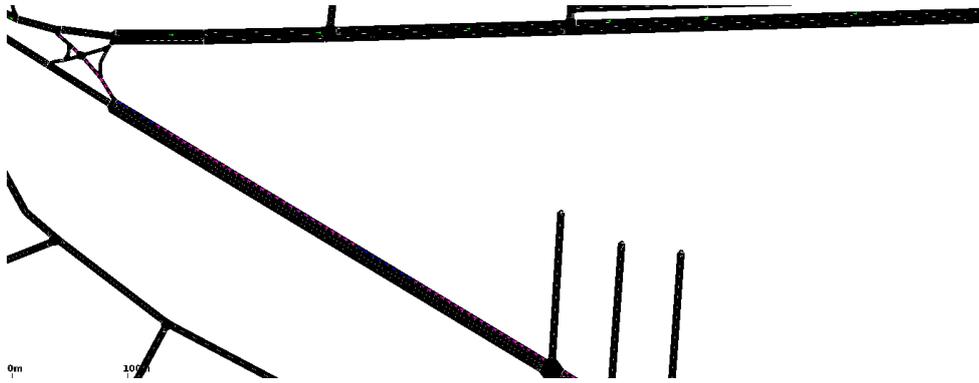
**Tabela 7 – Características dos caminhos**

<b>Rotas</b>	<b>Fluxo diário (20% redução)</b>	<b>Fluxo dobrado (HP)</b>	<b>Período (s)</b>
<b>1</b>	133	267	2,63
<b>2</b>	257	513	1,36
<b>3</b>	40	80	8,75
<b>4</b>	190	360	1,84
<b>5</b>	133	267	2,63
<b>6</b>	67	133	5,25
<b>7</b>	33	66	10,50
<b>8</b>	33	66	10,50
<b>9</b>	33	66	10,50

**Fonte:** Autoria própria

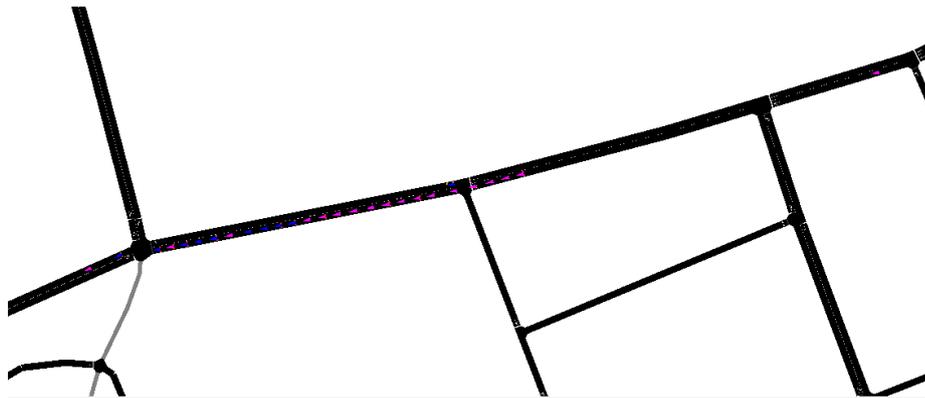
De posse dos valores apresentados na Tabela 7 simula-se o cenário proposto 2. A Figura 10 representa o fluxo de veículos na Rodovia Ivo Silveira. A Figura 11 representa o fluxo de veículos na Rua Aristiliano Ramos enquanto que a Figura 12 mostra o fluxo de veículos na Rodovia SC-412.

**Figura 10** – Fluxo de veículos na Rodovia Ivo Silveira



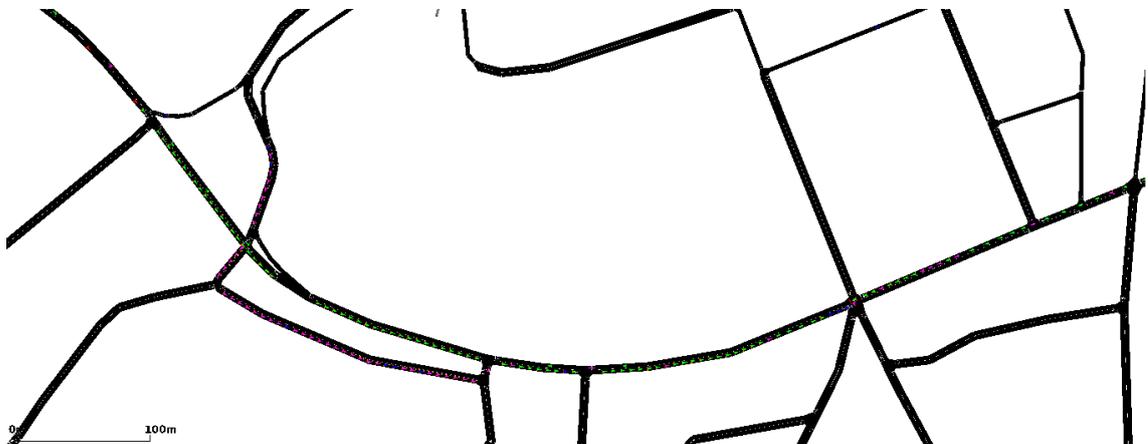
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 11** – Fluxo de veículos na Rua Aristiliano Ramos



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 12** – Fluxo de veículos na Rodovia SC-412



**Fonte:** Autoria própria

Ao final do tempo de simulação pré definido, o arquivo de relatórios é gerado e analisado de acordo com as variáveis a serem estudadas.

#### 4.4.2.2 Cenário 3 – Redução de 50%

Este cenário utiliza, como consequência da otimização do fluxo de veículos na cidade de Gaspar o mesmo fator que o cenário 2, construção do Contorno Viário de Gaspar e a duplicação da BR-470. Porém nesse caso, o fluxo de veículos que trafega na região central da cidade de Gaspar é reduzido em 50%. A Tabela 8 representa os valores de fluxo de veículos e período para essa redução.

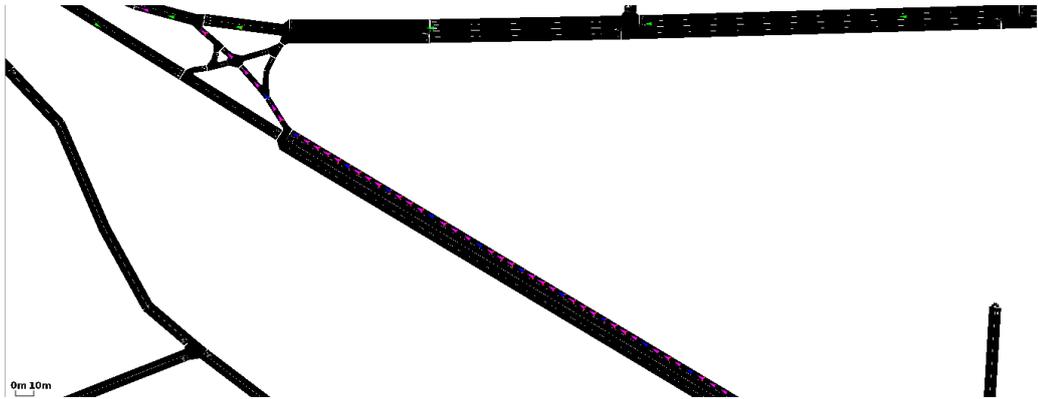
**Tabela 8 - Características dos caminhos**

<b>Rotas</b>	<b>Fluxo diário (50% redução)</b>	<b>Fluxo dobrado (HP)</b>	<b>Período (s)</b>
<b>1</b>	83	167	4,20
<b>2</b>	160	321	2,18
<b>3</b>	25	50	14,00
<b>4</b>	119	238	2,95
<b>5</b>	83	167	4,20
<b>6</b>	42	83	8,40
<b>7</b>	21	42	16,80
<b>8</b>	21	42	16,80
<b>9</b>	21	42	16,80

**Fonte:** Autoria própria

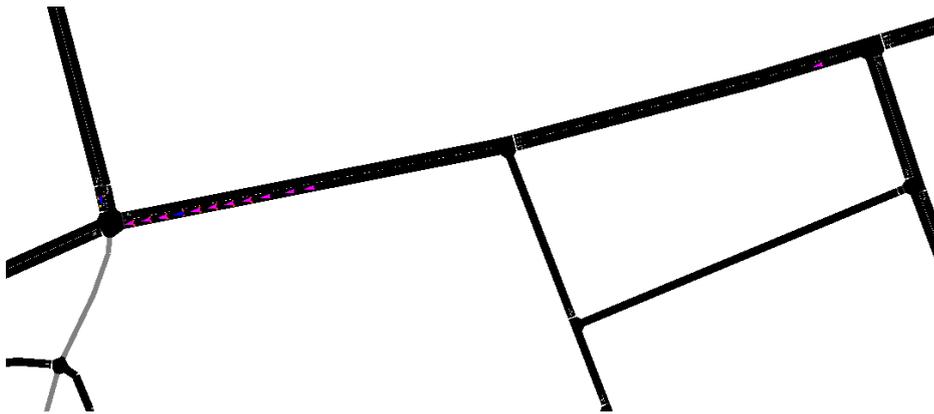
Após as devidas alocações de fluxos à suas respectivas vias, a simulação desse cenário é realizada e seu relatório gerado. As imagens a seguir representam a situação do tráfego de veículos na cidade de Gaspar. A Figura 13 representa a Rodovia Ivo Silveira, a Figura 14 o fluxo de veículos na Rua Aristiliano Ramos, e a Figura 15 a situação da Rodovia SC-412.

**Figura 13 – Rodovia Ivo Silveira**



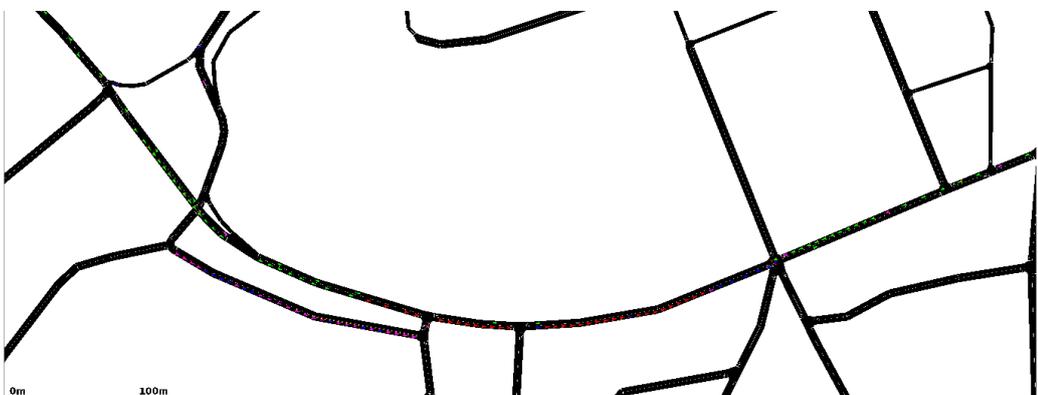
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 14 – Rua Aristiliano Ramos**



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 15 – Rodovia SC-412**



**Fonte:** Autoria própria

Ao final das três simulações realizadas, pode-se fazer a análise das variáveis e a comparação entre os cenários, analisando quais foram às mudanças ocorridas no tráfego da região central da cidade de Gaspar.

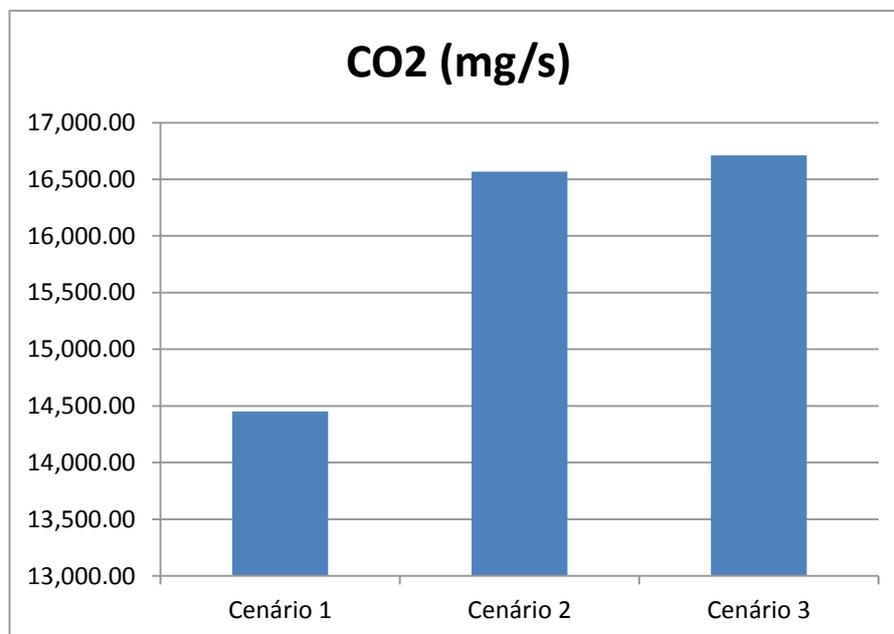
## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo realizada a simulação dos três cenários propostos, os seus respectivos arquivos de resultados foram gerados e as seguintes variáveis analisadas:

- $CO_2$  (mg/s): a quantidade de  $CO_2$  emitida por veículo;
- CO (mg/s): a quantidade de CO emitida por veículo;
- *Speed* (km/h): velocidade média do veículo;
- *Waiting* (s): o tempo que o veículo está esperando;
- *Noise* (dB): o barulho emitido pelo veículo;
- $NO_x$  (mg/s): quantidade de óxido de nitrogênio emitido por veículo;
- *Fuel* (ml/s): quantidade de combustível gasto por veículo.

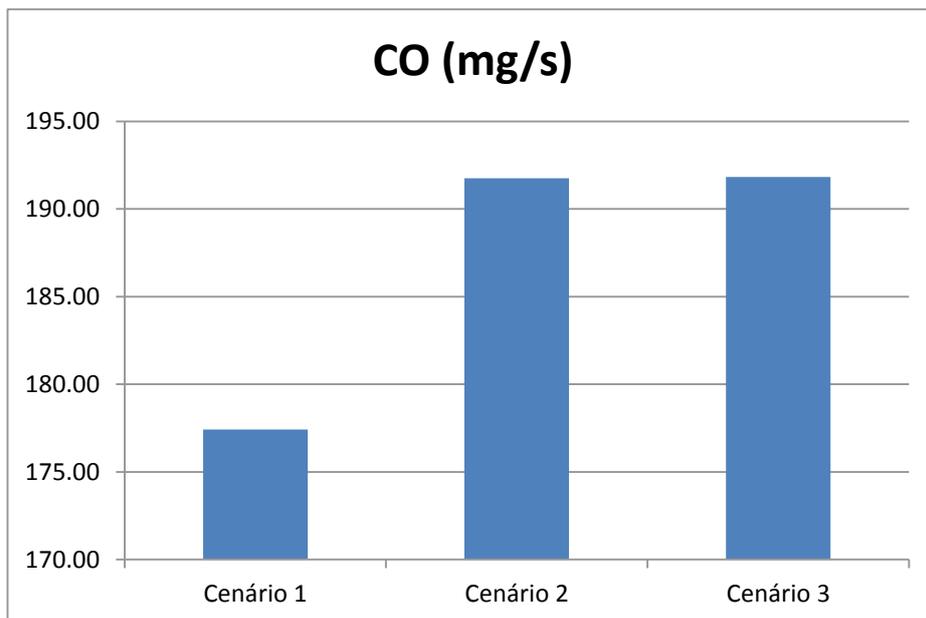
Essas variáveis são filtradas e faz-se uma média de cada uma delas, por rota, por cenário. Os gráficos a seguir representam os valores das variáveis nos três cenários.

**Gráfico 1** – Quantidade de  $CO_2$  emitida por cenário



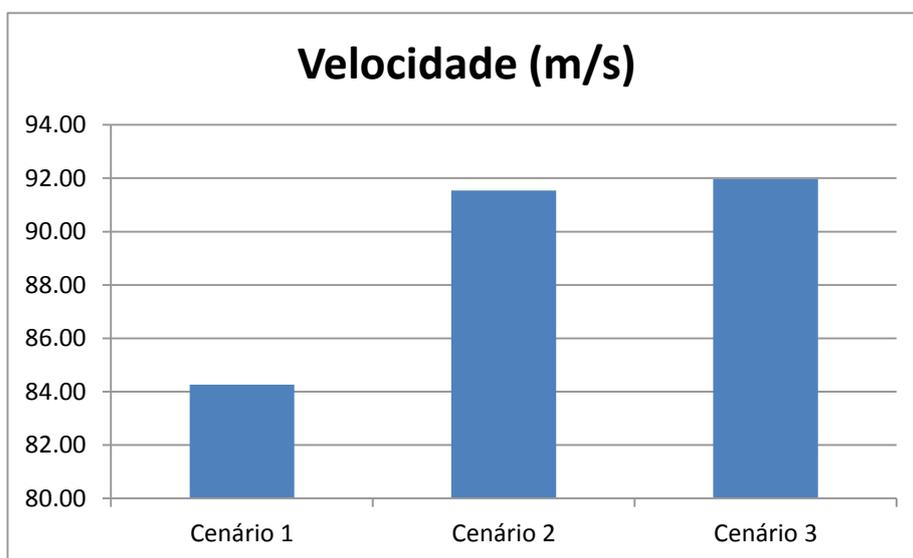
**Fonte:** Autoria própria

**Gráfico 2 – Quantidade de CO emitida por cenário**



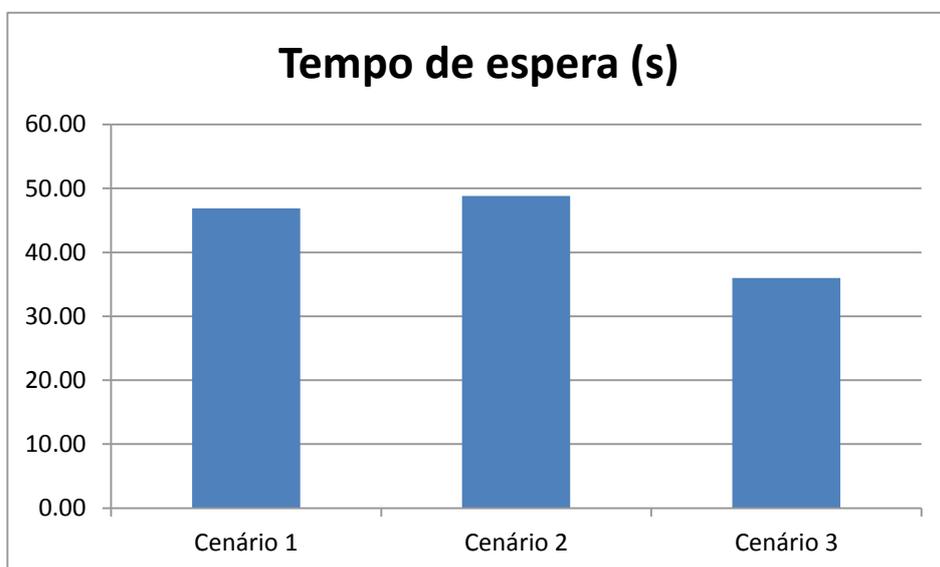
Fonte: Autoria própria

**Gráfico 3 – Velocidade por cenário**



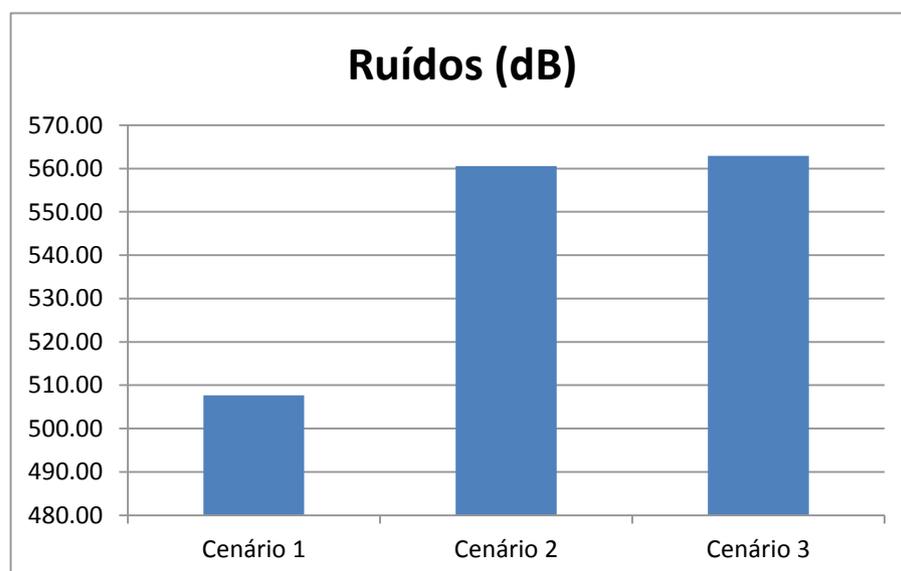
Fonte: Autoria própria

**Gráfico 4 – Tempo de espera por cenário**



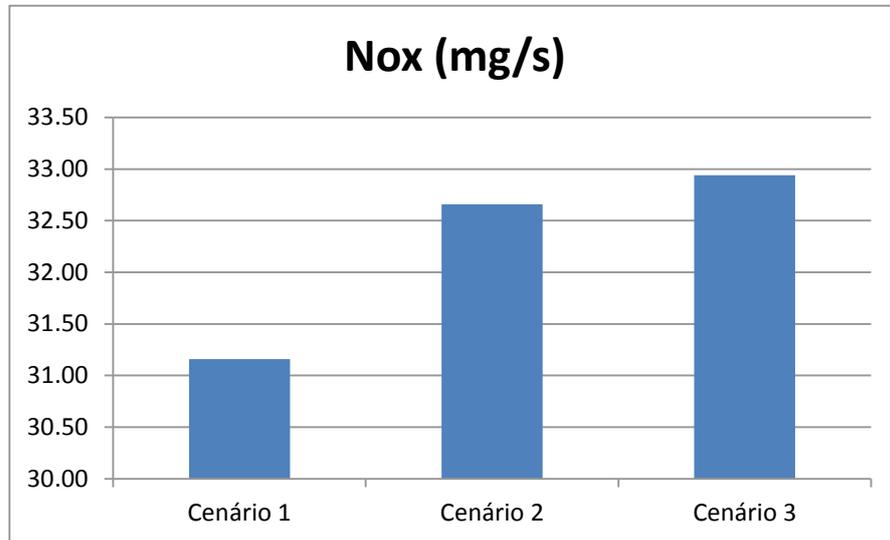
**Fonte:** Autoria própria

**Gráfico 5 – Emissão de ruídos por cenário**



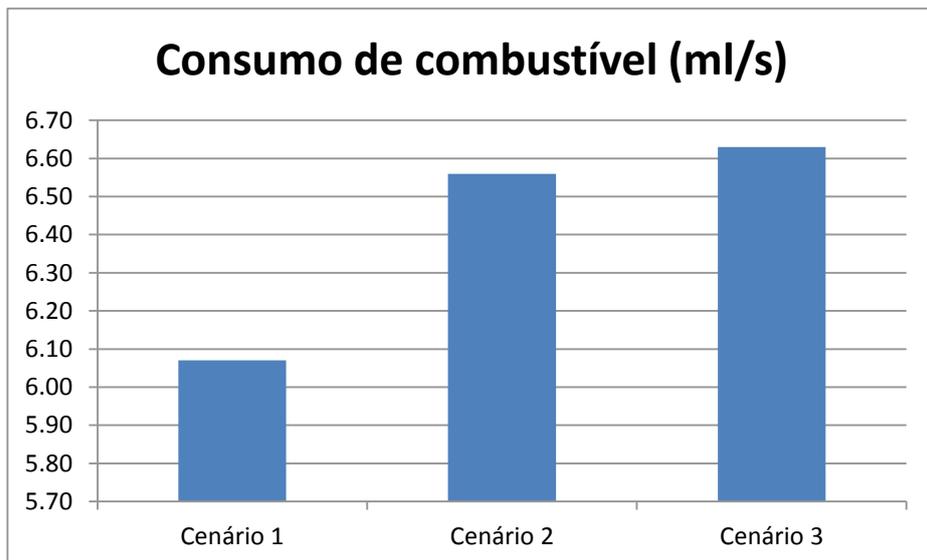
**Fonte:** Autoria própria

**Gráfico 6 – Emissão de NOx por cenário**



**Fonte:** Autoria própria

**Gráfico 7 – Consumo de combustível**



**Fonte:** Autoria própria

Assim, ao final deste capítulo as mesmas variáveis são comparadas e analisadas para saber quais foram às mudanças ocorridas na região central da

cidade de Gaspar em função de uma redução no fluxo de veículos. A Tabela 9 contém os valores médios de cada variável analisada, por rota, para o cenário atual.

**Tabela 9** – Resultado da simulação do cenário atual

<b>Rotas</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg/s)</b>	<b>CO (mg/s)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Tempo de espera (s)</b>	<b>Ruído (dB)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/s)</b>	<b>Combustível (ml/s)</b>
<b>1</b>	1.109,39	12,89	5,51	6,55	59,43	2,12	0,44
<b>2</b>	2.519,24	31,11	16,89	0,61	66,60	5,07	1,00
<b>3</b>	1.301,80	16,29	8,38	10,20	61,19	2,56	0,51
<b>4</b>	1.888,96	22,19	10,52	4,29	62,71	3,74	0,75
<b>5</b>	1.696,24	18,08	8,66	4,81	61,53	3,31	0,67
<b>6</b>	3.175,33	35,88	15,57	0,30	66,51	6,33	1,26
<b>7</b>	1.508,59	16,19	8,05	5,42	61,08	2,92	0,60
<b>8</b>	1.252,37	14,62	6,58	9,56	60,12	2,43	0,49
<b>9</b>	897,37	10,17	4,10	5,15	58,52	2,68	0,35

**Fonte:** Autoria própria

As mesmas variáveis são obtidas para o segundo cenário, lembrando que os valores contidos nas tabelas representam a média por rota, apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10** – Resultados da simulação do cenário 2

<b>Rotas</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg/s)</b>	<b>CO (mg/s)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Tempo de espera (s)</b>	<b>Ruído (dB)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/s)</b>	<b>Combustível (ml/s)</b>
<b>1</b>	1.008,51	11,25	4,65	7,24	58,89	1,89	0,40
<b>2</b>	2.520,26	31,28	16,97	0,81	66,65	5,08	1,00
<b>3</b>	1.524,26	18,64	9,84	10,11	62,11	3,01	0,60
<b>4</b>	1.564,17	18,40	8,63	6,74	61,44	3,08	0,62
<b>5</b>	2.317,64	26,97	12,79	2,13	62,24	4,61	0,92
<b>6</b>	3.261,89	36,23	15,76	0,17	66,71	6,50	1,30
<b>7</b>	1.415,98	15,13	7,72	5,37	60,90	2,74	0,56
<b>8</b>	1.928,83	23,14	11,18	8,23	63,07	3,84	0,76
<b>9</b>	1.027,21	10,72	4,00	8,03	58,54	1,91	0,40

**Fonte:** Autoria própria

A tabela de variáveis também é montada para o cenário proposto 3, ao passo de que ao final dessa tabela as análises foram realizadas, valores apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** – Resultados da simulação do cenário 3

<b>Rotas</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg/s)</b>	<b>CO (mg/s)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Tempo de espera (s)</b>	<b>Ruído (dB)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/s)</b>	<b>Combustível (ml/s)</b>
<b>1</b>	1.010,89	11,34	4,82	5,01	59,00	1,91	0,40
<b>2</b>	2.513,25	31,00	16,86	1,01	66,60	5,07	1,00
<b>3</b>	1.558,48	19,00	9,94	6,64	62,19	3,09	0,62
<b>4</b>	2.092,09	24,37	11,73	3,29	63,51	4,15	0,83
<b>5</b>	1.884,63	21,53	10,26	3,67	62,52	3,72	0,75
<b>6</b>	3.217,15	35,62	15,54	0,27	66,55	6,40	1,28
<b>7</b>	1.723,15	18,66	9,53	4,13	62,06	3,36	0,68
<b>8</b>	1.680,39	19,46	9,15	6,58	61,84	3,31	0,66
<b>9</b>	1.031,65	10,84	4,14	5,39	58,63	1,93	0,41

**Fonte:** Autoria própria

A análise dos resultados obtidos está dividida em duas partes, primeiro são comparados os cenário atual e o cenário 2, sendo que posteriormente são comparados os cenários atual e o cenário 3, para assim poder saber quais foram as mudanças que ocorreram com a redução dos fluxos de veículos na região central da cidade de Gaspar. O foco é uma análise por rotas. Primeiro a rota 1 é analisada e posteriormente as demais, até que todas as rotas tenham sido analisadas. Lembrando que as simulações ocorreram considerando o horário de pico na cidade de Gaspar, assim os valores apresentados por rota não sofreram grandes alterações, caso que ocorreria em horários de fluxo de veículos menores.

### 5.1 Análises dos cenários atual e cenário 2

Nesta primeira análise, utiliza-se os dados presentes nas tabelas 9 e tabela 10, para análise dos valores encontrados.

Para a rota 1, a redução do fluxo de veículos gera resultados diferentes em termos de tráfego em relação ao cenário atual, devido ao fato de que durante seu percurso os veículos enfrentam alguns empecilhos para a realização de uma velocidade maior. Por exemplo, quando em contato com a Rodovia SC-412 perdem a preferência do movimento, e como o fluxo de veículos na SC-412 é superior ao da Rodovia Ivo Silveira, os veículos da última tem que esperar antes do cruzamento para que possam se deslocar, fato que leva a formação de filas na mesma, e assim é gasto um tempo maior de espera por veículo (10,53%). Apesar de a velocidade ter sofrido redução (15,6%), os dados gerados na simulação mostram que existe

redução da emissão de gases poluentes  $CO_2$  (9,09%), CO (12,72%) e  $NO_x$  (10,84%), bem como uma redução do ruído causado (0,90%) e do combustível gasto (9,09%).

Para a rota 2, a redução do fluxo de veículos que trafegam na mesma gera um aumento na velocidade de cada veículo (0,47%). Uma vez que quando trafegando pela Rodovia o veículo tem a preferência de movimento, sendo assim o mesmo só irá perder um pouco de velocidade quando passar por rotatória ou pelo sinaleiro presentes na via. Em contrapartida, houve um aumento da emissão de gases poluentes  $CO_2$  (0,04%), CO (0,54%) e  $NO_x$  (0,19%), bem como uma maior emissão de ruído (0,075%) e mesmo consumo de combustível.

Para rota 3, a redução do fluxo de veículos gera um aumento da velocidade (17,42%) e uma redução do tempo de espera de cada veículo (0,88%). Fato que pode ser explicado pela rota que os veículos fazem. Devido à redução do fluxo de veículos total presentes na simulação, por exemplo, a Rua Aristiliano Ramos (rua central da cidade) estará menos congestionada assim os veículos podem passar por ela mais rapidamente. Na maior parte do percurso realizado, a velocidade desenvolvida por cada veículo aumenta. Porém com o aumento da velocidade surge um aumento do ruído emitido por cada veículo presente na via (1,50%), maior consumo de combustível (17,6%) bem como uma maior emissão de gases poluentes  $CO_2$  (17,08%), CO (14,42%) e  $NO_x$  (17,57%).

A rota 4, apresenta redução da velocidade praticada pelos veículos na via (17,96%). Fato que pode ser proveniente dos próprios empecilhos presentes na SC-412 e o cruzamento da rodovia com a Rodovia Ivo Silveira, nele os veículos oriundos da SC-412 não tem a preferência do movimento tendo assim que esperar para poder continuar seu percurso, fator que aumenta o tempo de espera nessa rota (57,10%). Porém os veículos presentes na rota ainda conseguem reduzir sua emissão de gases poluentes  $CO_2$  (17,19%), CO (17,07%) e  $NO_x$  (17,64%) além da diminuição do ruído (0,97%) e menor gasto de combustível (17,33%).

Na rota 5 os dados obtidos por simulação indicam um aumento da velocidade dos veículos (47,69%) e conseqüentemente menor tempo de espera (55,71%). Esse aumento de velocidade pode-se dar pelo fato de que para acessar a Rodovia Ivo Silveira, os veículos não têm nenhum impedimento ao movimento fator

que aumenta a velocidade praticada nesse trecho. Juntamente com o aumento da velocidade ocorre um aumento do ruído emitido pelos veículos (1,15%), maior consumo de combustível (37,31%) e maior emissão dos gases poluentes  $CO_2$  (36,6%), CO (49,17%) e  $NO_x$  (39,27%).

No caso da rota 6 os veículos apresentam um aumento na velocidade praticada (1,22%), e conseqüentemente uma redução do tempo de espera (43,3%). Como o fluxo de veículos diminuiu, e os mesmos têm preferência de movimento quando em contato com os veículos vindos do centro da cidade de Gaspar e a velocidade acaba por sofrer um pequeno aumento. Porém, com o aumento da velocidade, surge o aumento da emissão de gases poluentes (2,72%  $CO_2$ , 0,97% CO e 2,68%  $NO_x$ ), do ruído (0,30%) e acabam por consumir mais combustível (3,17%).

Para a 7 rota é encontrado um valor para a velocidade dos veículos menor que no cenário atual (4,09%). Mesmo com a redução da quantidade de veículos presentes na rota em questão, eles continuam sofrendo interferência por parte de outras rotas que são mais congestionadas, ou seja, em alguns trechos os veículos praticam velocidades mais altas enquanto que em outros ela é mais baixa. Devido a essa variação entre trechos mais congestionados e outros menos congestionados, o tempo de espera (0,92%) e os ruídos emitidos (0,29%) acabam por sofrer uma pequena redução, juntamente com a redução da emissão de gases poluentes (6,13%  $CO_2$ , 6,54% CO e 6,16%  $NO_x$ ) e do consumo de combustível (6,66%).

A rota 8 faz uso de trechos menos congestionados na cidade de Gaspar, juntando isso a redução do fluxo de veículos realizada, a velocidade dos veículos aumentou (69,9%) e o tempo de espera diminuiu (13,91%). Mas como consequência desse aumento da velocidade existe o maior consumo de combustível (55,10%), maior ruído (4,90%) e emissão de gases poluentes (54,01%  $CO_2$ , 58,27% CO e 58,02%  $NO_x$ ).

Para a rota 9 a velocidade reduziu (2,43%). Apesar de haver uma redução do fluxo de veículos eles ainda sofrem interferências em seu trajeto. Durante o retorno, os veículos utilizam a SC-412 onde existem empecilhos a prática de uma velocidade maior. Mesmo com a velocidade reduzida, existiu para essa rota, um

aumento da emissão dos gases poluentes  $CO_2$  (14,46%) e CO (5,40%), um maior tempo de espera (55,92%) e maior consumo de combustível (14,28%).

Como resultado da primeira análise, ou seja, cenário atual e cenário 2, pode-se verificar que algumas rotas obtiveram uma velocidade por veículo aumentada, e por consequência uma melhoria do tempo de espera pelos veículos. As rotas 2, 3, 5, 6 e 8 representam essa mudança positiva em relação a trafegabilidade na região central da cidade de Gaspar. No entanto as demais vias simuladas e analisadas, a rota 1, a 4, a 7 e a 9, apresentam redução da velocidade praticada por veículo.

## 5.2 Análise dos cenários atual e cenário 3

A segunda análise obteve seus dados a partir das tabelas 9 e 11, apresentadas na seção anterior.

Na rota 1 há uma redução da emissão do gás CO (12,02%),  $CO_2$  (8,87%) e  $NO_x$  (9,90%) e do ruído emitido pelos veículos (0,72%). Há também uma redução do tempo de espera por veículo (23,51%), do consumo de combustível (9,09%) e na velocidade média dos veículos (12,52%).

A análise dos valores gerados pela simulação na rota 2 mostra que a velocidade sofre uma pequena redução (0,17%) pois empecilhos no trajeto impedem a prática de velocidade maiores, mas o tempo de espera acabou aumenta um pouco (65,57%). No entanto, há redução da emissão de gases poluentes (0,23%  $CO_2$  e 0,35% CO). Em relação ao consumo de combustível por veículo, ruído emitido e emissão de  $NO_x$ , os valores não sofrem alteração.

Para a rota 3, junto com a redução do fluxo de veículos houve um aumento de velocidade (18,61%) e redução do tempo de espera dos veículos (34,90%). Haja vista que essa rota é formada de trechos onde o fluxo de veículos é menor do que nas demais rotas. Como consequência de uma velocidade praticada maior, há um maior consumo de combustível (21,56%) e maior ruído gerado por veículo (1,63%), além de emitir mais gases poluentes ao meio ambiente (19,71%  $CO_2$ , 16,63% CO e 20,70%  $NO_x$ ).

Para a rota 4 há um aumento da velocidade nos veículos (11,50%) e redução do tempo de espera dos mesmos na simulação (23,31%). Entretanto, para

essa rota a emissão de gases poluentes (10,75%  $CO_2$ , 9,82% CO e 10,96%  $NO_x$ ) aumenta o ruído ocasionado pelos veículos (1,27%) também aumenta bem como o consumo de combustível (10,66%).

Na rota 5 a redução do fluxo de veículos apresenta como pontos positivos o aumento da velocidade (18,47%) e a redução do tempo de espera por veículo (23,70%), porém as consequências disso são o aumento da emissão de gases poluentes (11,10%  $CO_2$ , 19,08% CO e 12,38%  $NO_x$ ), do ruído gerado (1,60%) e do consumo de combustível (11,94%).

Para a rota 6 a redução do fluxo de veículos gera uma pequena redução da velocidade praticada pelos veículos (0,19%), redução da emissão do gás CO (0,72%) e do tempo de espera (10%). Além disso pode ser observado um aumento na emissão do gás  $CO_2$  (1,31%) e  $NO_x$  (1,10%), aumento do consumo de combustível por veículo presente na rota (1,58%) e aumento do ruído emitido pelos veículos (0,06%).

A rota 7 apresenta valores maiores de velocidade (18,38%) e menor de tempo de espera por veículo na via (23,80%). Porém a emissão de gases poluentes aumenta (14,22%  $CO_2$ , 15,25% CO e 15,06%  $NO_x$ ), bem como o ruído gerado (1,60%), além dos veículos consumirem mais combustível para realizar seu trajeto (13,33%).

A rota 8 apresenta valores maiores para a velocidade dos veículos (39,05%) e menores para o tempo de espera dos mesmos nas vias por onde passa (31,17%). Outra análise realizada é de que a emissão de gases poluentes aumentou (34,17%  $CO_2$ , 33,10% CO e 36,21%  $NO_x$ ), juntamente com o ruído causado (2,86%) e o consumo de combustível por cada veículo (34,69%).

A última rota analisada, a rota 9, apresenta melhora na velocidade dos veículos que a utilizam (0,97%), porém os mesmos emitem mais gases poluentes (14,96%  $CO_2$  e 6,58% CO), emitem mais ruído (0,32%) e consomem mais combustível para percorrer toda a rota (17,14%). O tempo de espera também apresenta valores maiores nessa simulação (4,66%), enquanto que a emissão de  $NO_x$  é reduzida em 27,98%.

Para essa comparação, pode-se observar que seis rotas sofreram melhoria em termos de tráfego. Sendo elas as rotas 3,4,5,7,8 e 9. Porém a rota 1, a 2 e a 6 apresentaram diminuição da velocidade praticada pelos veículos. Comparando com a análise do cenário atual com o cenário 2, o cenário 3 consegue melhorar o tráfego em uma nova via.

A partir dos dados gerados para os três cenários simulados é possível observar que uma redução no fluxo de veículos, no horário de pico, pode resultar em melhorias para a trafegabilidade de algumas rotas simuladas do sistema viário da cidade de Gaspar, através do aumento da velocidade praticada pelos veículos. Ligado a esse fator, a redução do tempo de espera nas vias também é um ponto relevante no estudo do tráfego urbano, uma vez que a mesma representa o tempo em que os veículos ficam nas vias sem que haja movimento dos mesmos. Quanto maior for o tempo de espera, mais congestionado o sistema está, logo, menor é a velocidade com que os veículos conseguem trafegar. Para a presente simulação as vias com o menor fluxo de veículos e menor interferência no percurso, apresentaram valores menores no tempo de espera.

Outra análise dos cenários tem relação com a poluição provocada pelos veículos. Em muitas das rotas a emissão do gás poluente  $CO_2$  se deu em grande quantidade, enquanto que dos gases  $CO$  e  $NO_x$  a quantidade gerada foi consideravelmente menor. Ainda em relação à poluição, a análise contou com a geração de valores para o ruído gerado por veículo nas rotas, quanto maior a velocidade praticada maior é a emissão de barulho pelo veículo.

A análise dos dados referentes às simulações tem por objetivo mostrar o quanto de cada variável o cenário traria como resultado, tanto para a questão operacional de tráfego em vias quanto em questão ambiental, para assim poder comparar os cenários e mostrar as diferenças entre eles.

Assim, ao final de todas as análises realizadas, o trabalho pode ser concluído, junto a isso foram indicadas as limitações encontradas na elaboração e execução desse trabalho, bem como sugestões para futuros trabalhos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, foram analisados três cenários com diferentes situações de tráfego na região central da cidade de Gaspar, sendo que todos simulam o fluxo de veículos em horário de pico.

O cenário 1, apresentado no item 4.4.1, buscou retratar o cenário mais próximo do real em termos de fluxo de veículos. Nele, nenhuma redução no fluxo de veículo foi realizada. De acordo com os dados obtidos pela simulação e pela distribuição final dos veículos nas vias simuladas, foi possível perceber que as Rodovias SC-412 e Rodovia Ivo Silveira são as mais congestionadas durante o horário de pico.

Levando-se em consideração duas melhorias futuras, a duplicação da BR-470 e a construção do Contorno Viário de Gaspar, dois novos cenários foram criados. Em ambos os casos uma redução hipotética dos fluxos de veículos foi realizada. Primeiramente, foram reduzidos em 20% e na segunda simulação os fluxos foram reduzidos em 50%.

A redução de 20% do fluxo de veículos na região central da cidade de Gaspar foi considerada. A nova configuração dos fluxos foi então simulada e como resultado obteve-se novos valores para as variáveis em análise. Para essa configuração observou-se que a Rua Aristiliano Ramos sofreu uma redução do número de veículos, o que provoca uma melhor fluidez no centro da cidade de Gaspar. Nesse cenário cinco vias simuladas apresentaram melhorias em termos de velocidade e tempo de espera.

Considerando uma redução de 50% do fluxo de veículos na região central da cidade de Gaspar, uma terceira simulação foi realizada. A mesma apresentou velocidades maiores para a Rua Aristiliano Ramos, via central da cidade de Gaspar. Além de melhorar a velocidade reduziu o tempo de espera de 6 rotas simuladas.

Este trabalho poderá contribuir para o Plano Diretor e Plano de Mobilidade da cidade de Gaspar, devido à simulação realizada na região central da cidade de

Gaspar. A mesma poderá ajudar a avaliar o grau de mobilidade da área de estudo, bem como servir para análise de futuras melhorias do sistema viário de Gaspar.

Com relação as limitações encontradas nas etapas para realizar esse trabalho, que envolve tanto a fundamentação teórica, simulação e análise de resultados, a maior problemática encontrada foi em relação à falta de mais dados de contagem do fluxo de veículos presentes nas vias da cidade de Gaspar e do valor da capacidade de Rodovia SC-412.

Outra problemática é que o DITRAN (Departamento de Trânsito da cidade de Gaspar) não possui uma projeção de qual percentual irá reduzir o fluxo de veículos na Rodovia SC-412 com a finalização do Contorno Viário de Gaspar, assim para a realização das simulações dos cenários propostos uma projeção hipotética foi utilizada. Haja vista que ao se utilizar de simulação para análises de casos, pretende-se estar o mais próximo possível da realidade, porém com a falta de alguns dados os mesmos tiveram que ser definidos com um valor representativo.

Para a simulação onde a área de estudo é importada do programa *Open Street Map* e exportada para o *software* SUMO, algumas sobreposições de vias surgem quando se converte o arquivo de extensão “.osm” para o arquivo de extensão “.xml”. Com isso na rotatória presente na Avenida das Comunidades (nome dado a Rodovia SC-412 na cidade de Gaspar) ocorre um atraso dos veículos na passagem pela mesma. Caso o *software* SUMO conseguisse construí-la de maneira correta, os veículos passariam por ela com maior facilidade e menor tempo. Não interferindo nos valores obtidos.

Por se tratar da análise de redução do tráfego em uma cidade de pequeno porte, é difícil encontrar na literatura algum referencial teórico voltado para o problema de tráfego em cidades desse tipo.

Pensando nos trabalhos futuros que podem ser realizados a partir desse aqui apresentado, algumas sugestões podem ser consideradas:

- O presente trabalho não analisou todas as vias da cidade de Gaspar, tampouco apresentou resultados definitivos, porque as limitações impostas

com relação aos dados de fluxo de veículos e suas origens/destinos dificultam de certa forma na obtenção de resultados mais detalhados e específicos. Trabalhos futuros poderão analisar e simular outras vias da cidade de Gaspar, bem como considerar outras variáveis para análise.

- Análise do Plano Diretor e Plano de Mobilidade da cidade de Gaspar para que novas rotas ligando a cidade de Gaspar à cidade de Blumenau sejam definidas, assim o fluxo de veículos na região central da cidade de Gaspar seria reduzido gerando maior fluidez na área de estudo.

## REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARCELÓ, J. **Fundamentals of Traffic Simulation, International Series in Operations Research & Management Science.[S.1]**: Springer Science Business Media, 2010.

BEHRISCH, Michael,. BIEKER, Laura,. ERDMANN, Jakob,. e KRAJZEWICZ, Daniel. (2011). **SUMO – Simulation of Urban Mobility, An Overview**. Institute of Transportation Systems, 2011.

BOARETO, Renato (2003) **“A Mobilidade Urbana Sustentável”** Revista dos Transportes Públicos, nº 100 – ANTP, São Paulo, 2003.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Plano diretor participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos**. Brasília: Confea, (2001a).

BRASIL, Estatuto das cidades. **Guia para implementação pelos municípios e cidadãos**. Brasília, Confea, (2001b).

BRASIL, Ministério das Cidades. **“Política Nacional de Desenvolvimento Urbano”** Cadernos MCidades nº 1 – Ministério das Cidades, Brasília, (2004a).

BRASIL, Ministério das Cidades (2004b). **“Plano Diretor Participativo: Guia para a Elaboração pelos Municípios e Cidadãos”** Ministério das Cidades, Brasília, 2004.

BRASIL, Ministério das Cidades (2005a). **“Mobilidade Urbana é Desenvolvimento Urbano”** Ministério das Cidades, Brasília, 2005.

BRASIL, Ministério das Cidades (2005b). **Mobilidade e Política Urbana: subsídios para uma gestão integrada**. Rio de Janeiro: IBAM, 2005.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em vigor**. Brasília, 2008.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília: Confea, 2013.

BRASIL. (2001) Lei 10.257 de 10 de julho de 2001: **Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília: Congresso Nacional.

CASTRO, Bruno Almeida Cunha de. **Construção de Estradas e Vias Urbanas**. Belo Horizonte: Bruno Almeida Cunha de Castro, 2001.

CUCCI NETO, João. **Engenharia de Tráfego Urbano**. São Paulo, 2011.

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Instrução de Serviço para Estudo de Tráfego**. Porto Alegre, 2010.

DENATRAN. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. **Sinalização Semafórica**. Volume V, 2012.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Contagem Volumétrica**. Gaspar. 2015.

DER/SP. Departamento de Estradas de Rodagem. **Projeto Geométrico**. São Paulo, 2006.

DITRAN. Departamento de Trânsito da cidade de Gaspar. **Dados fluxo de veículos**. Gaspar, 2015.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1999.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias**. Rio de Janeiro, 2010.

DOMÍCIO, Herculano. **Trânsito: Estratégias contra o gargalo da Avenida das Comunidades**. 2013. Disponível em: <<http://cruzeirodovale.com.br/geral/transito-estrategias-contr-o-gargalo-da-avenida-das-comunidades/>>. Acesso em: 25 out. 2015.

FREITAS, Maxsoel Bastos de. **Transporte rodoviário de cargas e sua respectiva responsabilidade civil**. Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 9, n. 314.

FRESARD, Francisco. **Contorno de Gaspar terá projeto**. 2011. Disponível em: <<http://wp.clicrbs.com.br/pancho/2011/12/22/contorno-de-gaspar-tera-projeto/?topo=77,1,1>>. Acesso em: 07 dez. 2015.

GOMES, G., MAY, A. E HOROWITZ, R. (2003) A Microsimulation Model of a Congested Freeway using VISSIM. Transportation Research Record 1876, TRB, National Research Council, Washington D.C., 2003. pp. 71-81.

HALLMANN, Henrique Vieira. Comparação entre *Softwares* Simuladores de Trânsito. 2011. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados de Gaspar**, 2015. Disponível em:

<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=4205902>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

INSIGNARES, M. S e TERRY, D.C. ***Geographic Information Systems in Traffic Control. JHK And Associates, Compendium of Technical Papers***, Institute of Transportation Engineering. Washington, DC . 1991.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Comunicado 128 – a nova lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana**. Brasília: Ipea, 2012.

KRAJZEWICZ, Daniel., HERTKORN, Georg., WAGNER, Peter e RÖSSEL, Christian. ***SUMO (Simulation of Urban Mobilitu) An open-source traffic simulation. German Aerospace Centre and Centre for Applied Informatics Cologne***, 2002.

LOURENÇO, M. H.D.T. **Simulação de operações preferenciais de ônibus urbanos em vias arteriais: Uma metodologia para avaliação da implantação de faixas exclusivas segundo o critério de tempo do usuário**. Programa de engenharia de transportes. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1981.

MARTINS, Débora Fonseca Resende. **A intermodalidade como alternativa ao uso exclusivo do modo rodoviário no transporte de veículos: um estudo de caso**. Florianópolis, 2009.

MAY, A.D. ***Traffic Flow Fundamentals***. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.

MONTEIRO, Pedro Felipe de Oliveira. **Classificação funcional e estudo de características técnicas de vias urbanas em João Pessoa-PB**. João Pessoa, 2011.

OLIVEIRA, Tom. **Fluxo de veículos nas rodovias deve aumentar 30% no feriado**. 2015. Disponível em: <[http://www.cbnribeirao.com.br/noticias/cidades/cidades\\_internaNOT.aspx?idnoticia=1107982](http://www.cbnribeirao.com.br/noticias/cidades/cidades_internaNOT.aspx?idnoticia=1107982)>.

PLANMOB - Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte. **Relatório Final**. Belo Horizonte, 2010.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2005.

RICHARDSON, A. J. ***Traffic Simulation – Its Potential contribution to road planning and research. Workshop on rural Traffic Simulation, Australian Road Research Centre, Melbourne, Austrália***, 1983.

SANTOS, Paula dos. **Mais rápida e prática, SP-310 vira atalho para fugir do trânsito**. 2015. Disponível em: <[http://www.araraquara.com/noticias/cidades/cidades\\_internaNOT.aspx?idnoticia=1059600](http://www.araraquara.com/noticias/cidades/cidades_internaNOT.aspx?idnoticia=1059600)>.

SCHIMITT, Gilberto. **Haja paciência no trânsito das ruas centrais de Gaspar**. 2012. Disponível em: <<http://www.cruzeirodovale.com.br/geral/haja-paciencia-no-transito-das-ruas-centrais-de-gaspar/>>.

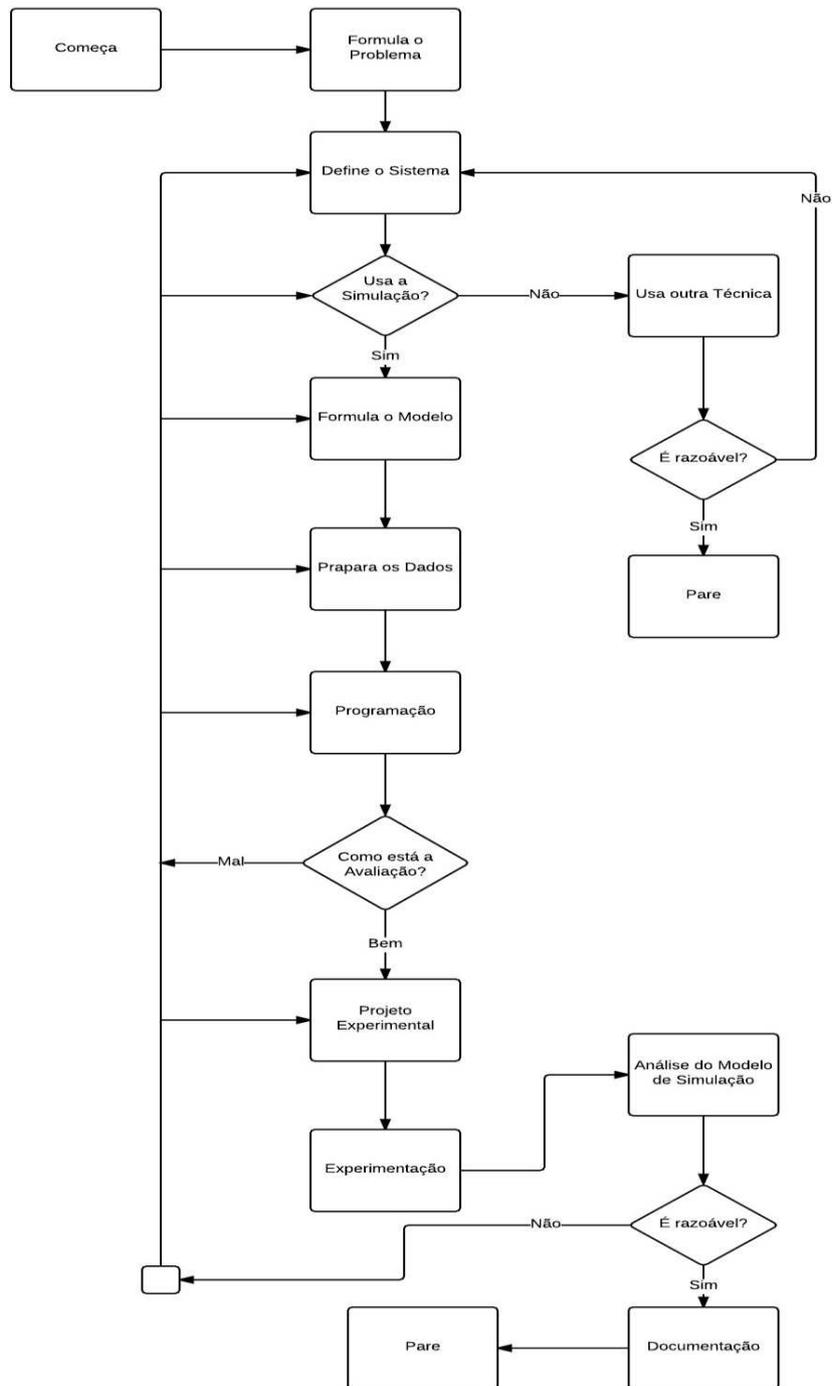
SHANNON R.E., *Introduction to the Art and Science of Simulation*. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. Texas, 1977.

TAVARES, Daniel Mariz. **Método para análise de pólos geradores de viagens utilizando ferramentas de microsimulação**. Brasília, 2011.

VILARINHO, Cristina Alexandra Teixeira. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas**. Porto, 2008.

## ANEXOS

### Anexo I - Fluxograma lógico das etapas de formação da simulação.



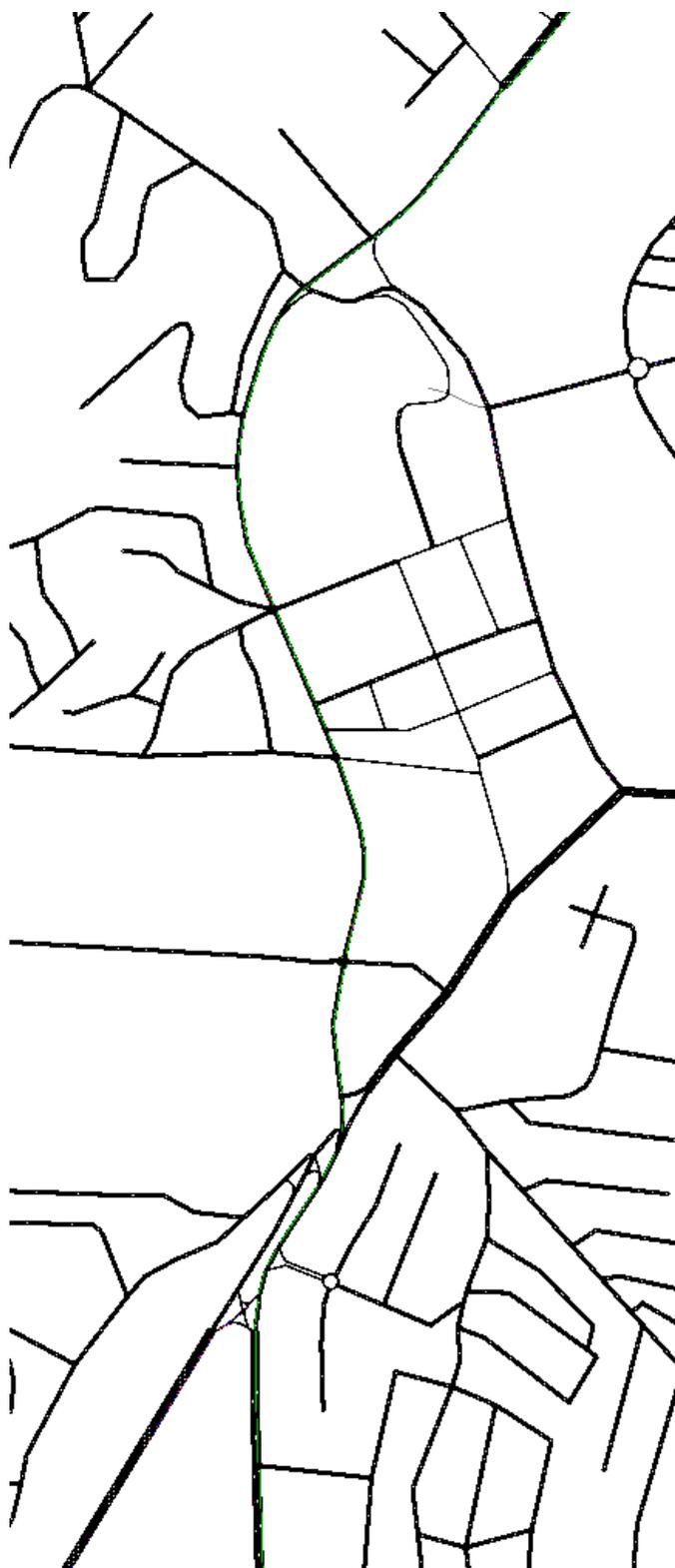
Fonte: Adaptado de SHANNON, 1977

Anexo II – Rota 1 representada pela linha rosa



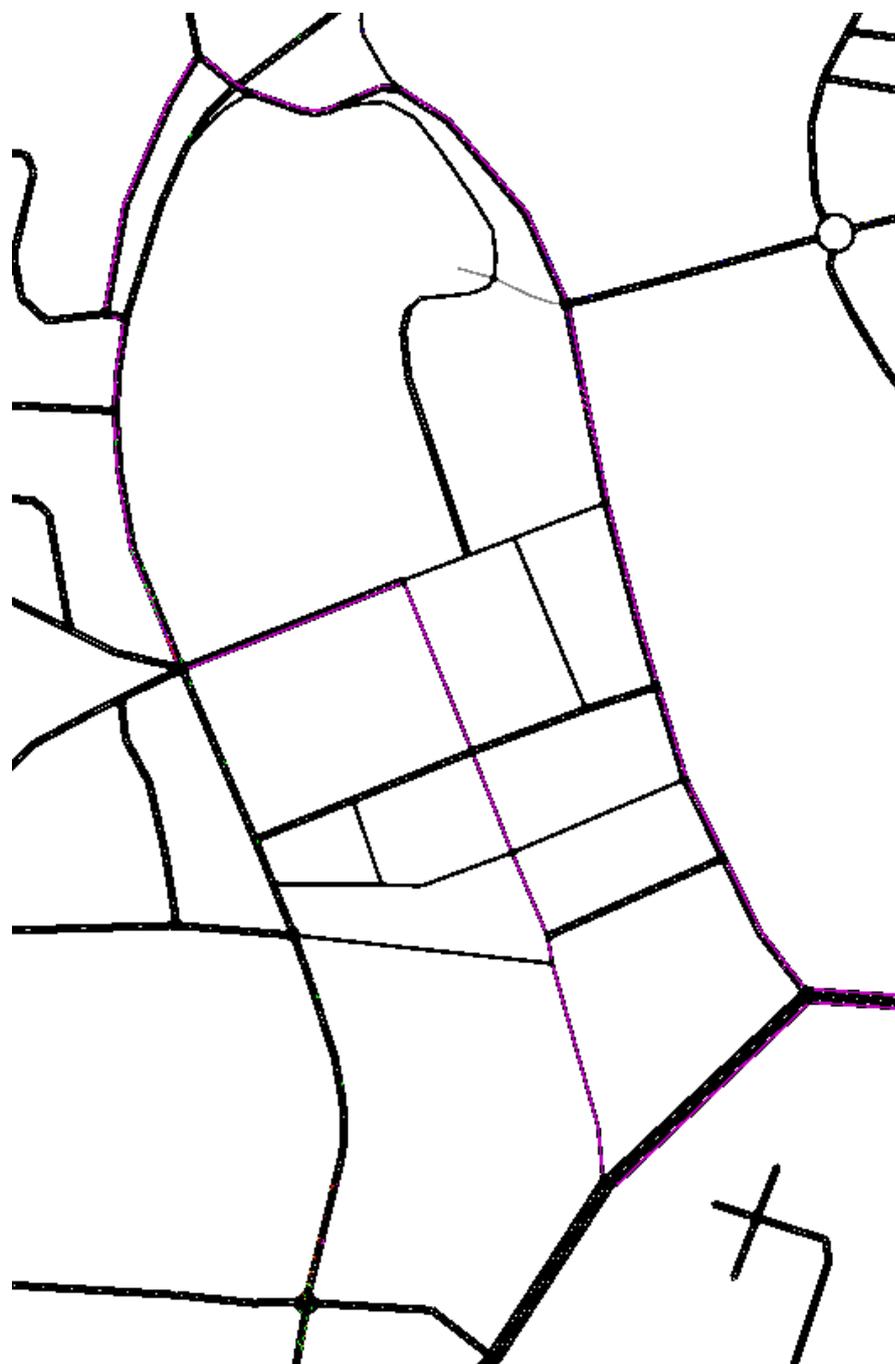
Fonte: Autoria própria

Anexo III – Rota 2 representada pela linha verde



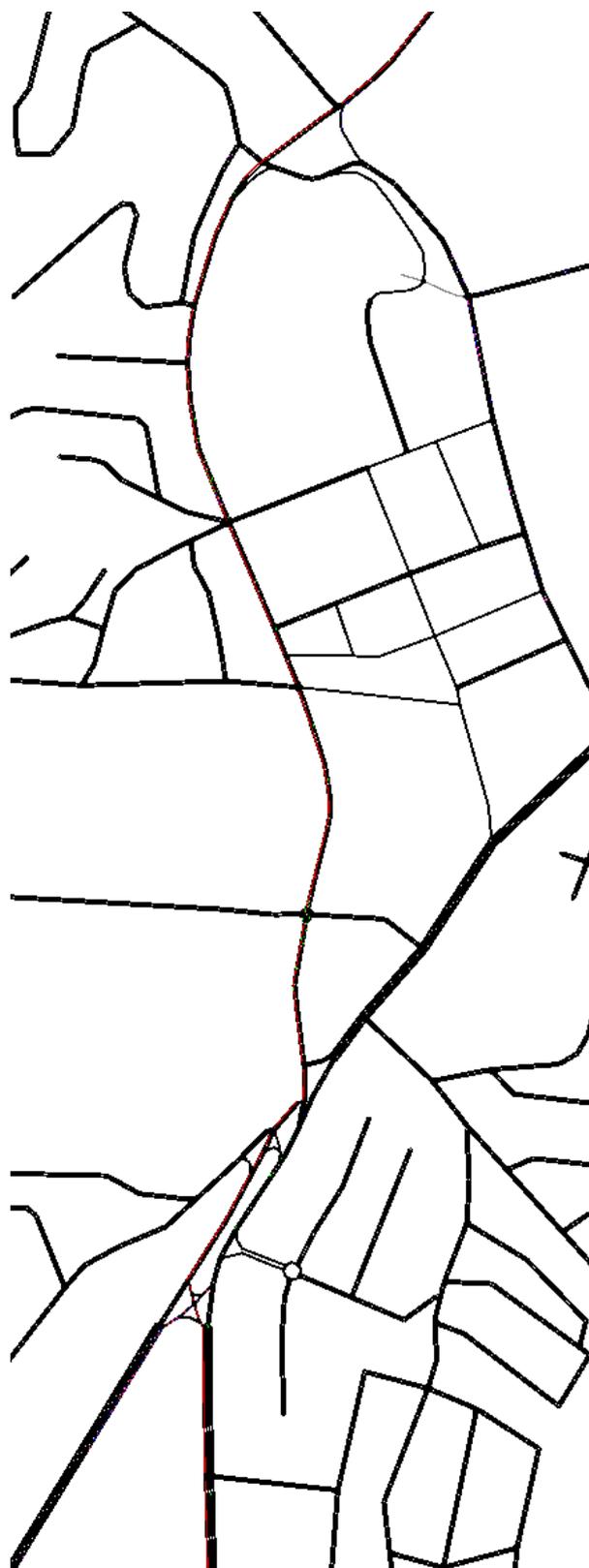
Fonte: Autoria própria

Anexo IV – Rota 3 representada pela linha rosa



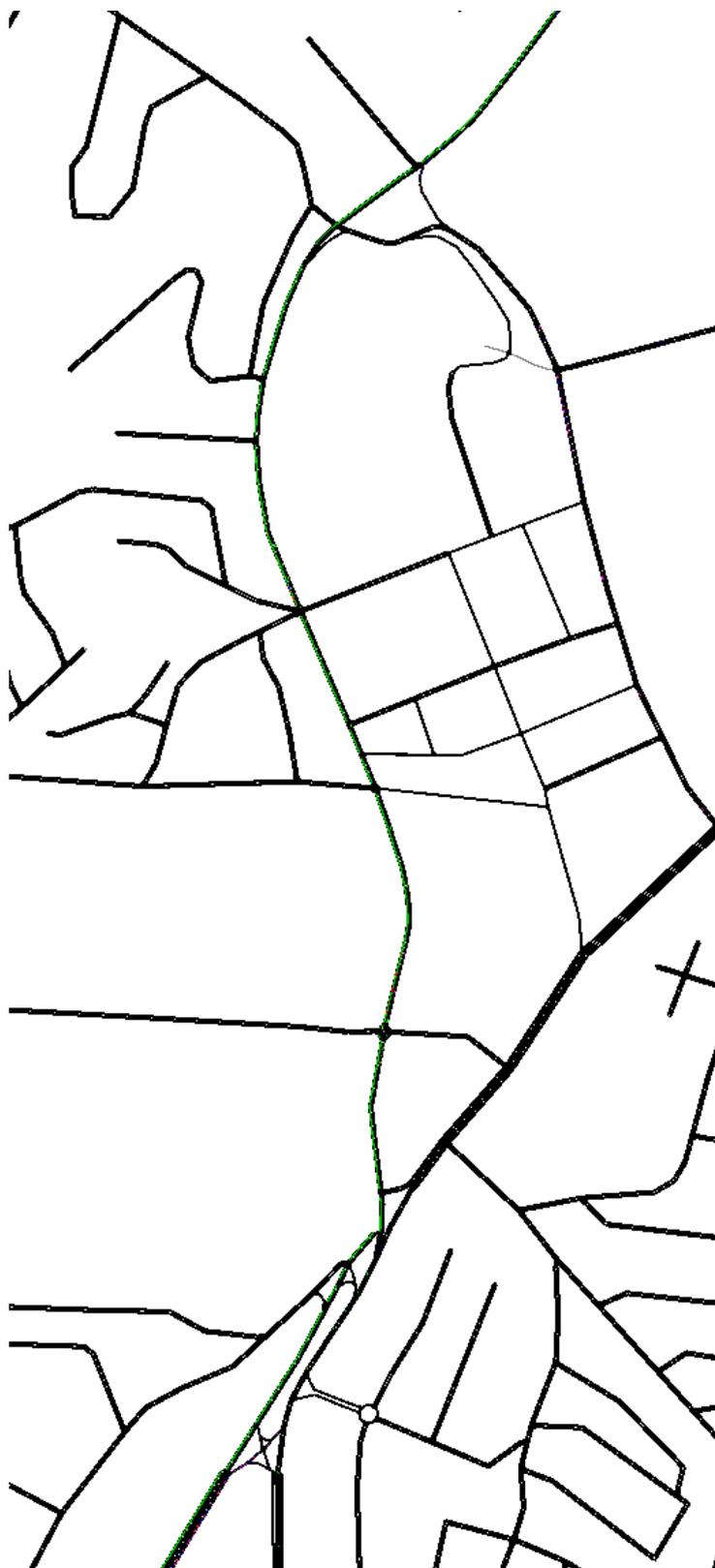
Fonte: Autoria própria

Anexo V – Rota 4 representada pela linha vermelha



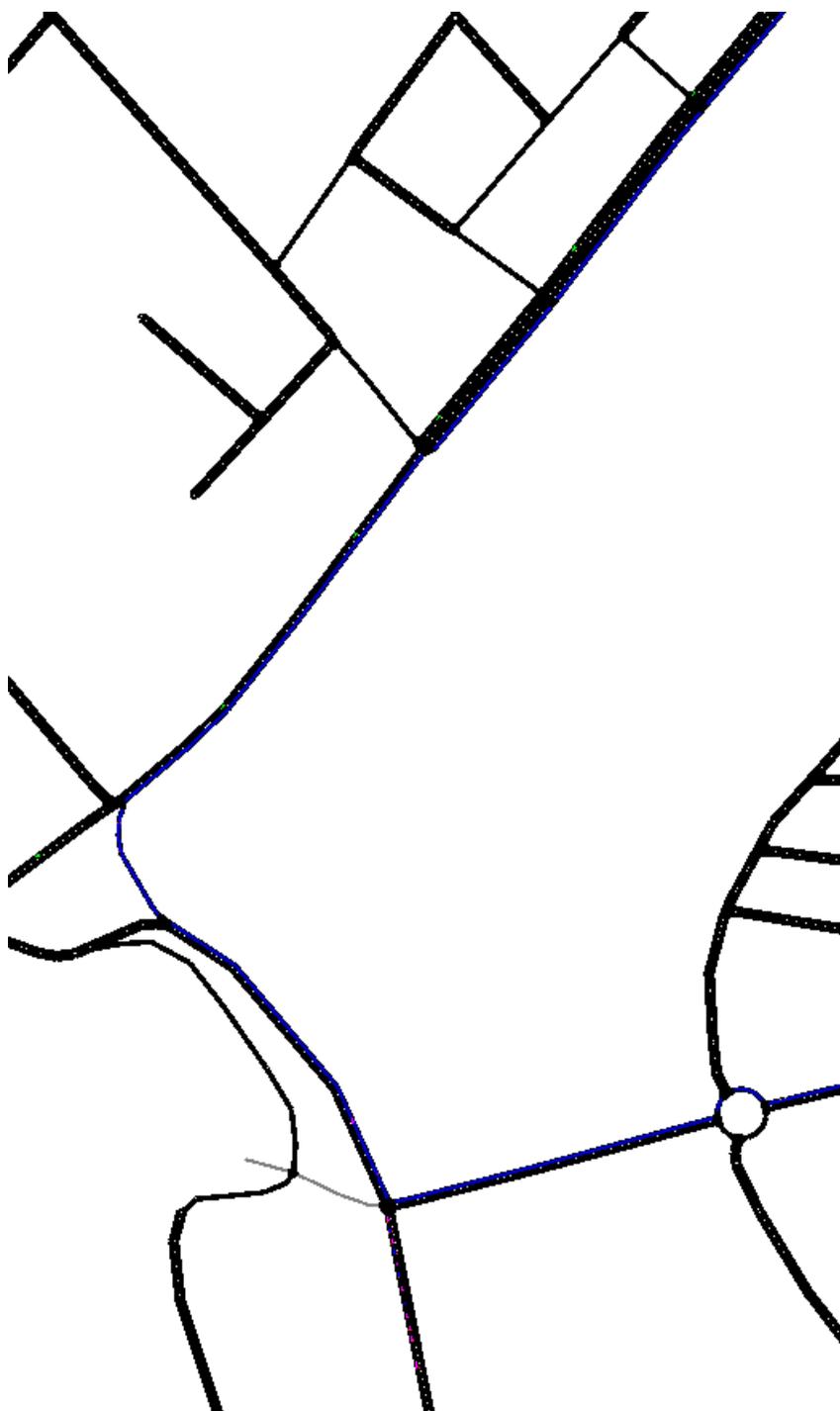
Fonte: Autoria própria

Anexo VI – Rota 5 representada pela linha verde



Fonte: Autoria própria

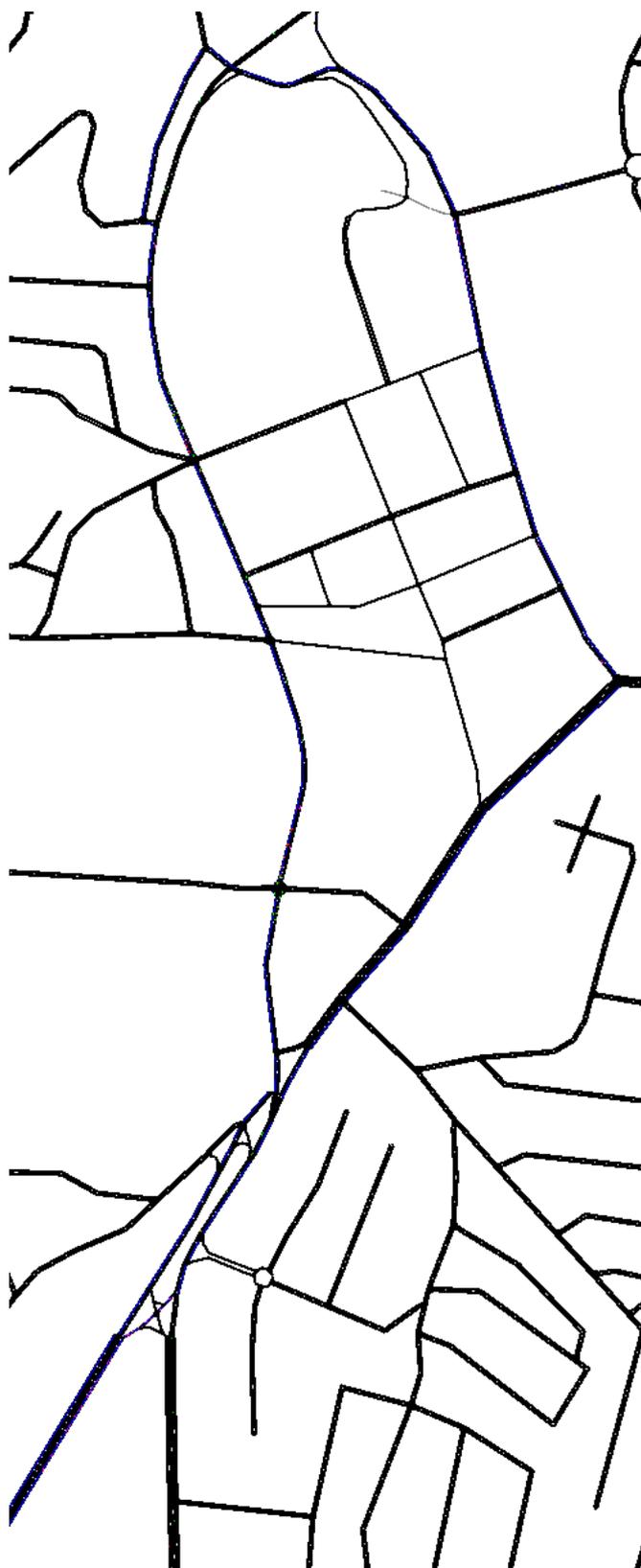
Anexo VII – Rota 6 representada pela linha azul



Fonte: Autoria própria

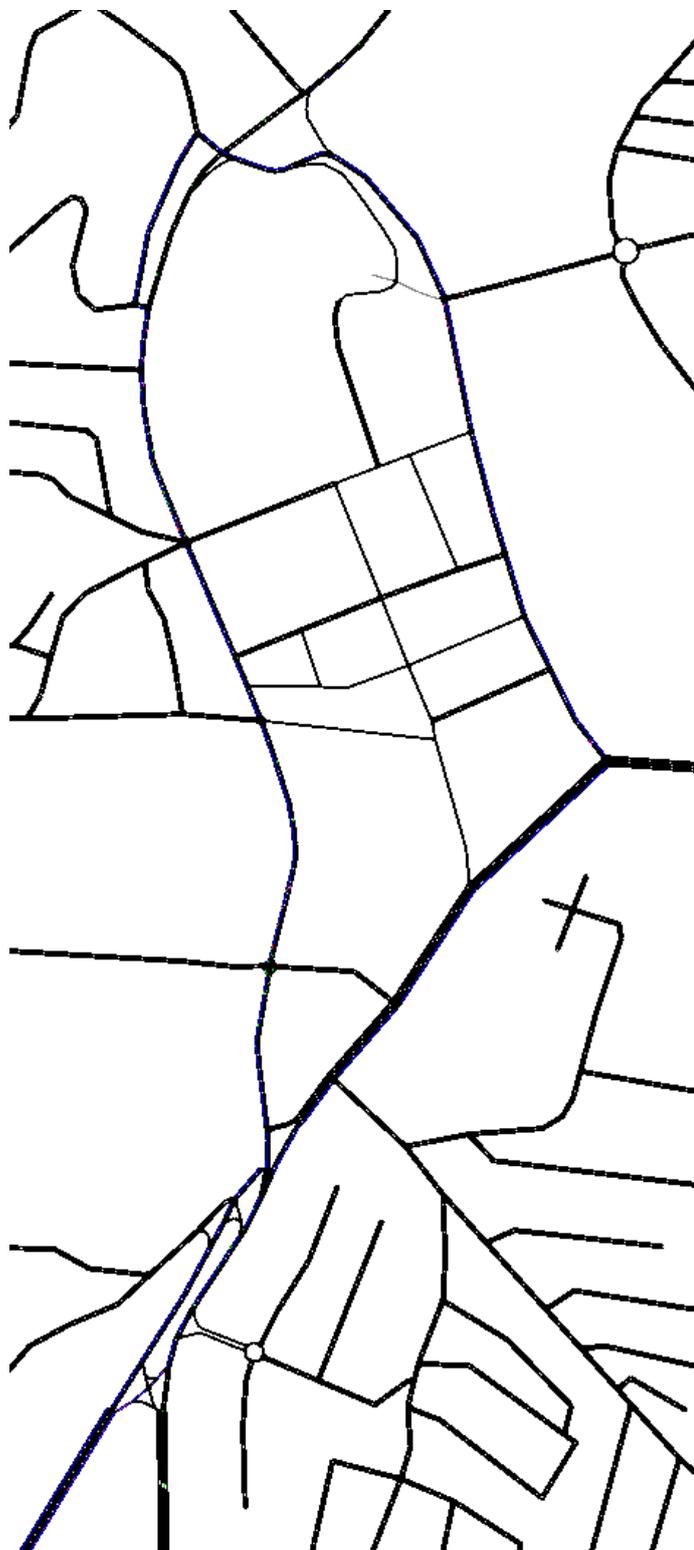


AnexoIX – Rota 8 representada pela linha azul



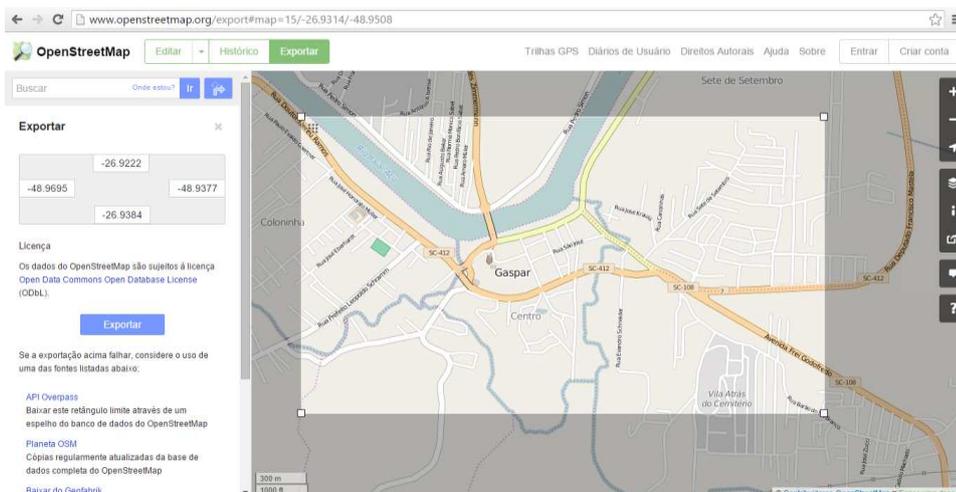
Fonte: Autoria própria

Anexo X – Rota 9



Fonte: Autoria própria

## Anexo XI – Área exportada para a realização da simulação.



Fonte: Autoria própria

## Anexo XII – Prompt de comando

```
Microsoft Windows [versão 10.0.10240]
(c) 2015 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\AnaCarolina>cd Downloads/sumo/bin

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\sumo\bin>start-command-line.bat
Info: added location of sumo executables to the search path
Info: variables SUMO_HOME, SUMO_BINDIR are set

use the 'cd /d' command to change directory
example usage:
cd /d c:\foo\bar

C:\>cd..

C:\>cd..

C:\>cd Users\AnaCarolina\Downloads\mapas

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>netconvert --osm-files map.osm -o map.net.xml

Warning: Discarding unusable type "waterway.riverbank" (first occurrence for edge "112323973#0").
Warning: Discarding unusable type "waterway.river" (first occurrence for edge "305078382#0").
Warning: Ambiguity in turnarounds computation at node "1215860481".
Warning: Found angle of 100.77 degrees at edge -152344895, segment 0
Warning: Found angle of 102.81 degrees at edge -152344957, segment 0
Warning: Found angle of 100.77 degrees at edge 152344895, segment 0
Warning: Found angle of 102.81 degrees at edge 152344957, segment 0
Success.

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>polyconvert --net-file map.net.xml --osm-files map.osm --type-file typemap.xml -o map.poly.xml
Success.

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>python C:/Users/AnaCarolina/Downloads/sumo/tools/randomTrips.py -n map.net.xml -e 100 -l

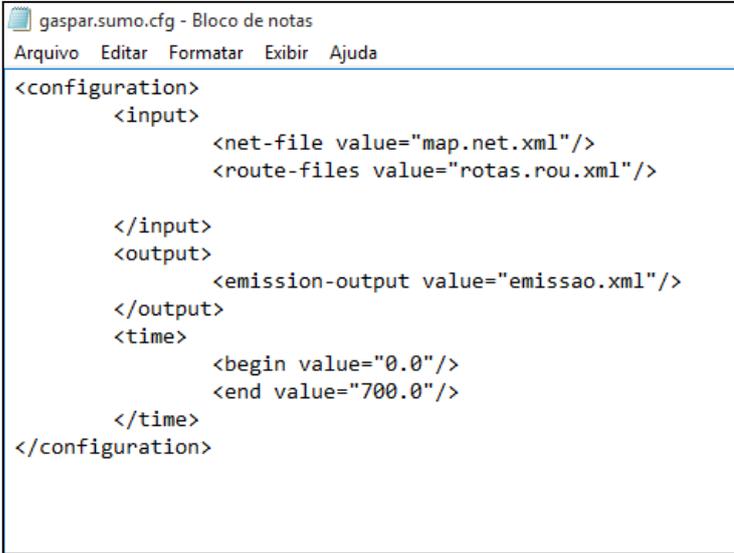
C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>python C:/Users/AnaCarolina/Downloads/sumo/tools/randomTrips.py -n map.net.xml -r map.rou.xml -e 100 -l
calling C:\Users\AnaCarolina\Downloads\sumo\bin\..\bin\duarouter -n map.net.xml -t trips.trips.xml -o map.rou.xml --ignore-errors --begin 0 --end 100.0 --no-step-log
Success.

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>sumo-gui map.sumo.cfg

C:\Users\AnaCarolina\Downloads\mapas>
```

Fonte: Autoria própria

## Anexo XIII – Arquivo de configuração



```
gaspar.sumo.cfg - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda

<configuration>
  <input>
    <net-file value="map.net.xml"/>
    <route-files value="rotas.rou.xml"/>
  </input>
  <output>
    <emission-output value="emissao.xml"/>
  </output>
  <time>
    <begin value="0.0"/>
    <end value="700.0"/>
  </time>
</configuration>
```

Fonte: Autoria própria