



**COPPE/UFRJ**

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONGESTIONAMENTO EM VIAS ARTERIAIS  
COM A UTILIZAÇÃO DA MICRO-SIMULAÇÃO**

Eduardo Cezar Coelho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Rio de Janeiro  
Setembro de 2009

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONGESTIONAMENTO EM VIAS ARTERIAIS  
COM A UTILIZAÇÃO DA MICRO-SIMULAÇÃO

Eduardo Cezar Coelho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

---

Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, Ph.D.

---

Prof. Licínio da Silva Portugal, D.Sc.

---

Prof. Paulo Cesar Marques da Silva, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
SETEMBRO DE 2009

Coelho, Eduardo Cezar

Avaliação dos Níveis de Congestionamento em Vias Arteriais com a Utilização da Micro-Simulação/ Eduardo Cezar Coelho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XIII, 134 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 123-134.

1. Congestionamento de Tráfego. 2. Micro-Simulação.  
3. TRAF-NETSIM. I. Ribeiro, Paulo Cezar Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

## **DEDICATÓRIA**

À minha mãe, minha família e meus amigos!

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela minha vida.

A minha Família pelo incentivo e apoio em todas as horas, especialmente a minha mãe.

A minha companheira de todas as horas, obrigado.

Aos meus amigos sempre presentes.

Ao Professor Paulo Cezar Marins Ribeiro pela orientação deste trabalho e de tantos outros.

Aos Professores Licínio da Silva Portugal e Paulo Cesar Marques da Silva pela participação da banca de defesa da dissertação.

Aos professores de todas as épocas da minha vida.

Ao Programa de Engenharia de Transportes - PET, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes - COPPE, e a Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A todos os funcionários da Secretaria do PET, do CEDOC, do LAMIPET e do Registro de Alunos da COPPE.

Aos meus colegas de iniciação científica, graduação, mestrado e amigos que conheci no convívio no PET.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONGESTIONAMENTO EM VIAS ARTERIAIS  
COM A UTILIZAÇÃO DA MICRO-SIMULAÇÃO

Eduardo Cezar Coelho

Setembro/2009

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Este trabalho apresenta um procedimento para a verificação do comportamento do tráfego do Centro da Cidade do Rio de Janeiro por meio da análise dos níveis de congestionamento. O trabalho é realizado através da análise de cenários futuros construídos com o uso do micro-simulador TRAF-NETSIM, a partir de uma modelagem da situação atual. Os volumes de tráfego são elevados gradativamente até que se atinja a saturação das vias. Os resultados obtidos demonstram como o congestionamento se forma na área de estudo, além de identificar o comportamento dos condutores e os efeitos causados na rede viária. Esta pesquisa visa aprofundar o conhecimento sobre os congestionamentos nos centros urbanos das cidades brasileiras.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF CONGESTION LEVELS IN ARTERIAL ROUTES BY USING  
MICRO-SIMULATION

Eduardo Cezar Coelho

September/2009

Advisor: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Department: Transportation Engineering

This work presents a procedure to investigate the behavior of the traffic in the Downtown of Rio de Janeiro by analyzing levels of congestion. The work is performed through the analysis of future scenarios built using the micro-simulator TRAF-NETSIM from a modeling of the current situation. The traffic volumes are elevated gradually until the saturation of the routes is reached. The results obtained demonstrate how congestion is formed in the study area, and also identifies the behavior of drivers and the effects caused on the network. This research seeks to deepen the knowledge about the congestion in urban areas of Brazilian cities.

## ÍNDICE DE TEXTO

### **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....1**

1.1 – Considerações Iniciais.....	1
1.2 – Justificativa e Relevância do Estudo.....	2
1.3 – Objetivo do Estudo.....	4
1.4 – Estrutura do Trabalho.....	4

### **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....7**

2.1 – Considerações Iniciais.....	7
2.2 – Teoria de Fluxo de Tráfego.....	7
2.2.1 – Abordagem Microscópica.....	8
2.2.2 – Abordagem Macroscópica.....	8
2.2.3 – Abordagem Mesoscópica.....	10
2.3 – Modelos de Simulações de Tráfego.....	12
2.4 – Os Congestionamentos.....	29
2.4.1 – Conceituação dos Congestionamentos.....	30
2.4.2 – Panorama dos Congestionamentos.....	37
2.4.3 – Caracterização dos Congestionamentos no Rio de Janeiro.....	41
2.5 – Considerações Finais.....	48

### **CAPÍTULO 3-SIMULADOR DE TRÁFEGOTRAF-NETSIM.....56**

3.1 – Considerações Iniciais.....	56
3.2 – Critérios para Escolha do Simulador.....	56
3.3 – O TRAF-NETSIM.....	59
3.3.1 – Codificação da Rede.....	62
3.3.2 – O Processo de Codificação da Rede no Tsis 5.1.....	63
3.3.3 – Considerações finais.....	67

## ÍNDICE DE TEXTO

<b>CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA.....</b>	<b>68</b>
4.1 – Considerações Iniciais.....	68
4.2 – Modelagem.....	68
4.3 – Procedimentos.....	71
<b>CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>76</b>
5.1 – Considerações Iniciais.....	76
5.2 – Identificação do Problema.....	76
5.3 – Estudo de Caso.....	77
5.4 – Obtenção e Tratamento dos Dados.....	79
5.5 – Simulações.....	84
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>118</b>
6.1 – Conclusões.....	118
6.2 – Recomendações.....	121
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Linhas de Desejo com Origem e Destino no Centro durante o Pico da Manhã.....	42
Figura 2.2 – Imagem Esquemática da Rede Viária do Centro do Rio de Janeiro.....	47
Figura 2.3 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã – Ano 2003.....	52
Figura 2.4 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã – Ano 2008.....	53
Figura 2.5 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã – Ano 2013.....	53
Figura 3.1- Interface Gráfica do TSIS.....	62
Figura 3.2 - Velocidade de fluxo livre (free flow speed) e largura (lane width) padrão de faixas de rolamento.....	65
Figura 3.3 – Horário inicial da simulação (simulation start time), número de períodos de simulação (number of time periods), duração da simulação (duration) e a duração do tempo interno (time interval duration).....	66
Figura 3.4 - Configurações do micro-simulador.....	66
Figura 4.1 - Fluxograma dos procedimentos propostos por esta metodologia.....	75
Figura 5.1 - Centro do Rio de Janeiro.....	76
Figura 5.2 – Rede de simulação sem imagem bitmap de fundo.....	85
Figura 5.3 - – Rede de simulação com imagem bitmap de fundo.....	85
Figura 5.4 – Propriedades da Rede.....	86
Figura 5.5 –Interseção da Av. Rio Branco com Rua São Bento.....	87
Figura 5.6- Interseção da Av. Rio Branco com Av. Pres. Vargas.....	88
Figura 5.7 - Interseção da Av. Rio Branco com Av. Almirante. Barroso.....	88
Figura 5.8 - Rua da Assembléia.....	89
Figura 5.9 – Croqui Rua do Acre com Av. Rio Branco.....	90
Figura 5.10 – Dados nos nós de entrada.....	92
Figura 5.11 - Dados nos nós internos à rede .....	93
Figura 5.12 - Plano Semafórico da interseção 30.....	94
Figura 5.13 – Dados no link interno à rede.....	95
Figura 5.14 – Dados de Rotas de Ônibus.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.15 – Rotas de Ônibus representada no TRAFVU.....	98
Figura 5.16 – Localização dos nós de entrada da rede.....	99
Figura 5.17 – Interseções selecionadas para o ajuste, sem e com área de influência....	102
Figura 5.18 – Tela do TRAFVU.....	115
Figura 5.19 - Tela do TRAFVU.....	116
Figura 5.20 - Tela do TRAFVU.....	116

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela comparativa de características de diversos modelos de simulação.....	50
Tabela 3.1 – Tipo de intervenção e simuladores correspondentes.....	58
Tabela 3.2 - Limitações das características da rede de tráfego do CORSIM.....	61
Tabela 5.1 – Fatores de Conversão para Unidade de Carros de Passeio (UCP).....	81
Tabela 5.2 – Listagem completa das interseções pesquisadas, incluindo número de movimentos e de pesquisadores empregados por interseção.....	82
Tabela 5.3 – (cont.) Listagem completa das interseções pesquisadas incluindo número de movimentos e de pesquisadores empregados por interseção.....	83
Tabela 5.4 – Fluxos pico da manhã.....	91
Tabela 5.5 - Fluxos entre-pico da manhã.....	91
Tabela 5.6 - Tabela de diferença entre volumes teórico e simulado.....	100
Tabela 5.7 – Variação percentual de fluxo e distribuição dos registros.....	101
Tabela 5.8 – Interseções selecionadas para ajuste e variações percentuais de fluxo.....	103
Tabela 5.9 – Cenários e incrementos de fluxos relativos e absolutos.....	104
Tabela 5.10 - Tabela de aumento de fluxos nos nós de entrada com numeração dos cenários.....	105
Tabela 5.11 – (Cont.) Tabela de aumento de fluxos nos nós de entrada com numeração dos cenários.....	106
Tabela 5.12 - Percentuais de caminhões e carools.....	107
Tabela 5.13 - Velocidade Média dos Cenários em Km/h.....	108
Tabela 5.14 - Tempo Médio de Viagem dos Cenários em s/veiculo.....	110
Tabela 5.15 - Tempo Médio de Atraso dos Cenários em s/veiculo.....	111

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Viagens Motorizadas no Modo Transporte Coletivo RMRJ 2003 PDTU.....	38
Gráfico 2.2 – Divisão das Viagens da RMRJ – PDTU.....	43
Gráfico 2.3 – Evolução da Frota de Veículos no Brasil – DENATRAN (2009).....	45
Gráfico 2.4 – Evolução da Frota de Veículos na Cidade do Rio de Janeiro DETRAN- RJ (2009).....	46
Gráfico 2.5 – Divisão dos Tipos de Veículos da Cidade do Rio de Janeiro DETRAN – RJ (2009).....	46
Gráfico 5.1 - Gráfico de Velocidade Média dos Cenários em Km/h.....	109
Gráfico 5.2 – Gráfico de Tempo Médio de Viagem dos Cenários em s/veiculo.....	110
Gráfico 5.3 – Gráfico de Tempo Médio de Atraso dos Cenários em s/veiculo.....	112
Gráfico 5.4 – Gráfico do Atraso do Tráfego e Grau de Saturação.....	113
Gráfico 5.5 – Gráfico do Aumento de Percentual de Fluxo e Velocidade Média.....	114
Gráfico 5.6 – Gráfico do Aumento de Percentual de Fluxo, Tempo Médio de Viagem e Tempo Médio de Atraso.....	114

# **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 – Considerações Iniciais**

Grande parcela da humanidade vive principalmente em conglomerados urbanos, ou seja, nos centros econômicos e financeiros das cidades, e em menor parcela em zonas rurais. A organização espacial da sociedade influencia a formação, funcionamento e desenvolvimento das cidades.

As cidades brasileiras estão em constantes transformações devido às atividades realizadas, e os seus centros urbanos conseqüentemente apresentam as mesmas mudanças, contudo de forma agravada provocada pelos impactos gerados pela excessiva concentração de atividades.

Os centros urbanos, em função do atual modelo de desenvolvimento urbano aplicado às cidades brasileiras de médio e grande porte, representam a região vital para a prática das atividades inerentes ao funcionamento cotidiano das cidades.

A concentração acentuada de atividades humanas em uma determinada área, que é incapaz de absorver com nível qualidade aceitável a demanda do tráfego gerado, produz os congestionamentos. Hoje o congestionamento de veículos rodoviários, principalmente os automóveis, está presente em muitos centros urbanos e são cada vez mais freqüentes afetando de modo nocivo às atividades ali praticadas.

Diante da importância do tema abordado neste subitem, esta pesquisa de mestrado irá estudar os impactos provocados pelos congestionamentos nos diferentes aspectos relevantes, assim como suas possíveis causas.

## **1.2 – Justificativa e Relevância do Estudo**

Definido os congestionamentos nos centros urbanos como tema a ser estudado, justificaremos esta escolha através de uma seqüência de fatos e informações evidenciadas a seguir.

Pesquisas e relatos técnicos de profissionais da área de trânsito argumentam que o problema é agravado com a ausência de planejamento urbano principalmente o de transportes urbanos, e a falta de uma política de investimentos em pesquisas e projetos, que seriam eficazes na atenuação e até na solução de alguns itens problemáticos dentro do contexto dos congestionamentos.

Outro fator que contribui para o agravamento dos congestionamentos é a elevação gradativa das taxas de motorização, que não é acompanhada pelo aumento da oferta da capacidade viária, limitada pelas condições físicas das vias, entre outras características. A ausência de adequados esquemas operacionais de trânsito é outra característica que prejudica a circulação de veículos. Estes esquemas operacionais de trânsito poderiam, em curto prazo, reorganizar o fluxo e com isso possibilitar um certo acréscimo de oferta de capacidade, proporcionando uma melhora nas condições de tráfego.

Alguns especialistas em transportes, com a finalidade de reduzir os congestionamentos, sinalizam o estímulo ao uso do transporte público sobre rodas em depreciação ao transporte individual. Porém com os níveis atuais de congestionamento, o transporte público regular sobre rodas poderá causar transtornos a circulação viária pelo aumento da frota. Este acréscimo de frota é necessário para manter o mesmo nível de atendimento ao usuário, já que os veículos ficam “presos” no itinerário impossibilitando a chegada em seu destino no tempo programado.

Uma alternativa para anular o efeito nocivo do transporte público sobre rodas seria a implantação de sistemas de vias segregadas.

Segundo o PDTU (2005), a participação do transporte alternativo com relação ao transporte coletivo na Região Metropolitana do Rio de Janeiro corresponde a 18 % representando uma frota de veículos significante concorrendo com o transporte regulamentado.

A ineficácia do controle e fiscalização dos veículos que operam o transporte complementar, também conhecido como transporte alternativo, contribui para o agravamento dos níveis de congestionamento prejudicando a circulação viária através de alguns fatores como:

- Embarque e desembarque de passageiros efetuados em qualquer local das vias, regulamentado ou não, e em qualquer momento;
- Maior concentração de veículos do transporte alternativo nos horários de pico sobrecarregando o sistema viário no período mais crítico. É no horário de pico que há maior demanda, e por isso a lotação do veículo é garantida com faturamento máximo nos deslocamentos;
- Veículos sem uma rotina de manutenção adequada e sem fiscalização ficam propensos a uma maior probabilidade de quebras, degradando a circulação viária pela possibilidade de panes em vias congestionadas, causando transtornos à fluidez do trânsito.

O Instituto de Transporte da Universidade do Texas – EUA estuda os congestionamentos desde 1982, e publica o Relatório de Mobilidade Urbana informando que os níveis de atraso dos veículos, combustíveis desperdiçados e horas perdidas pelos usuários vêm aumentando consideravelmente nos últimos quatro anos. Esse fato representa em um prejuízo de 92 bilhões de dólares anualmente nas 85 maiores áreas americanas pesquisadas, o que demonstra o tamanho do impacto dos congestionamentos na economia das cidades e nas vidas humanas (SCHRANK e LOMAX, 2005).

Observa-se ainda que de forma geral, as velocidades médias praticadas pelos veículos para os mesmos pontos observados estão cada vez menores, elevando os tempos de viagem, o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes.

Os congestionamentos trazem um grande desafio para os profissionais de tráfego, que é equacionar a relação velocidade média / custos.

### **1.3 – Objetivo do Estudo**

O objetivo desta pesquisa é avaliar como se comporta o tráfego nas vias semaforizadas da Região Central do Rio de Janeiro, com a utilização do micro-simulador TRAF-NETSIM em função do aumento gradativo do fluxo de veículos e das análises das variáveis de saída do processo de simulação.

Verificação dos níveis de congestionamentos, caso isto já ocorra no princípio, com o incremento sucessivo no fluxo de veículos que adentram a região delimitada pela área de estudo.

A taxa de crescimento anual foi adotada em 3 % através da definição de uma analogia com as pesquisas realizadas por BELL e BRETHERTON (1986) sobre planos semaforicos em uma rede.

Esse estudo é realizado também para verificar a capacidade de absorção de aumento de fluxo de veículos a partir das condições atuais – volume de tráfego em 2004 do Centro do Rio de Janeiro.

### **1.4 – Estrutura do Trabalho**

Neste subitem está explicitado de forma resumida o conteúdo dos capítulos que constituem esta dissertação.

#### **CAPÍTULO 1**

Neste capítulo é apresentada a dissertação de mestrado, sintetizando a pesquisa de Engenharia de Tráfego realizada com foco na circulação de veículos do Centro do Rio de Janeiro e sob a base científica da Engenharia de Transportes.

Também constituem este capítulo os subitens que comentarão sobre a relação das cidades com os congestionamentos, o porquê da escolha deste tema e deste tipo de abordagem. É apresentado a caracterização do problema estudado, os objetivos desta pesquisa e por último a estrutura do trabalho.

## CAPÍTULO 2

No capítulo é introduzido o conceito por trás das simulações de tráfego, o resultado teórico das observações e pesquisas de circulação viária realizadas ao longo das décadas por diversos pesquisadores. A compreensão desses fenômenos está contida na área de estudo denominada de Teoria de Fluxo de Tráfego.

Além de demonstrar alguns aspectos da Teoria de Fluxo de Tráfego, este capítulo também aborda questões sobre simuladores de tráfego e cita alguns exemplos de softwares de aplicação em Engenharia de Tráfego.

O capítulo 2 também aborda o tema congestionamento em diversas cidades demonstrando algumas características relevantes ao tráfego nos centros urbanos. Com foco na Cidade do Rio de Janeiro realizou-se uma breve revisão da situação do sistema de transportes, caracterizando os transportes individual e coletivo. Foi realizado também um levantamento de frota, população, e outros aspectos de tráfego.

## CAPÍTULO 3

O capítulo 3 contém a escolha do simulador de tráfego mais adequado para aplicação no estudo de caso apresentado por esta dissertação. A seleção do simulador de tráfego foi baseada no levantamento realizado pela revisão bibliográfica sobre simulação de tráfego.

Neste capítulo são apresentadas algumas considerações sobre micro-simulação de tráfego, e as mais importantes características do software de micro-simulação selecionado, o TRAF-NETSIM.

## CAPÍTULO 4

Este capítulo apresenta a metodologia elaborada para a realização desta pesquisa, assim como os procedimentos utilizados, as variáveis inerentes ao processo, capacidades e limitações disponíveis para a realização da aplicação no estudo de caso.

## CAPÍTULO 5

O capítulo 5 mostra a aplicação dos procedimentos previstos na metodologia presente no capítulo anterior, descrição detalhadas das etapas executadas no processo de simulação, recursos e adaptações para a realidade brasileira. Também estão presentes os resultados e as análises das simulações.

## CAPÍTULO 6

Este capítulo conclui a dissertação com as conclusões da pesquisa e do trabalho realizado no micro-simulador de tráfego, além de recomendações e sugestões que poderão orientar novas pesquisas científicas e ajudar a explorar ainda mais o tema estudado.

# **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## **2.1 – Considerações Iniciais**

Este capítulo contém uma síntese integrada das abordagens macroscópicas, microscópicas e mesoscópicas do fluxo do tráfego de veículos em uma via urbana. Apresentando as possíveis correlações, a partir dos respectivos modelos matemáticos, destacando as condições de aplicabilidade em cada tipo de abordagem, além de listar os simuladores de tráfego utilizados na pesquisa em Engenharia de Transportes.

O capítulo 2 apresenta o resultado de uma revisão bibliográfica sobre congestionamentos, com o objetivo de explorar mais o assunto e aumentar a compreensão dos congestionamentos nos centros urbanos, principalmente no Rio de Janeiro. Alguns conceitos, panoramas e características sobre congestionamentos são descritos a seguir.

## **2.2 – Teoria de Fluxo de Tráfego**

A teoria de fluxo de tráfego tenta descrever de forma mais realista possível o comportamento do tráfego pela aplicação das leis da física e da matemática. Tratando o fluxo de tráfego de forma uniforme e homogênea, já que a maioria dos elementos se comporta de maneira previsível.

O fluxo de tráfego é constituído de condutores, veículos, vias e o ambiente ao redor. Estes componentes não têm comportamento constante e são suscetíveis a variações de suas características e operacionalidades, como: condição psico-física dos condutores interferindo nos tempos de reação e percepção, veículos com queda de desempenho devido a falha na manutenção, vias com redução de capacidade causada por interdição temporária (acidentes), e condições climáticas adversas.

Porém, até os dias atuais não há uma definição única ou um conceito único, devido a diversas teorias desenvolvidas por muitos autores. A primeira proposta de abordagem da

teoria de fluxo de tráfego foi na aplicação da teoria de probabilidades com os primeiros modelos relacionados com fluxo e velocidade. Na década de 1950, destacaram-se as abordagens de “*car-following*” e teoria das ondas de tráfego (analogia hidrodinâmica), e teoria das filas. Os modelos de fluxo de tráfego podem ser determinísticos ou estocásticos, subdividindo-se em abordagens macroscópicas, microscópicas e mesoscópicas.

### **2.2.1 – Abordagem Microscópica**

A abordagem microscópica tem por base as relações interativas dos veículos, considerando os movimentos individuais. Pode-se considerar as “leis de perseguição” (interação veículo-veículo) através de modelos determinísticos e estocásticos. Leis de perseguição são definidas como o estímulo e a reação de condutores de veículos consecutivos. Há um estímulo provocado pelo condutor do veículo da frente em um determinado tempo (ex: variação do espaçamento entre veículos), e em resposta a este estímulo, temos uma reação do condutor do veículo da trás (ex: variação da aceleração do veículo).

Na análise do fluxo em que a partir das leis de perseguição, o “veículo-líder” tem velocidade constante na corrente de tráfego, os veículos seguintes têm a mesma velocidade e se deslocam separados por uma distância em função da percepção e interpretação de distância segura pelos condutores. Então o pelotão de veículos se moverá pela via em um estado permanente de tráfego, sujeitos ao fluxo  $q$ , concentração  $k$  e velocidade  $v$ .

### **2.2.2 – Abordagem Macroscópica**

Na abordagem macroscópica consideraremos o tráfego como um fluido que se escoia através de links de uma rede, embora o tráfego tenha características discretas, consideraremos a definição de contínuo (fluido), compatibilizando quando forem necessárias às características inerentes ao tráfego (PEREIRA, 2002).

Para compatibilizar as características na analogia hidrodinâmica para tráfego de veículos com alta densidade, temos que começar a definir valores médios, que subdividem em médias temporais e espaciais.

O fluxo ou volume é uma grandeza temporal de tráfego, definida por número de veículos que passam em um determinado ponto durante um certo tempo.

A concentração ou densidade é uma grandeza espacial, e consiste em um número de veículos em um determinado trecho em um certo instante de tempo.

As velocidades médias são grandezas espaciais e temporais, adiante veremos cada tipo de velocidade média.

A velocidade média espacial ( $v_s$ ) consiste na relação entre o fluxo de veículos e a densidade, ou seja, é espaço é a média harmônica das velocidades dos veículos observadas em uma seção da via.

$$v_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}} \quad (2.1)$$

onde:

$v_s$  = velocidade média espacial

$n$  = número total de veículos em uma seção

$v_i$  = velocidade dos veículos em uma seção

A velocidade média temporal ( $v_t$ ) consiste na relação entre o somatório dos fluxos multiplicados pelas velocidades de cada subcorrente de tráfego pelo fluxo total, que é o somatório dos fluxos cada subcorrente de tráfego. Ou pelo somatório de cada frequência multiplicada pela velocidade de cada subcorrente de tráfego. Esta definição é de WARDROP e CHARLESWORTH (1954).

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^n q_i v_i}{q} \quad (2.2)$$

onde:

$v_t$  = velocidade média temporal

$q_i$  = fluxo de cada subcorrente de tráfego

$v_i$  = velocidade de cada subcorrente de tráfego

$q$  = fluxo total

A partir das definições acima podemos estabelecer as relações básicas.

A relação entre o fluxo e a densidade estabelece a velocidade no caso de regime permanente:

$$v = \frac{q}{k} \quad (2.3)$$

onde:

$v$  = velocidade

$q$  = fluxo

$k$  = densidade

A relação entre velocidade média temporal ( $v_t$ ) e velocidade média espacial ( $v_s$ ) é estabelecida a partir das definições antes já citadas:

$$v_t = v + \frac{\sigma^2}{v} \quad (2.4)$$

onde:

$v_t$  = velocidade média temporal

$v_s$  = velocidade média espacial

$\sigma^2$  = variância da velocidade média espacial

### **2.2.3 – Abordagem Mesoscópica**

Na abordagem mesoscópica, as correntes de tráfego são observadas de forma mais global, evidenciando um agrupamento de veículos se deslocando com o mesmo comportamento, chamado de pelotão, isto é um conjunto de veículos que se retidos por um obstáculo comum, após liberados, se deslocam ao longo da via.

Historicamente o conceito de pelotão foi introduzido por LIDTHILL e WHITHAM (1955), e Pacey em 1956. Porém foi Robertson que estudou os pelotões considerando as suas dispersões, fator mais importante do tráfego quando se considera a elaboração de planos de sinalização eficiente.

Geralmente os pelotões de veículos são gerados após as saídas das interseções semaforizadas, podendo também ser gerado devido um veículo lento ou ônibus parado. Esses pelotões podem ter uma abordagem espacial ou temporal. Na primeira abordagem, a posição e o comprimento físico do pelotão é levado em consideração, já na segunda abordagem, o que é relevante é a distribuição temporal do fluxo de veículos, esta última mais adequada para representação do fluxo para planos semafóricos.

Os modelos de pelotões apresentados são bases teóricas de Pacey e Robertson.

Com relação ao fenômeno de dispersão de pelotões, Pacey propõe que as mudanças de forma de um pelotão numa artéria de via entre duas interseções consecutivas, resultem unicamente das diferenças de velocidades dos veículos dentro do pelotão, e ainda a ausência de interferência entre veículos dentro do pelotão, e que esses veículos possuem velocidades constantes e ultrapassam uns aos outros livremente. Pacey estimou uma função densidade de probabilidade para a distribuição das velocidades dos veículos correspondentes a distribuição normal:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma} \sqrt{2} \exp(-0,5 \frac{(v - \bar{v})^2}{\sigma^2}) \quad (2.5)$$

onde:

$\bar{v}$  = velocidade média

$\sigma$  = desvio padrão de velocidade dos veículos

Para Robertson, a obtenção de forma simples de uma boa estimativa da dispersão de um pelotão, favorece a determinação da defasagem ótima entre os semáforos de duas interseções sucessivas.

Pelo modelo original:

$$q_2(p+t) = Fq_1(p) + (1-F)q_2(p+t-1) \quad (2.6)$$

onde:

$q_1(p)$  = fluxo no ponto 1 (a montante) no instante t

t = tempo mínimo de viagem (deslocamento) entre os pontos 1 e 2, geralmente é igual a 80% do tempo médio ( $t_m$ ) de viagem.

$q_2(p+t)$  = fluxo no ponto 2 (a jusante) no instante  $p + t$

$F$  = fator de alisamento ou fator de dispersão

$$F = \frac{1}{(1 + kt)} \quad (2.7)$$

onde:

$k$  = dado de entrada do TRANSYT.

A relação do fator de alisamento de Robertson, mostra a maior importância da dispersão observada na prática com relação a teoria de Pacey.

### **2.3 – Modelos de Simulações de Tráfego**

A palavra “simulação” é derivada do latim “*simulatus*” = “imitar”, de onde podemos concluir que a simulação pode ser conceituada como a imitação de uma situação real, através do uso de modelos, tendo como objetivo representar o comportamento e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho.

Embora a simulação esteja muito associada ao uso de computadores, atualmente, dependendo da escala, também é possível o desenvolvimento manual (PERIN FILHO, 1995 *apud* PORTUGAL, 2005).

A simulação de tráfego é uma ferramenta de análise que auxilia os profissionais de transportes a planejar, projetar, operar, manter e aperfeiçoar sistemas de vias e sistemas de sinalização semafórica.

Os simuladores de tráfego são programas computacionais que tentam simular uma situação real através de modelos.

Segundo PORTUGAL (2005), simulação é uma técnica que pretende reproduzir em computador os eventos hipotéticos do sistema estudado, tratando os dados de forma agregada ou individualizada. Os modelos de simulação, por suas características de

aleatoriedade, incorporam a variabilidade da demanda ao longo do tempo, o que lhes concede um maior poder de representatividade.

Normalmente a criação de um modelo de simulação envolve um esforço relativamente grande, porém, depois de criado permite uma grande variedade de situações alternativas. Dessa forma, pode-se analisar diversos cenários e antecipar os impactos positivos ou negativos a partir da implantação de uma determinada alternativa (POYARES, 2000).

ALEXIADIS *et al.*, (2004) *apud* TEIXEIRA (2006) citam que a agência nacional responsável pelo sistema viário norte-americano, a FHWA – The Federal Highway Administration, está focada na melhoria dos sistemas de operações e de desempenho. Os autores ainda destacam que os modelos de simulação de tráfego fornecem um significativo potencial para conduzir as pesquisas, analisar as melhorias das alternativas viárias de tráfego e dos Sistemas Inteligentes de Transportes – ITS (Intelligent Transportation System).

Segundo MOREIRA (2005), com o desenvolvimento acentuado da informática, disponibilizando equipamentos mais potentes e com custos menores, os programas que implementam modelos de simulação de tráfego têm se tornado cada vez mais sofisticados, permitindo um grau de representação cada vez mais detalhado, fornecendo previsões muito mais próximas da realidade.

“Os modelos mais atualizados permitem a representação de redes viárias de grande porte e fazem a alocação do tráfego utilizando ainda diferentes meios de transportes, mudanças geométricas nas vias etc., rapidamente sem haver a necessidade de intervenções físicas no local e levantamentos de campo extensos” (COHEN, 1977, LANVERLY, 1981 *apud* PORTUGAL, 2005).

SOUZA e RIBEIRO (2004) afirmam que, quando as técnicas de análise analíticas não são capazes de representar satisfatoriamente sistemas complexos, utilizam-se cada vez mais o processo de simulação para uma avaliação comparativa, auxiliando a tomada de decisão.

Assim a simulação tem sido utilizada cada vez mais como ferramenta em estudos de tráfego devido a dois fatores, que são a crescente complexidade dos problemas e a constante evolução dos recursos computacionais (SALIBY, 1989).

O processo de simulação resumidamente pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Identificação dos problemas específicos ou pontos críticos dentro de um sistema;
- Escolha da abordagem e do modelo de Simulação em função da etapa anterior;
- Obtenção dos dados e criação do modelo real ou dos modelos hipotéticos;
- Desenvolvimento computacional das simulações;
- Análise dos dados de saída.

Os modelos utilizados na simulação se classificam, segundo PORTUGAL (2005), em 3 tipos:

### 1. Simbólicos

Os aspectos essenciais do sistema são representados por características que são feitas através de um esquema simbólico simplificado, modelos bastantes usados. A avaliação de variáveis e funções é numérica, e a expressão simbólica geral é (LOURENÇO, 1981):

$$w = f(u_i, u_j) \quad (2.8)$$

onde:

w : representa as características do sistema em estudo;

$u_i$  : representa uma ou mais variáveis, de controle ou não, que geram valores em uma função numérica;

$u_j$  : representa outras variáveis independentes e constantes;

f : é uma função numérica qualquer.

## 2. Físicos ou Icônicos

Uso de modelos físicos em ambiente real ou simulado, normalmente em escala reduzida, para reprodução do funcionamento do sistema em estudo, por exemplos: túnel de vento, barragem, maquete. Apresentam normalmente um elevado custo e tempo de construção, contudo permitem a visualização do objeto em plena simulação.

## 3. Analógicos

Esse tipo de simulação é adequado quando o sistema simulado tem elementos com comportamentos semelhantes com os elementos dos sistemas físicos. As características e relações da situação real são representadas de forma análoga a sistemas físicos, como por exemplos sistemas elétricos e hidráulicos

Os modelos utilizados na simulação se classificam quanto às técnicas, ainda segundo PORTUGAL (2005), em 3 tipos:

1. Técnicas Analíticas, onde há uma dedução de uma solução abstrata com a utilização de instrumentos matemáticos de cálculo;

2. Técnicas Numéricas que utilizam o processo de tentativas, ensaio e erros, onde os valores das variáveis são substituídos até o índice de desempenho chegar a níveis aceitáveis;

3. Técnicas Monte Carlo que são utilizadas quando envolvem modelos estocásticos de grande complexidade, fazendo com que as variáveis não adquiram valores, mas sim uma faixa de possíveis valores até o índice de desempenho chegar a níveis aceitáveis.

Os modelos utilizados na simulação se classificam quanto à investigação, também segundo PORTUGAL (2005), em 4 tipos:

Exame Temporal, em cada período fixo de tempo, o estado global do sistema é examinado;

Exame por Evento, que demonstra cada momento que acontece o evento pesquisado, é gravado o determinado período de tempo que acontece o tal evento;

Mudança Contínua de Tempo, quer dizer a passagem de tempo é “contínua” quando o sistema apresenta uma característica de fluxo de informação constante;

Modelos de Eventos Discretos que ao contrário do anterior, as mudanças de estado acontecem em pontos discretos de tempo, e não de forma contínua.

E toda simulação, independente do tipo, pode se apresentar de forma determinística ou estocástica. A primeira caracterizada por variáveis uníssonas e bem definidas (exatas), e a segunda trabalha com variáveis que assumem valores em uma faixa de seleção estatística. É um processo considerado aleatório e regido por leis de distribuição. É o tipo mais largamente utilizado e o modelo contém uma ou mais variáveis aleatórias, cujo papel será representado através de amostras (SALIBY, 1989).

O processo de simulação pode ser utilizado no auxílio à tomada de decisão através da avaliação de desempenho de um sistema de transporte já implantado ou a ser implantado.

O processo de simulação se divide em três tipos de abordagens conceituadas tecnicamente pela teoria de fluxo de tráfego: abordagem macroscópica, abordagem mesoscópica e abordagem microscópica.

A abordagem macroscópica trata o fluxo de tráfego como um fluido em uma rede, regido pelas leis da hidrodinâmica, resultando em características utilizadas nas formulações de ondas de choque, e onde a individualidade dos veículos é desprezada. Esta abordagem foi desenvolvida por GREENBERG, LIGHTHILL, WHITHAM e RICHARDS.

Já a abordagem mesoscópica trata de pelotões (agrupamento de veículos com o mesmo comportamento) de veículos baseados na Teoria da Dispersão de Fluxo de Tráfego, veículos estes caracterizados por grandezas físicas de velocidade, aceleração, localização, tamanho e dispersão de pelotão. Muito utilizado no dimensionamento da

programação de semáforos isolados ou semáforos de rede. É uma fase intermediária, em realismo e detalhamento, entre as abordagens macroscópica e microscópica.

Microscópica é a abordagem que valoriza as características individuais dos veículos (grandezas físicas de aceleração, velocidade e posicionamento, e o mais que for necessário para a análise da simulação); esses veículos são regidos pelas Leis de Perseguição entre eles, e as suas interações nas interseções são complexas e detalhadas. Abordagem originalmente desenvolvida por Reuschel e Pipies, teve as Leis de Perseguição aprimoradas por Kometani, Sasaki e Herman.

Segundo SALIBY (1989) as simulações também podem ser classificadas em determinísticas ou estocástica, estática ou dinâmica, discreta ou contínua, conforme descrito a seguir:

#### Determinística

Quando a simulação possui todas as variáveis determinísticas

#### Estocástica

Quando a simulação apresenta uma representação mais complexa e próxima da realidade por considerarem o caráter aleatório de uma ou mais variáveis a partir de amostras.

#### Estática

Quando o fator tempo não interfere na realização da simulação.

#### Dinâmica

Quando o tempo é fator preponderante para a realização da simulação.

#### Discreta

Quando a simulação é feita em intervalos de tempo e supõe que as variáveis envolvidas não se alteram dentro deste intervalo.

#### Contínua

Quando a passagem do tempo é admitida contínua, embora ela seja feita em pequenos intervalos por imposição dos métodos de cálculo e computacionais.

Com o avanço dos recursos de computação, os simuladores de tráfego estão cada vez mais sofisticados e nos oferecem maiores facilidades de manuseio e operação dos softwares.

Serão apresentados, a seguir, alguns dos principais simuladores de tráfego utilizados nos estudos e pesquisas no mundo, começando com os modelos macroscópicos, continuando com os mesoscópicos e finalizando com os microscópicos.

### **Modelos Macroscópicos**

#### EMME/2

O simulador de tráfego *Equilibre Multimodal / Multimodal Equilibrium* (EMME/2), nome em francês e em inglês, foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Transportes da Universidade de Montreal por Michael Florian e Heinz Spiez, e é utilizado para planejamento de transportes de automóveis, ônibus, caminhões, trem, bicicleta e caminhada.

O simulador oferece um conjunto de ferramentas capaz de modelar uma rede consistente, analisando e avaliando a demanda na rede criada, além de poder validar, calibrar e implementar comparações de alternativas.

É utilizado para analisar problemas de transportes, desde estudos viários interurbanos até estudos de transporte público urbano. Em função dos procedimentos estabelecidos pelo usuário, o programa executa a análise multimodal desejada.

As características gerais do pacote EMME/2 são: flexibilidade na manipulação de matrizes, permitindo a distribuição, geração de viagens e modelos de repartição modal; modelagem sofisticada de redes multimodais para processar informações viárias e de transporte público; algoritmo de alocação de vias com intuito de facilitar as alocações equilibradas, incluindo atrasos nas interseções e repartição modal; algoritmo de alocação de transporte coletivo com múltiplas rotas; capacidade de integrar as velocidades do transporte público e do automóvel particular para ser usada em procedimentos com alocação dupla; e alta resolução gráfica. Até trinta modos de transportes podem ser definidos no simulador, que além disso, modela o impacto do

tráfego de veículos na velocidade dos ônibus, ou apenas a influência dos ônibus no fluxo dos demais veículos (SOUSA, 2003, PORTUGAL, 2005).

## METANET

O simulador de tráfego METANET foi desenvolvido pela Universidade de Creta. Possui como característica o fato de funcionar com baixo esforço computacional independentemente do carregamento da rede.

É um programa de simulação onde as redes viárias modeladas podem ter topologia real ou não, e podem ser constituídas por freeways. Possibilita a análise de desenvolvimento e avaliação das medidas de controle do tráfego, avaliação dos impactos de alternativas, dos impactos de eventos redutores de capacidade ou acréscimo de demanda (SOUSA, 2003). O programa permite o uso em tempo real e os resultados da simulação, em termos de variáveis macroscópicas de tráfego, são densidade, fluxo e velocidade média em todos os arcos da rede, no intervalo de tempo determinado. São calculados, também, índices de avaliação global da rede, tais como: tempo total de viagem, distância total percorrida, consumo total de combustível e tempo total de espera (TEIXEIRA, 2006).

## SATURN

O simulador de tráfego *Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks* (SATURN) foi desenvolvido pelo Instituto de Estudos em Transportes na Universidade de Leeds (Grã-Bretanha) sob responsabilidade de Dirk Van Vliet, e é considerado um dos modelos de simulação mais bem sucedidos e utilizados. O modelo tem as funções de analisar e avaliar esquemas de gerenciamento de tráfego em redes, envolvendo a operação de transporte público, efeitos de pedágio, restrições a automóveis, moderação do tráfego e medidas de segurança. A modelagem estratégica é baseada em curvas de velocidade e fluxo, podendo simular centros de cidades, pequenas áreas ou simplesmente uma interseção.

O SATURN possui em sua estrutura de execução os módulos independentes de simulação e alocação, estes módulos operam alternadamente, num processo iterativo e convergente.

Na fase de simulação são determinados os atrasos em cada interseção, então os caminhos mínimos são calculados no processo de alocação, e determinadas as rotas em que as viagens serão realizadas. Novos fluxos de tráfegos são gerados, e é realizada nova simulação que recalculará os atrasos na interseção. O processo é contínuo até os resultados dos dois módulos convergirem para o critério estabelecido pelo programa.

A estrutura básica do SATURN exige dois conjuntos de dados: a descrição da rede viária e a quantificação da demanda na forma de matriz origem-destino. A rede viária é formada por um conjunto de nós e arcos representando, respectivamente, as interseções e os segmentos entre interseções adjacentes.

Os dados envolvem: o controle de tráfego (relações de prioridade ou programação semafórica), as restrições de conversões, fluxos de saturação nas conversões, número de faixas, e a velocidade de cruzeiro em cada arco (PORTUGAL, 2005, TEIXEIRA, 2006).

#### TransCAD

O simulador de tráfego TransCAD foi desenvolvido pela Caliper. Este software é um completo sistema de informações geográficas que possui um pacote com vários componentes proporcionando a análise dos sistemas de transportes nos bairros, cidades, estados, países, ou em escala mundial.

Utilizado na área de transportes para planejamento, gerenciamento, instalação de sistemas de transportes, transporte público e logística. A quantidade de zonas de tráfego, número de nós, linhas de transportes público e número de modais dependem da memória de armazenamento do computador utilizado.

O programa possui uma biblioteca de dados geográficos, demográficos e de transportes, além de fazer a alocação do tráfego e pode fornecer como *output* velocidades médias e tempos de viagem. Podemos utilizar ferramentas que analisam, interpretam, constroem gráficos efetivos dos sistemas de transportes e utilizam mapas digitalizados para apresentações e visualizações (CALIPER TransCAD, 1992, PORTUGAL, 2005).

## TRIPS

O simulador de tráfego TRIPS é muito utilizado, visto que as agências governamentais, consultorias, institutos de pesquisa e universidades usam o TRIPS há mais de 25 anos para planejamento de transportes subdividindo-se em duas áreas de atuação. Na primeira área, o simulador foca no planejamento estratégico, e na segunda, o foco é no tráfego e no transporte público. A natureza e flexibilidade deste simulador permitem a construção do mais simples modelo até os mais complexos, e o nível de detalhamento depende dos recursos e soluções procuradas. A manipulação do TRIPS não depende de prévio e profundo conhecimento computacional.

O TRIPS é um conjunto de módulos inter-relacionados, onde cada módulo contém uma série de blocos, perfazendo-se a sua montagem até construir o modelo requerido. Os módulos disponíveis no pacote são: modelos de demanda, modelos de alocação baseados na rede, alocação de veículos de passeio, alocação do transporte público, estimativa de matrizes e manipulação de matrizes e rede gráfica (PORTUGAL, 2005, TEIXEIRA, 2006).

## SYNCHRO

O simulador de tráfego SYNCHRO possui abordagem macroscópica. Ele contém um modelo simplificado de simulação da quantidade de poluentes emitidos pelos veículos na rede. O SYNCHRO realiza o prognóstico da emissão dos veículos predizendo, primeiramente, o consumo de combustível, o atraso total em veículos-horas/horas e as paradas totais em paradas/hora. O consumo de combustível é ainda multiplicado pelos fatores de ajustes em função do tipo de emissão, com o intuito de se estimar corretamente as emissões oriundas dos veículos (TEIXEIRA, 2006).

## Modelos Mesoscópicos

### TRANSYT

O simulador de tráfego *Traffic Network Study Tool* (TRANSYT) foi escrito em FORTRAN IV. Na área de Engenharia de Tráfego, o TRANSYT é um dos simuladores de tráfego mais usados e conhecidos, após um processo exaustivo de validação.

O TRANSYT é composto de um modelo determinístico de simulação de tráfego e de um algoritmo heurístico de minimização, cuja função objetivo é uma combinação linear do número de paradas e do atraso sofrido pelos veículos nas diversas aproximações da rede de interseções semaforizadas (OLIVEIRA, 1997 *apud* TEIXEIRA, 2006).

O modelo simulado utilizado pelo TRANSYT se constitui basicamente em uma rede viária semaforizada e por um modelo de otimização gerador de planos fixos que minimiza os valores totais de atraso e paradas veiculares. Esta rede é representada por um conjunto de nós (interseções semaforizadas) e links (trechos entre os nós).

Com a finalidade de aperfeiçoar os planos semaforicos, e conseqüentemente reduzir o Índice de Desempenho, índice este que pondera os atrasos e números de paradas associando custos monetários a cada um deles, o programa utiliza como funções de demanda e serviço os padrões de tráfego que são IN – representa o padrão de tráfego que cruzaria a linha de parada caso o mesmo não fosse detido nesta linha pelo semáforo, GO – representa o comportamento do fluxo de tráfego quando liberado na linha de parada da interseção, calculado a partir do fluxo de saturação; e OUT – representa o comportamento do tráfego que deixa o link (POYARES, 2000, DALTO, 1994 *apud* PORTUGAL, 2005, TEIXEIRA, 2006).

“Os semáforos em corredores arteriais operam normalmente coordenados, para permitir a progressão dos movimentos de tráfego. Muitos sistemas operam com programação semaforica de tempo fixo, ou off-line, com base em dados históricos de fluxos veiculares. Neste tipo de operação, a prioridade para o transporte público pode ser dada por meio de configurações nos tempos semaforicos (ciclo, tempos de verde e defasagem) que favoreçam os veículos do transporte público. A defasagem entre os semáforos pode ser ajustada em função da velocidade dos ônibus e dos tempos de

embarque/desembarque nos pontos de parada” (OLIVEIRA NETO e LOUREIRO, 2004).

“As estratégias de coordenação semaforica são eficientes para promover a fluidez das correntes de tráfego e melhorar a qualidade operacional do sistema viário, reduzindo tempos de percurso, atrasos e paradas. Sendo assim, estabelecer adequadamente as defasagens entre interseções semaforizadas de corredores arteriais ou redes torna-se muitas vezes mais eficiente e menos oneroso do que algumas intervenções físicas” (LINDAU *et al.*, 2004 *apud* TEIXEIRA, 2006).

O modelo utilizado pelo TRANSYT representa o comportamento do tráfego, para um ciclo médio, em uma rede onde a maioria das interseções é controlada por semáforos operando em tempo fixo. Para simular o comportamento em apenas um ciclo, todos os valores de fluxo fornecidos devem refletir condições médias para o período de demanda em estudo. A base do modelo de simulação é a representação dos padrões cíclicos de tráfego que representam as taxas médias de chegada em unidades de carro de passeio (UCPs) para pequenos intervalos do ciclo para cada link. Esses intervalos são os passos que dividem o ciclo em períodos de igual duração, de 1 a 3 segundos, e para os quais são determinados todos os valores utilizados no processo (VINCENT *et al.*, 1980, OLIVEIRA, 1997 *apud* TEIXEIRA, 2006).

Os dados básicos de entrada são: tempo de ciclo para a rede, número de passos por ciclo, tempo total de simulação, tempos de reação dos motoristas no início e fim de verde, valores de custos para o índice de desempenho, listas de nós a ser otimizados utilizados, programações de semáforos, lista de arcos com máximo de dois quilômetros, pesos de paradas e atrasos, fluxo de saturação, fator de dispersão de pelotões, fluxo de entrada, velocidade, tempo média de parada de ônibus e fator de dispersão (PORTUGAL, 2005).

## SCOOT

O simulador de tráfego SCOOT é um sistema de controle de tráfego em redes urbanas semaforizadas, tem sido implementado em várias cidades ao redor do mundo nas últimas décadas. Com o intuito de estimar as chegadas dos veículos, controlar os sinais

de trânsito e os links adjacentes em tempo real, requer detectores implantados nas aproximações de todas as interseções viárias (SOUSA, 2003).

“Num sistema adaptativo, como o SCOOT, os semáforos em corredores arteriais podem operar coordenados com programação semaforica em tempo real com base em informações da demanda veicular detectada por laços indutivos localizados nas aproximações semaforicas. Este tipo de operação é adequado em interseções que apresentam variação do fluxo de tráfego ao longo do dia, entre os dias da semana, ou até mesmo entre meses do ano. A filosofia do SCOOT é reagir às mudanças no tráfego por meio de freqüentes, porém pequenas, mudanças no ciclo, tempos de verde e defasagens de um determinado plano para um conjunto de semáforos que formam uma área de controle, visando à adequação deste plano às variações momentâneas no comportamento do tráfego” (OLIVEIRA NETO e LOUREIRO, 2004).

## SIRI

Siri é um simulador mesoscópico, na forma de programa de computador, cuja função é calcular programações de semáforos coordenados operando na estratégia de tempos fixos. O programa otimiza o desempenho dos semáforos no que tange ao atraso e ao número de paradas. Foi desenvolvido pela CET de São Paulo e seu lançamento ocorreu no início de 2004. Atualmente, 118 semáforos paulistanos operam segundo os tempos calculados pelo Siri, que se encontra na versão 2.0.

## Modelos Microscópicos

### INTEGRATION

O simulador de tráfego INTEGRATION segundo TEIXEIRA (2006), devido a representação individual da velocidade, aceleração e os movimentos dos veículos ao longo de cada décimo de segundo.

É um modelo que permite a alocação de tráfego e a simulação de todos os tipos de interseções. É possível determinar diferentes classes de motoristas associadas a diferentes demandas. Fornece indicadores de tempo de viagem, atraso, consumo de combustível e emissão de poluentes para cada veículo individualmente, assim como

para links isolados ou agregados. Apenas para o link, fornece indicadores de densidade, velocidade e nível de serviço. Apresenta uma interface gráfica, que permite a entrada de dados, a visualização da simulação do tráfego e a consulta dos dados de entrada, principalmente nós, arcos, semáforos, matriz O-D, incidentes e saída do programa (SOUSA, 2003).

## PARAMICS

O simulador de tráfego *Parallel Microscopic Traffic Simulation* (PARAMICS) foi desenvolvido pelas empresas SIAS e Quadstone segundo PORTUGAL (2005), originalmente calibrado para condições de tráfego do Reino Unido, em 1998 (SOUSA, 2003).

O PARAMICS é um simulador de redes de tráfego que considera as características individuais de cada veículo. Permite o gerenciamento de tráfego através de políticas públicas de estacionamento, restrição de uso de faixa de tráfego, bloqueios de tráfego e filas de ônibus quando acessam pontos de parada, além de prioridade para ônibus (considera o transporte público e suas interações com outras modalidades nas paradas) segundo POYARES (2000).

O simulador possui uma interface gráfica que facilita a entrada de dados (volumes de tráfego, proporções de giro nas interseções ou matriz O/D) e apresenta a animação da simulação em três dimensões que poderá ter o auxílio de uma imagem importada no formato bitmap, além de exibir informações sobre fluxos de tráfego, filas, densidade, velocidade, atraso, emissão de poluentes, entre outras. Estas variáveis podem ser visualizadas graficamente, numericamente ou exportadas para arquivos no formato ASCII.

## TRANSPLAN

O simulador de tráfego TRANSPLAN constitui uma implementação do modelo de transportes desenvolvida em linguagem Visual BASIC capaz de rodar no sistema Microsoft Windows. As razões que embasam o desenvolvimento do programa são essencialmente didáticas, pois ele surgiu enquanto instrumento de apoio ao ensino da

disciplina de Planejamento Regional e Urbano do Curso de Licenciatura em Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. Como consequência das preocupações didáticas que estão na sua origem, o programa não permite realizar a avaliação do impacto de intervenções sobre o desempenho do sistema de transportes como acontece em programas comerciais. Em contrapartida, o TRANSPLAN apresenta uma maior facilidade de uso, por ser mais amigável no tocante à entrada de dados e saída de resultados e por ser menos exigente do que os programas comerciais em termos de necessidades de informação (LINDAU *et al.*, 2004 *apud* TEIXEIRA, 2006).

### TRAF-NETSIM

O simulador de tráfego TRAF-NETSIM (TSIS, 2002) foi desenvolvido pela Federal Highway Administration (FHWA) e tem sofrido aprimoramentos desde 1971 com o nome de NETSIM. O simulador modela interseções com prioridade, interseções semafóricas ou atuadas pelo tráfego com detalhamento de geometria e proporções de giros nas interseções ou com matrizes O/D.

Os veículos são representados individualmente e o desempenho operacional é determinado a cada segundo. Cada veículo é identificado pela sua categoria, entre quatro possíveis (automóvel, ônibus, caminhão e *carpool*), e pelo seu tipo, existindo até nove diferentes tipos de veículos com diferentes características operacionais e de desempenho. O ambiente de simulação é representado por uma rede compreendendo nós e links, em que os primeiros representam as interseções e os segundos as vias urbanas.

A movimentação do veículo na rede é realizada de acordo com a teoria de perseguição dos veículos, considerando-se a interferência do controle de tráfego, das atividades dos pedestres, da operação dos coletivos, do desempenho dos veículos, dentre outros. O modelo permite a alocação de tráfego. Como saída, o modelo apresenta medidas de eficiência (representadas por indicadores de desempenho tais como: velocidade, fluxo, densidade, atraso, fila, movimentos de giro, entre outros), consumo estimado de combustível, emissão de diversos poluentes. Permite a utilização do TRAFVU (TRAF Visualization Utility), que é uma ferramenta gráfica, para visualizar os resultados da simulação. O TRAFVU exhibe redes de tráfego, anima a simulação do tráfego, mostra o

funcionamento dos semáforos, disponibiliza as medidas de efetividade (MOEs) e apresenta os atributos dos links, nós, rotas de ônibus, pontos de ônibus, áreas de estacionamentos e áreas de embarque e desembarque.

## DRACULA

O simulador de tráfego *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* (DRACULA) foi desenvolvido pela Universidade de Leeds (Grã-Bretanha). O software representa o movimento dos veículos através de rotas pré-especificadas, e a evolução dos veículos ao longo da rede é estimada através de modelos de “*car-following*” (perseguição de veículos) e “*lane-changing*” (mudança de faixas), considerando o comportamento desejado dos motoristas, a sinalização e o controle nas interseções e arcos.

O DRACULA modela interseções com prioridades, rotatórias, semáforos de tempo fixo ou atuado pelo tráfego, trabalhando com seis tipos diferentes de veículos detalhando as características físicas e operacionais de cada tipo de veículo.

“Os serviços de ônibus são representados em termos das rotas e das frequências, das paradas de ônibus ao longo do percurso e das faixas exclusivas de ônibus. A demanda de passageiros para os serviços de ônibus representa a taxa do fluxo de passageiros embarcando por hora em cada parada de ônibus. Também é possível especificar diferentes horários de embarques para as categorias de passageiros: aqueles que possuem um passe de ônibus ou smart card, passageiros pagando a passagem a bordo com a quantia exata ou não e etc” (TEIXEIRA, 2006).

As variáveis de saída do simulador são: volumes alocados, velocidade, atraso, fila, consumo de combustível, emissão de poluentes. O DRACULA é compatível com o meso-simulador SATURN (MAIOLINO e PORTUGAL, 2001).

## VISSIM

O simulador de tráfego VISSIM corresponde a um módulo do TPS VISION. Este software foi desenvolvido pela Universidade de Karlsruhe na Alemanha e permite simular uma grande variedade de tipos de vias e transportes urbanos.

Neste modelo os fluxos da rede são lançados através de matrizes O/ D ou com proporções de giros nas interseções para cada tipo de veículo modelado, permitindo então a alocação de tráfego na rede montada que pode simular redes integradas de vias expressas, vias urbanas com qualquer composição de tráfego, tais como, ônibus, trens, veículos, pedestres e bicicletas.

O usuário inicia a montagem da rede, através de uma interface amigável gráfica oferecida pelo simulador, que modela interseções com prioridade, de tempos fixos ou atuado pelo tráfego, rotatórias e rampas de vias expressas.

“O VISSIM usa as Leis de Perseguição no modelo de comportamento desenvolvido por Wiedemann em 1974, e o conceito básico deste modelo, é que os motoristas dos veículos mais rápidos começam a desacelerar até atingir a sua percepção individual do limite dos veículos mais lentos. Como os mais rápidos não podem determinar exatamente a velocidade dos mais lentos, sua velocidade cai abaixo desta velocidade o que os obriga a acelerar delicadamente até atingir outra percepção de limite. O resultado é um processo interativo de aceleração e desaceleração” MOREIRA (2005).

O modelo tem uma potente ferramenta para animação em 3D, que permite a diferenciação dos diversos tipos de veículos representados, assim como, alterar o ângulo de visualização durante a apresentação.

## UTCS-1

O simulador de tráfego *Urban Traffic Control System* (UTCS-1) foi desenvolvido por Peat, Mitchell e General Applied Science Laboratories (GASL) segundo ROSS e GIBSON (1997).

Este programa realiza a análise de redes urbanas podendo representar a interferência de pedestres, mudanças de faixas, manobras de giros nas interseções e controle semafórico, segundo POYARES (2000).

Utilizado principalmente para avaliação de estratégias de controle de tráfego, como alteração de estruturas e tempos semafóricos, implantação de faixas exclusivas para giro à esquerda, conversão à direita com o sinal vermelho (comum nos EUA) e priorização de corredores em horários de pico (SOUSA, 2003).

## SIMTRAFFIC

Segundo MOREIRA (2005), o SIMTRAFFIC foi desenvolvido pelos mesmos autores do SYNCHRO (modelo macroscópico). O SIMTRAFFIC é muito semelhante ao CORSIM, facilitando a adaptação daqueles que já estão habituados ao uso deste. Algumas diferenças estão nas definições como no conceito de fila média, pois diferem as definições da velocidade a partir da qual os veículos estão em fila e oferece também o cálculo da fila de 95% do tempo.

### **2.4 – Os Congestionamentos**

A compreensão do fenômeno “congestionamento” não é tão simples como o dito popular: “têm muito carro pra pouca rua”. Os fatores que contribuem para a elevação dos níveis de congestionamentos herdam, juntamente com os fatores causadores, tamanha dificuldade.

Um Sistema de Transporte eficiente é um dos pilares de sustentabilidade das cidades modernas. Qualquer deficiência desse Sistema prejudica diretamente as atividades exercidas nas cidades.

A situação de circulação viária, em centros urbanos das grandes cidades, está cada vez mais dependente da operação de trânsito. Por causa dos atuais níveis de congestionamentos, ou até mesmo nos períodos não congestionados, as com elevado número de veículos, a fluidez do trânsito está intrinsecamente dependente da eficiência da operação das interseções. Ou seja, na maioria das vezes, da eficiência da operação dos semáforos e sua programação.

No futuro, com o desenvolvimento e o aumento cada vez mais expressivo da propriedade de automóveis esse quadro se alterará seguindo para níveis de saturação das vias como acontece em várias grandes cidades do mundo. E com o investimento prévio, seus custos serão muito menores do que aquelas cidades que não investirem e terão que despende grandes quantias para resolver ou atenuar o problema.

## 2.4.1 – Conceituação dos Congestionamentos

O congestionamento se forma pela incapacidade de absorção do crescente volume de veículos por parte do sistema viário atual e suas características. Portanto, focaremos na descrição das conseqüências geradas pelos congestionamentos no sistema de transportes e para a sociedade como todo.

O congestionamento nas vias urbanas está cada vez mais presente nas principais cidades brasileiras. Com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da sociedade urbana através de medidas que atenuem ou solucionem o problema, aprofundamos, neste capítulo, o estudo sobre o congestionamento nas cidades.

Para RESENDE e SOUSA (2009), nos últimos anos o congestionamento tem-se agravado principalmente nas grandes metrópoles brasileiras, pesquisa realizada durante os anos de 2004 até 2007.

Após a realização de uma extensa revisão bibliográfica sobre o assunto congestionamento, constatamos que existem diversos estudos que abordam o tema contemplando os três regimes do comportamento do tráfego: regime de não saturação, regime de saturação e regime de super-saturação.

A caracterização destes três regimes é em função da taxa de saturação do tráfego, ou seja, da relação volume de veículos sobre capacidade viária ( $v/c$ ), que explica que quanto maior for a taxa de saturação maior a utilização das vias.

Quando a taxa de saturação é mais próxima do valor zero, o regime do comportamento de tráfego é de não saturação; caso a relação  $v/c$  estiver abaixo e próxima do valor 1 (um) o regime é de saturação, contudo se a relação  $v/c$  estiver acima do valor 1 o regime é de super-saturação.

Se a relação volume capacidade ultrapassar o valor de 0,70, o nível de serviço que representa a percepção do usuário com relação ao serviço prestado, tende a ficar comprometido (CARAPITO, 2002).

A caracterização dos regimes de comportamento de tráfego é relevante nesta pesquisa, pois ela trata de uma investigação do comportamento de tráfego a partir do incremento de fluxo até a situações de saturação, seja ela de regime saturado ou super-saturado.

Quando a relação volume sobre capacidade é crítica, com valores próximos de 1, a observação do aumento do fluxo no tráfego se torna difícil, algo que a presente pesquisa se propõe a estudar através da avaliação da capacidade de absorção do aumento do fluxo de veículos.

O congestionamento é produzido pela extrapolação da capacidade das vias de absorver o elevado número de veículos circulando em um determinado local. A capacidade das vias tem relação direta ao fluxo de saturação que representa a quantidade de veículos capaz de trafegar em um período de tempo. Normalmente, o fluxo de saturação é estimado por faixa pelo período de uma hora.

O Highway Capacity Manual 2000 cita os fatores que influenciam o fluxo de saturação, e conseqüentemente a capacidade. Alguns destes fatores são:

- Características operacionais: número de faixas por pista de rolamento, largura da faixa, giros à esquerda, giros à direita, veículos pesados no tráfego;
- Características topográficas: greide do pavimento;
- Características de políticas públicas de transportes: estacionamento, paradas de ônibus;
- Características de uso do solo: tipo de área, utilização das faixas de rolamento, movimento de pedestres e ciclistas.

RESENDE e SOUSA (2009) em seu trabalho informam que para DOWS (2004) e BERTINI (2005) não há uma definição universal de congestionamento, porém uma via pode ser considerada congestionada se a velocidade média estiver abaixo da capacidade para a qual foi projetada. Esta definição não é precisa por haver diferentes perspectivas sobre as condições congestionadas.

Segundo THURGOOD (1995) *apud* MENESES *et al* (2009), congestionamento é quando a operação de vias atinge um baixo nível de qualidade aceitável pelo usuário, provocando um acréscimo do tempo de viagem e do atraso, da emissão de poluentes, da poluição sonora, entre outros.

Segundo CARAPITO (2002), O termo congestionamento se associa a outros dois termos: capacidade da via e nível de serviço. O primeiro termo é quantitativo e refere-se à quantidade máxima de veículos atendidos em uma via, e o segundo, qualitativo.

Os fatores que causam diretamente o congestionamento são: o excesso de veículos, acidentes, quebras de veículos, operações de trânsito e de fiscalização, manifestações públicas, sinalização semafórica ineficiente entre outros. A exceção do excesso de veículos, os demais fatores reduzem a capacidade das vias de absorver o fluxo passante. Todos estes fatores produzem congestionamento em função da demanda e da oferta, ou seja, do volume de fluxo em um determinado horário, principalmente nos períodos de pico e entre-pico onde a demanda por viagens é maior.

SCHWEITZER e TAYLOR (2008) sugerem que dois fatores básicos afetam o trânsito e causam congestionamento: excesso de veículos em horários específicos e acidentes ou ocorrências (pneu furado, falta de combustível, pistas bloqueadas para reparos, condições do tempo, etc.) que podem bloquear a pista.

A duração, extensão, intensidade e periodicidade do congestionamento são as componentes básicas que podem representar o fenômeno congestionamento (LOMAX *et al.*, 1997 *apud* MENESES *et al.*, 2009).

A duração compreende o período de tempo que o congestionamento afeta de alguma forma a rede viária, já a extensão estima o número de veículos prejudicados pelo congestionamento, a intensidade indica a severidade do congestionamento e finalmente a periodicidade define o tipo de frequência de formação de congestionamento, sendo recorrente ou não recorrente.

Os congestionamentos podem ser qualificados em função de algumas externalidades como: aumento de tempo de viagem, aumento de poluição sonora e atmosférica; redução da segurança viária, de mobilidade e de acessibilidade urbana. (LEVINSON e LOMAX, 1996 *apud* MENESES *et al.*, 2009).

Os congestionamentos provocados por acidentes com veículos pesados têm maiores impactos que os demais, devido ao grande período de tempo necessário para a remoção destes veículos. Os veículos de carga são os maiores responsáveis pelas emissões de poluentes e fumaça e contribuem para o congestionamento urbano devido as grandes dimensões, manobras lentas, emissões de ruído, entre outros. Este tipo de veículo ocupa parcela significativa da capacidade viária (MADEIRA, 2000 *apud* FACCHINI, 2006). Quanto menor o número de veículos pesados na corrente de tráfego, menor a gravidade dos congestionamentos.

A crítica situação de fluidez nas grandes cidades é devido ao fato de que as pessoas procurem emprego onde as empresas se instalam, mesmo que sofram com a poluição e o congestionamento PLOEG e POELHEKKE (2008).

ETTEMA et. al. (2006) citam que embora a mobilidade seja limitada nos centros urbanos, é lá que são oferecidas diferentes oportunidades para as pessoas e as empresas se localizarem.

Há diversas estratégias sendo executadas no mundo inteiro com o objetivo de combater o congestionamento e seus efeitos. A engenharia de tráfego propõe uma série de medidas com a finalidade de aumentar a capacidade das vias sem intervenções físicas de médio e grande porte (obras). A estratégia de controle de tráfego é uma das técnicas mais utilizadas e eficazes no combate ao congestionamento, com o intuito de melhorar a operação semafórica, a circulação, sentido das vias, entre outros.

Para a manutenção da qualidade de vida nas cidades é fundamental o controle do tráfego urbano através de dispositivos como a sinalização de trânsito (vertical, horizontal e semafórica) e seus projetos de instalação a fim de regulamentar, advertir e orientar o tráfego (DENATRAN, 1984 *apud* OZELIM e JACQUES, 2008).

O sistema de controle de tráfego organiza e coordena o fluxo de tráfego, regulando o direito de passagem e controlando a velocidade dos veículos, além de tornar o uso de uma via compatível com sua função dentro do sistema viário garantindo a segurança necessária. (BECK, 1999 *apud* OZELIM e JACQUES, 2008)

Inicialmente os sistemas de controle do tráfego urbano objetivaram melhorar as condições de circulação e fluidez dos veículos privados. Posteriormente, a priorização do transporte coletivo, a maximização da segurança dos pedestres e dos ciclistas, a redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes também foram incorporados aos objetivos do controle do tráfego (LEANDRO, 2001).

A gestão municipal do tráfego através de sistema centralizado de controle de tráfego por área (CTA) promove uma gestão mais eficiente e eficaz dos deslocamentos viários (LOUREIRO *et al.*, 2002 *apud* MENESES *et al.*, 2009). Monitorando e gerenciando a circulação viária de modo a favorecer a fluidez urbana e mitigar os efeitos ambientais causados pelos congestionamentos.

Outra estratégia utilizada é a construção de novas vias e a expansão das que já existem, possibilitando uma melhora no sistema já congestionado em curto prazo, porém além de não solucionar o problema esta alternativa traz vários problemas, como aumento da poluição sonora e atmosférica, diminuindo a qualidade de vida da população (PEREIRA, 2005).

A aplicação de estratégias de Gerenciamento de Demanda de Tráfego (TDM – Traffic Demand Management) se torna uma alternativa à construção e à expansão de novas vias. As técnicas de TDM propõem a mudança do comportamento das viagens no tempo, no espaço e na escolha modal, a fim de aumentar a eficiência dos deslocamentos e reduzir não só os custos dos congestionamentos como também os custos de estacionamento e manutenção das vias, reduzir a degradação ambiental, insegurança e imobilidade dos pedestres (DOURADO e CAMPOS, 2006).

O Departamento de Transportes Britânico realizou uma pesquisa e verificou que 60% dos motoristas aceitam o congestionamento, desde que o atraso seja previsível (DFT, 2004). Para que isto se torne possível, deverá ser utilizado Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) capazes de estimar e informar ao usuário o tempo perdido no trajeto. Observou-se também que embora as pessoas tenham prejuízos com o congestionamento, elas não estão dispostas a desistir de utilizar o automóvel mesmo que isso reduza os congestionamentos.

ROSS e YINGER (2000) constataram nos seus estudos que o individualismo colabora fortemente para o aumento dos congestionamentos. Diante deste comportamento das pessoas, as técnicas de TDM estão focadas em informar o usuário sobre a situação das vias e do tráfego, tempo de viagem, serviços e rotas alternativas.

Para SMILGIS (1987), existem duas categorias de motoristas, os que aceitam os congestionamentos e entendem que nada pode ser feito e os que se irritam com o tempo perdido e causam mais barulho piorando o quadro coletivo de tensão.

Uma das medidas adotadas para restringir a quantidade de veículos em determinadas áreas a fim de reduzir o congestionamento é a cobrança de pedágio urbano ou de taxas para estacionar (MAY, 1986 *apud* FACCHINI, 2006). PIGOU (1920) *apud* FACCHINI (2006) propôs inicialmente a cobrança pelo uso do espaço viário para gerenciar congestionamentos.

O fluxo de tráfego tem comportamento flutuante ao longo do dia e em função da demanda, assim como o fluxo, o congestionamento também tem comportamento variável. Esta demanda reflete o padrão do comportamento da sociedade principalmente com relação ao trabalho, ou seja, os períodos que as pessoas vão e voltam para o trabalho. Neste caso, o congestionamento é previsível e ocorre sempre nos mesmos períodos, caso contrário ele ocorrem de forma imprevisível, causados por acidentes, quebras, e situações de emergências nas vias.

Em função da demanda, a flutuação do tráfego também pode ser semanal – ao longo dos dias da semana, mensal – ao longo dos dias do mês, anual – ao longo dos dias do ano.

O congestionamento varia em função da demanda (dias da semana, dias do mês, semanas do mês, estações, eventos especiais, feriados) e velocidade (acidentes, áreas urbanas, tempo, horário de pico). O congestionamento também pode variar em função do tipo de coordenação semaforica, da eficiência da fiscalização, e das condições topográficas (IPEA, 1998).

A necessidade de deslocamentos das pessoas nos horários de pico gera a grande concentração do uso da rede viária geralmente acima da sua capacidade causando grandes congestionamentos (RESENDE e SOUSA, 2009).

Segundo CARAPITO (2002), o congestionamento se categoriza em recorrente e não recorrente. A previsibilidade da ocorrência do congestionamento caracteriza-o como recorrente, por exemplo, nas horas de pico e determinados eventos. Caso contrário quando não se consegue prever a formação do congestionamento seja através de acidentes, intemperismos e outras causas, o congestionamento é dito não recorrente.

A pesquisa de RESENDE e SOUSA (2009) propõe analisar, de forma qualitativa e quantitativa, a exposição da população de quatro cidades brasileiras ao congestionamento. Nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Porto Alegre foram eleitos alguns trechos de vias que congestionam pelo excesso de volume de veículos e foram medidos, durante o período de pico da manhã e da tarde, os tempos de congestionamento até que o fluxo retornasse a fluidez normal, sem vestígio de lentidão.

Esta pesquisa detectou um aumento médio nos tempos de congestionamento de 16%, e destacando a percepção individual dos usuários, verificou-se que São Paulo é a cidade com maior taxa de utilização das vias pesquisadas, Belo Horizonte apresenta a maior taxa de usuários frequentes, seguida de Porto Alegre. Já o Rio de Janeiro se destaca pela maior incidência de congestionamentos durante dois períodos por dia, caracterizando os horários de pico da manhã e tarde. Em geral, quando tem possibilidade, os usuários do Rio de Janeiro tendem a “voltar mais tarde para casa” para escapar dos períodos mais congestionados.

Segundo RESENDE e SOUSA (2009), nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Porto Alegre, o tempo de dissipação de congestionamentos em horários de pico tem crescido em média 15% ao ano, ou seja, a cada período de duração do pico se tornar maior. E se nada for feito com o objetivo de reverter este processo o pico da manhã se encontrará com o pico do almoço, que por sua vez, encontrará o pico da tarde. Esta situação caracterizará um travamento no trânsito durante todo o dia.

Ao analisar, em determinados trechos, a formação das filas de veículos provocadas por congestionamento, RESENDE e SOUSA (2009) constataram que o comprimento das filas de veículos cresce por ano cerca de 10 a 19 %. E o tempo de viagem é o maior problema enfrentado pelos usuários permanentes (motoristas de ônibus, taxistas, etc.) e pelos usuários eventuais.

TOLFO e PORTUGAL (2006) investigaram a utilização do micro-simulador TRAF-NETSIM como técnica utilizada para análise de desempenho de redes viárias impactadas por Pólos Geradores de Viagens (PGV). Para tal, o procedimento foi aplicado em uma rede viária de entorno de um Shopping Center no Rio de Janeiro de 23 mil m<sup>2</sup> de área bruta locável (ABL). Os indicadores de desempenho utilizados para a avaliação da rede foram o atraso (s/veículo), a velocidade (km/h) e o tempo de viagem (s/veículo). Considerando 2.778 viagens geradas por dia para este PGV, conclui-se que esta demanda não é suficiente para mudar significativamente o desempenho da rede.

LAZZARINI *et al* (2008) avaliaram as condições do fluxo de veículos dentro do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando o micro-simulador TRAF-NETSIM. Uma vez que o Campus Santa Mônica possui um grande número de viagens e conseqüentemente grande quantidade de veículos.

Após o processo de simulação, eles elegeram as variáveis de consumo de combustível, emissão de poluentes, fila média, fila máxima, porcentagem de congestionamento, volume na hora pico para analisar o desempenho da rede. Estes autores concluíram que os resultados das simulações, de modo geral, são coerentes com as condições de circulação reais do Campus Santa Mônica, identificando-o como um pólo gerador de viagens (PGV).

#### **2.4.2 – Panorama dos Congestionamentos**

A priorização pelo transporte individual transformou a cidade de São Paulo, em uma cidade caótica com até 190 km de filas na hora do pico, segundo SILVA e ZARATTINI (2003).

O principal meio de transporte público nas cidades brasileiras ainda é o ônibus conforme se pode observar no gráfico 2.1, apesar das pesquisas realizadas pela NTU (2002) nas oito maiores capitais brasileiras, demonstrarem redução de 25 % dos passageiros pagantes entre 1994 e 2001, segundo OLIVEIRA NETO e LOUREIRO (2004). As condições inadequadas de operação do transporte público, operação em vias com tráfego misto de motos, automóveis e caminhões, além de circular em locais com altos níveis de congestionamentos refletem na baixa eficiência e capacidade de operação, com velocidades reduzidas, longos tempos de viagens, aumento do custo operacional (aumento de tarifas) e queda no nível de atendimento ao usuário.

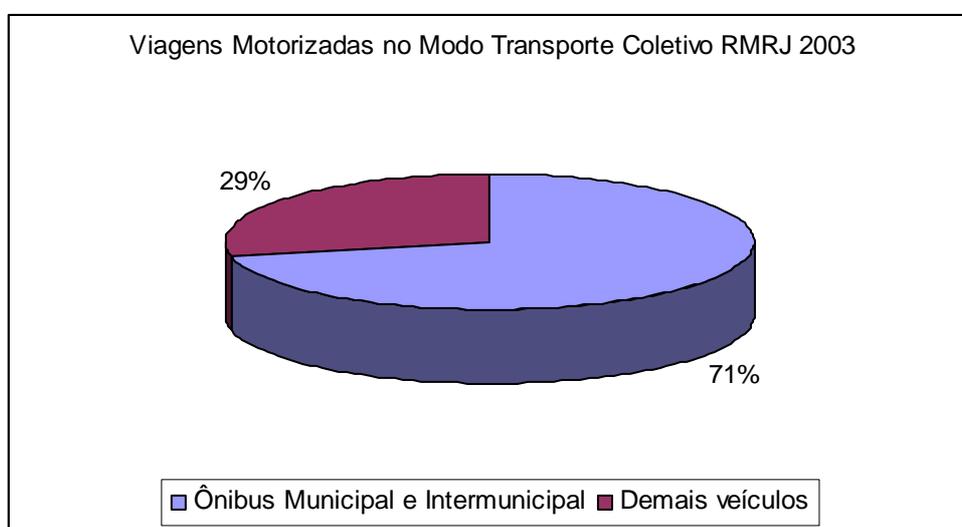


Gráfico 2.1 – Viagens Motorizadas no Modo Transporte Coletivo RMRJ 2003, PDTU.

Os planejadores de transportes consideram os sistemas de transporte público coletivo com sendo fundamentais para a melhoria do tráfego e da circulação em uma cidade. Ainda, segundo BALASSIANO (1996), o ônibus continua sendo o principal modo de transporte público em muitas cidades do mundo, sendo do ponto de vista social, mais eficiente que o transporte individual. Apesar de ser a principal tecnologia de veículo de transporte público e transportar a maioria das pessoas da cidade do Rio de Janeiro e em várias cidades brasileiras, a qualidade de serviço oferecida ao usuário é precária. O impacto dos congestionamentos no sistema de transporte público se dá de maneira distinta. Metrô e trens que se deslocam em vias totalmente segregadas não sofrem diretamente com o carregamento da via. Já os ônibus sofrem com a redução das

velocidades médias, maior variabilidade no tempo de espera do usuário, maior tempo de viagem devido aos congestionamentos.

Um quadro da realidade do país com relação ao transporte, levantado pela pesquisa do IPEA/ANTP (1998) aponta para o excesso do tempo de viagem, tanto para o transporte individual quanto para o coletivo (maior tempo perdido).

Segundo SCHRANK e LOMAX (2005), que analisaram os efeitos dos congestionamentos, o tempo de viagem é uma variável sensível aos níveis de saturação das vias. Sua redução, ou aumento de tempo, é sentido imediatamente pelos usuários, tanto os do transporte coletivo, quanto para o transporte individual, diferentemente dos efeitos de emissões de poluentes que são percebidos de médio a longos prazos.

Com isso, a variável tempo de viagem é a base para a quantificação de muitos outros fatores produzidos nos congestionamentos. Por exemplo, com as diferenças do tempo de viagens, calcula-se o consumo excessivo de combustíveis, valor do tempo para cada indivíduo, determinação do tempo que as pessoas não têm para desenvolverem atividades econômicas (perdem as pessoas, a cidade, o estado e o país).

Além da magnitude do tempo de viagem ser decisório para a utilização do transporte coletivo, isto é, ele pode ser um instrumento de política de incentivo ou desestímulo ao uso do transporte público. Se um sistema de linhas de ônibus opera com qualidade, segurança e confiabilidade, e com pequena variação no tempo de viagem, o usuário cativo não deixará de usá-lo. E se o usuário do transporte individual perceber que embora esteja em padrões mais confortáveis no automóvel (talvez esse usuário não preze tal conforto como pouco barulho ou privacidade, e sim outros aspectos, como redução no número de paradas) também poderá utilizar o transporte público, se este for de boa qualidade (SCHRANK e LOMAX, 2005).

Por causa dos custos generalizados dos congestionamentos e do maior impacto nos usuários que percebem a degradação do serviço de ônibus, há o incentivo para este usuário migrar para o transporte individual, agravando conseqüentemente os níveis de congestionamentos.

Para evitar essa migração, há a necessidade de aumentar a qualidade do transporte público, tornando-o atrativo à todos os usuários, principalmente os do transporte

individual. Para tal haverá de ter medidas de priorização e incentivo ao transporte público, cada vez mais eficiente e de melhor qualidade, e desestímulo ao uso do automóvel.

SILVA e ZARATTINI (2003) buscam estudar uma reestruturação dos sistemas de transporte público, a fim de recuperar a confiança dos usuários e possibilitar a escolha do transporte público como uma opção ao transporte particular.

A fim de atingir seus objetivos, DUARTE (2003) propõe medidas de aumento de conforto e segurança aos usuários, aumento da velocidade comercial dos ônibus e redução do tempo de viagem, ordenamento da oferta de transporte reduzindo o desperdício e otimizando a frota. Tudo isso com o intuito de readquirir os usuários do transporte coletivo perdido para o transporte individual. Ele ainda sugere um novo modelo de operação e fiscalização apoiado pelas empresas municipais de transportes da cidade.

DUARTE (2003) ainda ressalta a importância da consolidação de corredores com grandes eixos estruturais do sistema de transporte principalmente em corredores com baixa velocidade comercial de ônibus e grande quantidade de passageiros.

Esquemas de prioridade de circulação para o transporte público, boas condições físicas e infra-estrutura adequada do sistema viário, conforto, segurança e eficiência do sistema são algumas ações que agregam qualidade ao transporte público e qualidade de vida dos usuários e habitantes da região.

“O Objetivo de um Centro de Controle Operacional (CCO) é consolidar em um único local todas as informações de transporte e trânsito existentes, através de telas de consulta com atualizações on-line, que possibilite o planejamento, gerenciamento, monitoração, fiscalização e operação de todo o sistema de transporte público. A partir do CCO serão possíveis ações efetivas na operação do transporte público na cidade, sejam elas por parte do poder público ou por parte das concessionárias que operam o Sistema. O CCO irá dispor aos usuários de informações operacionais em tempo real sobre o transporte e trânsito da cidade” SILVA e ZARATTINI (2003).

Com a melhoria da circulação de carros e ônibus, ocorre a redução de impactos ambientais, de acordo com RIBEIRO e BALASSIANO (1997), um passageiro de carro

na região metropolitana do Rio de Janeiro está poluindo com relação a emissão de CO<sub>2</sub> seis vezes mais que um passageiro de ônibus.

As conseqüências dos fatores demonstrados na pesquisa da IPEA/ANTP (1998) são devidas aos aumentos do tempo de viagem gasto por dia por pessoa e conseqüentemente redução das atividades exercidas por estas pessoas (as pessoas deixam de realizar atividades econômicas, educacionais e de lazer), o aumento da poluição atmosférica, aumento dos acidentes pela não compatibilização do meio ambiente com o trânsito (comportamento do usuário).

Há uma inversão de papel na esfera de poder dos governos administrativos, infelizmente não há uma política de priorização do transporte público, aliás o transporte é um setor em que os governantes colocam em segundo plano, mesmo diante da importância do transporte apresentada por PIRES (1997) para a qualidade de vida e o desenvolvimento urbano.

### **2.4.3 – Caracterização dos Congestionamentos no Rio de Janeiro**

#### **Informações sobre RJ**

Para uma melhor compreensão dos congestionamentos na Cidade do Rio de Janeiro, detalharemos algumas informações e características sobre a Cidade, padrão de viagens, frota brasileira de veículos e sistema viário.

O Rio de Janeiro é a segunda maior cidade brasileira com uma população de 6.093.472 de habitantes estimada em 2007 pelo IBGE representando 40 % da população do Estado, possui segundo dados de 2005 participação de 5,5% do PIB Nacional, 48,2% do PIB Estadual dentre um total de 92 municípios e 70,4% do PIB da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

#### **Padrão de Viagens**

É válido observar o comportamento das viagens realizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ especialmente em sua principal cidade, o Rio de Janeiro. As viagens podem ser realizadas pelos modos motorizados e não motorizados, e segundo PDTU (2005) a Região Metropolitana do Rio de Janeiro produz aproximadamente 19 milhões de viagens sendo 37 % das viagens realizadas são por modo não motorizado e

63 % das viagens são por modo motorizado, esta última representando mais de 12 milhões de viagens. A maioria, cerca de 94 %, das viagens por modo motorizado são realizadas em modais que utilizam as vias urbanas pavimentadas sobrecarregando-as. Este fato torna fundamental o estudo das viagens para a análise dos congestionamentos na rede viária do Rio de Janeiro.

A participação relativa da Cidade do Rio de Janeiro nas viagens geradas tanto no transporte coletivo como no transporte individual é de mais de 60%, confirmando a forte polarização do Rio de Janeiro com relação às demais Cidades da RMRJ. Esta característica explica a estrutura radial do sistema de transporte tendo como concentrador a área central do Rio de Janeiro como demonstra a figura 2.1, acarretando velocidades menores e tempos de viagens maiores nos corredores radiais (PDTU, 2005).

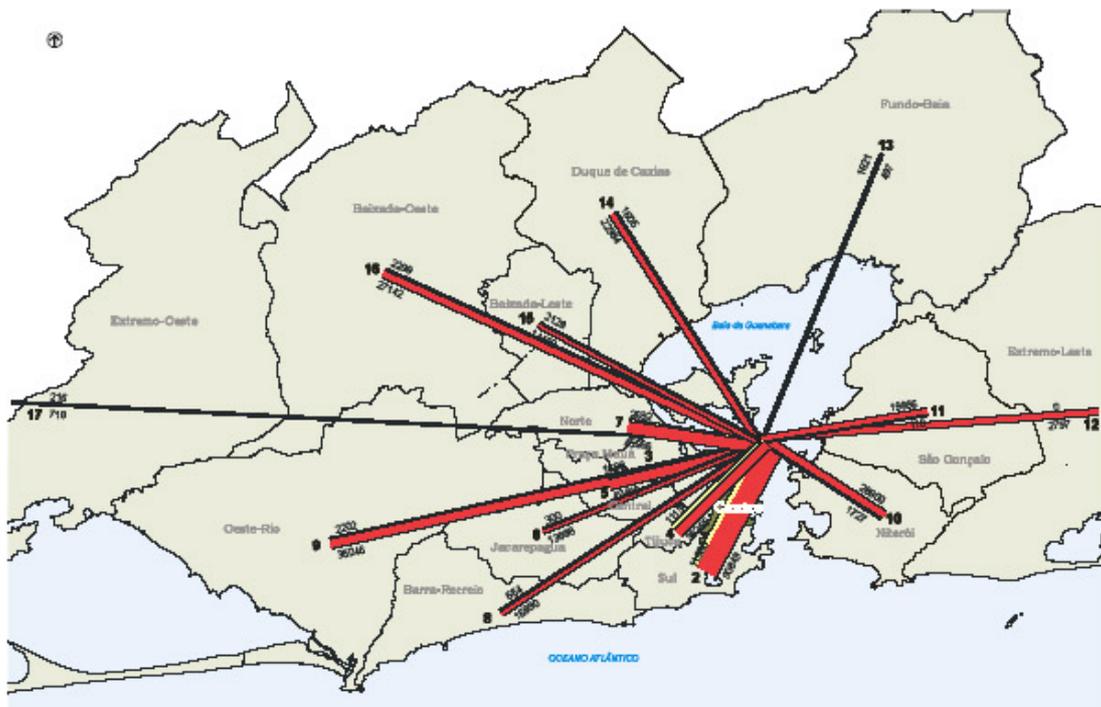


Figura 2.1 - Linhas de Desejo com Origem e Destino no Centro durante o Pico da Manhã Embora o Centro do Rio de Janeiro possua 39.135 habitantes segundo o Censo 2000 do IBGE, por dia são realizadas 719.458 viagens com destino final ao Centro do Rio de Janeiro com origens em toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Este fato reflete a grande população flutuante diariamente e que impactam a rede viária do Centro, pois se estas viagens fossem realizadas exclusivamente pela população do centro, cada

habitante faria no mínimo 18 viagens por dia, o que não ocorre. O quantitativo de mais de 700 mil viagens excluem as viagens que passam de alguma forma pelo Centro.

Dentre as viagens realizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, se destacam as viagens a pé, de ônibus, de automóveis e de transporte alternativo, que juntas representam 90 % das viagens conforme podemos observar pelo gráfico 2.2.

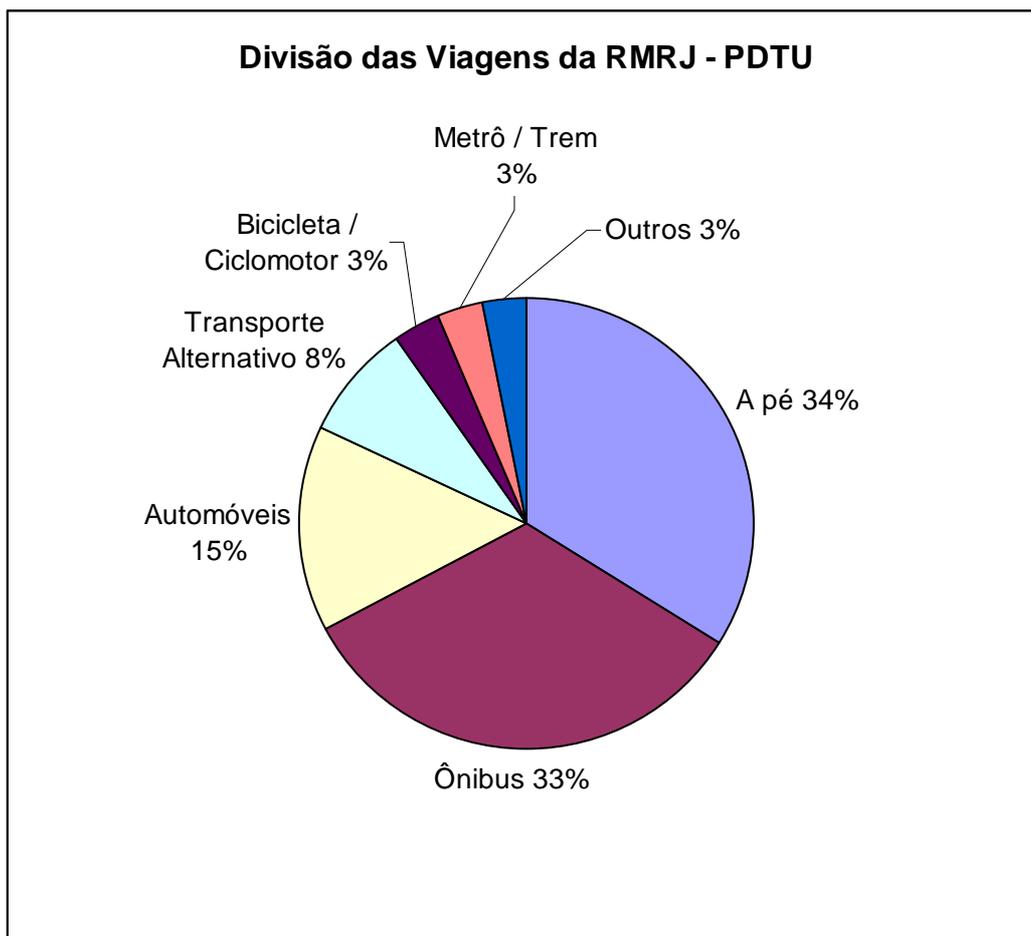


Gráfico 2.2 – Divisão das Viagens da RMRJ - PDTU

### Frota Brasileira

O fenômeno “congestionamento” é fundamentalmente relacionado ao número de veículos que circulam em um sistema viário. Em função da capacidade da via uma determinada quantidade de veículo pode congestionar ou não.

Ao longo das décadas a população brasileira se urbanizou, segundo o IPP (2008) a população urbana compreendia 55,91% em 1970 e, em 2000, esse percentual chegava a 81,25% da população brasileira. Este processo não foi acompanhado pela política pública para transportes a fim de absorver o impacto gerado pelo aumento da população urbana, que além da migração continuou aumentando pela taxa anual de crescimento. Portanto a população brasileira cresceu com maior impacto na população urbana, de 1970 até 2000 a população passou de 93.139.037 habitantes para 169.799.170 habitantes representando um crescimento de 82 % em 30 anos.

Já a frota brasileira de veículos durante o mesmo período de 30 anos evoluiu de 2.615.472 veículos para 29.722.950 veículos resultando em um acréscimo 1036%, fonte DENATRAN (2009).

Confirmamos então, que o aumento do número de veículos foi vertiginoso com relação ao incremento da população, sobrecarregando as novas e atuais vias no ambiente urbano e colaborando para o aumento do congestionamento.

Se considerarmos o período entre os anos de 2000 e de 2007, constatamos que a população brasileira cresceu de 169.799.170 habitantes para 183.987.291, um acréscimo de 8%. Já a frota brasileira de veículos no mesmo período aumentou 67 % (de 29.722.950 veículos para 49.644.025 veículos) conforme podemos observar no gráfico 2.3, e continua crescendo de forma acentuada com relação à população, aproximadamente 8 vezes mais que o crescimento da população no mesmo período.

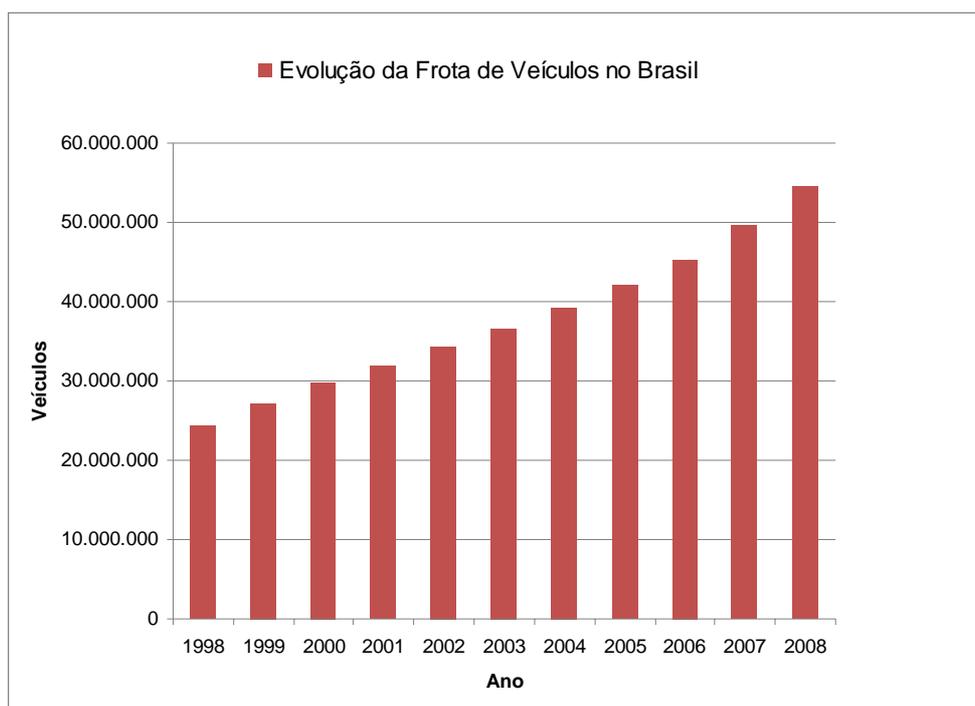


Gráfico 2.3 – Evolução da Frota de Veículos no Brasil – DENATRAN (2009)

A frota brasileira de veículos nos últimos anos não cresceu vertiginosamente como no período de 1970 a 2000, contudo continua crescendo muito mais rápido que a população, aumentando a taxa de propriedade de veículos em nosso país.

No âmbito da Cidade do Rio de Janeiro, tanto a evolução da população quanto a da frota de veículos reflete o panorama nacional. A população da Cidade entre 2001 e 2007 aumentou 4%, variando de 5.857.904 a 6.093.472 habitantes. Já a frota de veículos do Rio de Janeiro cresceu 22% no mesmo período (de 1.693.713 para 2.060.580 veículos conforme gráfico 2.4), ou seja, cresceu 5 vezes mais rápido que a população.

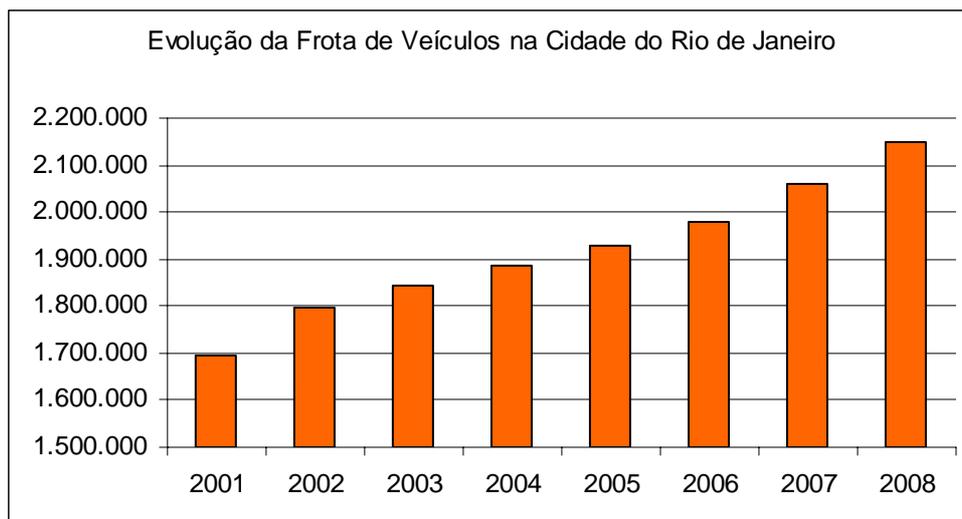


Gráfico 2.4 – Evolução da Frota de Veículos na Cidade do Rio de Janeiro  
DETRAN- RJ (2009)

A taxa de motorização da Cidade do Rio de Janeiro é alta com aproximadamente 0,34 veículos / habitantes em 2007, esta taxa cresceu 17% no período de 2001 a 2007, 4 vezes mais que a população.

Os Automóveis têm uma participação maciça na frota de veículos; eles são em média 82 % de todos os tipos de veículos levantados pelo DETRAN-RJ (2009), como podemos observar no gráfico 2.5.

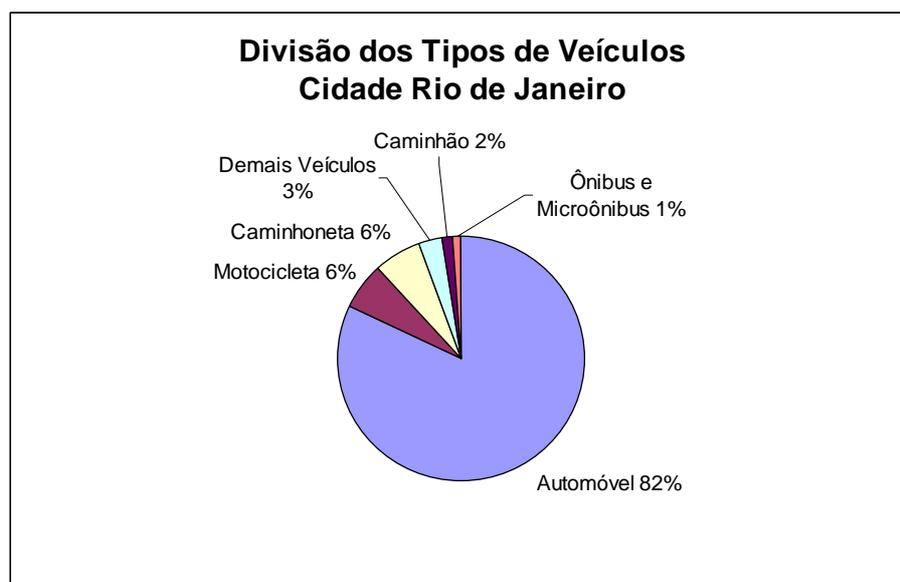


Gráfico 2.5 – Divisão dos Tipos de Veículos da Cidade do Rio de Janeiro  
DETRAN – RJ (2009)

Diante da constatação que o automóvel constitui a maior parte dos veículos da Cidade do Rio de Janeiro, devemos ter uma maior preocupação com os mesmos, pois certamente estes veículos produzem grandes impactos nas condições do tráfego e nos congestionamentos no Centro do Rio de Janeiro.

A ocupação média dos automóveis na Região Metropolitana do Rio de Janeiro como todo é de 1,41 pessoas/veículos.

### **Sistema Viário**

O centro do Rio de Janeiro possui um sistema viário complexo e bem diversificado com vias de trânsito rápido, arterial, coletora e local. Além de vias de uso misto de veículos e de pedestres, há faixas preferenciais para ônibus, vias elevadas e subterrâneas, interseções com prioridade e semaforizada. A figura 2.2 ilustra o desenho esquemático da rede viária do Centro do Rio de Janeiro.



Figura 2.2 – Imagem Esquemática da Rede Viária do Centro do Rio de Janeiro

Para o controle das interseções semaforizadas, a CET Rio dispõe do Controle de Tráfego por Área – CTA, um sistema onde os semáforos são controlados e monitorados constantemente e em tempo real a partir dos computadores localizados no centro de controle.

## **2.5 – Considerações Finais**

Para estudar o fluxo de tráfego e suas considerações, devemos lançar mão de ferramentas que possam analisar o tráfego, daí surge a necessidade de modelarmos o fluxo de tráfego em todas as suas variações e características.

Embora as abordagens de tráfego sejam apresentadas neste trabalho de forma separada, há correlações entre elas, pois se a abordagem mesoscópica se relaciona com um grupo de veículos, a abordagem microscópica relaciona os movimentos dos mesmos veículos, que por sua vez são determinantes para a definição de fluxos e concentrações estudados na abordagem macroscópica. Porém há análises diferenciadas para cada uma delas.

As variáveis de tráfego foram apresentadas inicialmente na abordagem macroscópica, mas utilizadas também nas outras abordagens. Como velocidades (espacial e temporal), fluxos, concentrações, posição do veículo na via e etc.

A abordagem macroscópica, como o nome já diz, é principalmente utilizada em planejamento de transporte, pois considera os vários níveis de análise, além de sua utilização em projetos de sistemas e redes integradas de transportes, fluidez, mobilidade, e estudo de circulação viária.

A abordagem mesoscópica é utilizada em dimensionamento de sinalização viária operacional (e planos semaforicos), uso do solo (tráfego intenso ou não), estudos de congestionamento, e também prevenção de acidentes.

Já a abordagem microscópica que possui um maior detalhamento e considera o comportamento de cada veículo é utilizada em dimensionamento de sinalização

semafórica, projetos de veículos e segurança veicular, projetos de vias, análise de rede e impacto ambiental.

Em um caso cotidiano de uma cidade bastante urbanizada, uma via sempre demonstra o efeito de retenção de veículos devido a uma redução de capacidade relativa ao fluxo atuante. O estudo deste fenômeno pode ajudar a solucionar esse problema, reduzir o tempo de viagem e o potencial de acidentes (acelerações e desacelerações com freadas sucessivas), uma operação de controle de liberação de certa quantidade de veículos a cada intervalo de tempo, melhorando a operação da via em certos períodos críticos.

A importância da Teoria de Fluxo de Tráfego se manifesta no cotidiano das pessoas em cidades mapeando (modelando) os seus comportamentos a fim de que (os modelos) possam trazer benefícios para a sociedade, e ampliando o conhecimento científico.

Analisando as descrições sobre os três tipos de abordagem de tráfego e associando com o objetivo de avaliar o comportamento do tráfego em função dos deslocamentos pela rede viária dos veículos que tiveram seus volumes acrescidos sucessivamente, verificamos que a abordagem de tráfego mais adequada é a microscópica.

A principal vantagem da utilização do método de simulação é a possibilidade de prever resultados futuros sem o custo de implantação da nova configuração a ser adotada, reduzindo também o tempo gasto se fosse implantada a mudança. A maior dificuldade é a representação no modelo das características observadas no campo.

A seguir, apresentamos a tabela comparativa 2.1 de características de diversos modelos de simulação.

Tabela 2.1 - Tabela comparativa de características de diversos modelos de simulação

Simulador	Objetivo	Limitações				Sistema Operacional	Tipo de Análise
		Zonas	Nós	Links	Transporte Público		
CONTRAN	análise de redes, gerenciamento do tráfego					Windows	Meso
EMME/2	modelagem de redes multimodais, interação modal	250 a 6.000	2.000 a 48.000	5.000 a 120.000	500 a 12.000	DOS	Macro
PARAMICS	gerenciamento do tráfego, impactos ambientais					Windows	Micro
SATURN	análise de redes, impactos ambientais					Windows	Micro
TPS VISION	análise de redes, impactos ambientais	100 a 600	500 a 4.000	1.200 a 12.000	250 a 300	Windows	Micro
TRAF (NETSIM)	análise de redes, impactos ambientais		750	1000	100	Windows	Micro
TRANSPLAN	análise do planejamento dos transportes					Windows	Macro
TransCAD	análise de redes, planejamento de transportes e logística					Windows	Macro
TRIPS	análise de redes, modelagem da demanda	100 a 10.000	2.000 a 48.000	5.000 a 120.000	500 a 12.000	DOS	Macro

Fonte: PORTUGAL (2005)

Segundo PDTU (2005), nas condições atuais, o sistema viário da Região Metropolitana do Rio de Janeiro possui diversos locais com as relações volume/ capacidade indicando níveis de serviço inadequados na hora de pico da manhã, especialmente ligações da Zona Norte com o Centro. Esta ligação também recebe fluxos oriundos de parte da Zona Oeste e de toda a Baixada Fluminense.

Os eixos de maior demanda possuem configuração radial com relação ao Centro e a falta de uma organização dos serviços que utilizam estes corredores provoca excessiva oferta de linhas de ônibus no Centro do Rio de Janeiro, aproximadamente 3.900 ônibus/hora (PDTU, 2005).

Esta concentração de linhas e volume de passageiros faz com que um número muito elevado de veículos provoque reflexos no tráfego como grandes congestionamentos e queda na qualidade ambiental.

Em toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro o transporte de passageiro por ônibus não possui nenhum sistema segregado. Há apenas poucos quilômetros de faixa exclusiva na Avenida Brasil no acesso ao Centro, embora os ônibus tenham que compartilhá-la com táxi.

O fato das linhas de ônibus compartilharem o sistema viário com o tráfego geral acarreta enormes custos operacionais, ocorrência de diversos pontos de congestionamento e, conseqüentemente, maiores tempos de deslocamentos, maior número de transferência e custo de tarifas, velocidades operacionais muito reduzidas nos períodos de pico (PDTU, 2005).

O setor de tráfego correspondente ao Centro e a zona portuária tem grande potencial para se tornar futuramente uma área de concentração de empregos, caso se realize a recuperação das atividades sócio-econômicas.

O consórcio responsável pelo PDTU (2005) elaborou 2 cenários referentes às possibilidades futuras de distribuição da demanda na Região Metropolitana do Rio de Janeiro baseada em projeções da população residente, no número de matrículas escolares, na frota de veículos particulares, na oferta de emprego e no comportamento da distribuição da renda da população.

Na hipótese de ser mantida a situação atual em termos de infra-estrutura de transportes e com população estimada em 2003 de 11.281.958 habitantes, e projeções da população para 2008 e 2013 respectivamente de 12.086.153 habitantes e 13.111.067 habitantes.

Os trechos de via destacados nas figuras 2.3, 2.4 e 2.5 apresentam nível de serviço de médio a pesado e foram divididos em duas categorias, a primeira com nível de serviço médio (entre D e E) e, a segunda, com nível de serviço pesado (pior do que E).

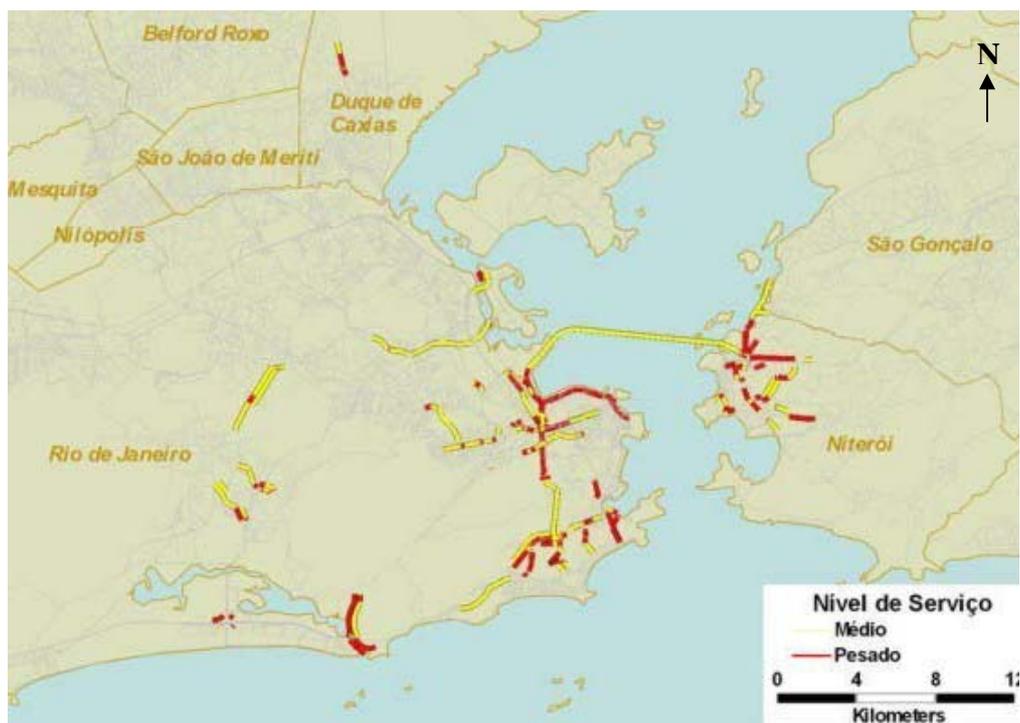


Figura 2.3 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã –  
Ano 2003

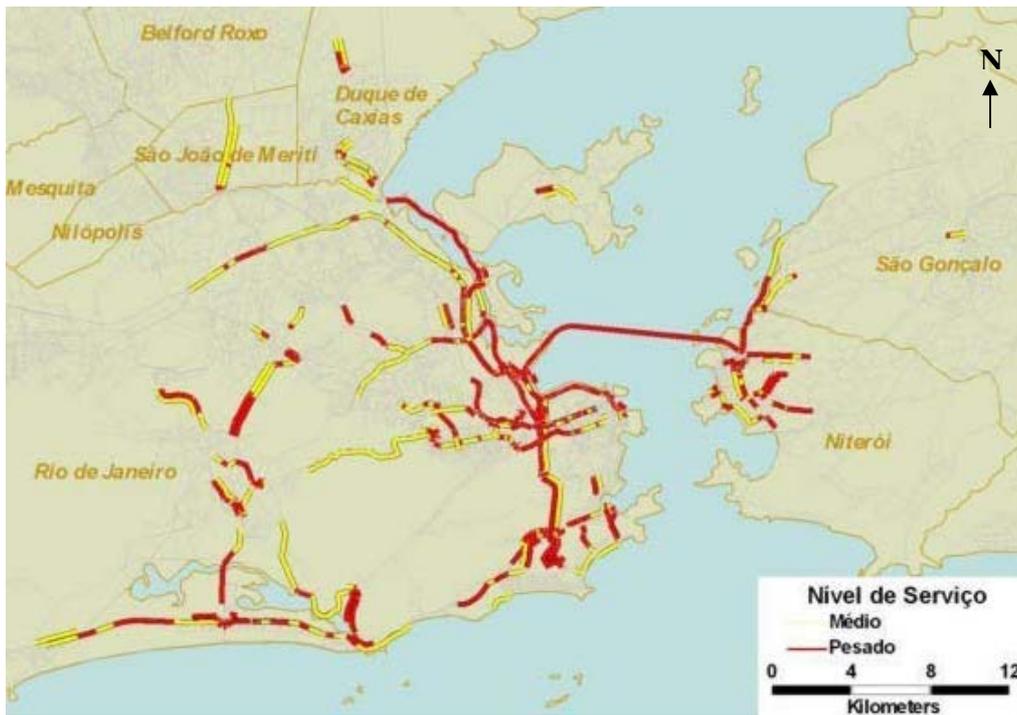


Figura 2.4 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã –  
Ano 2008

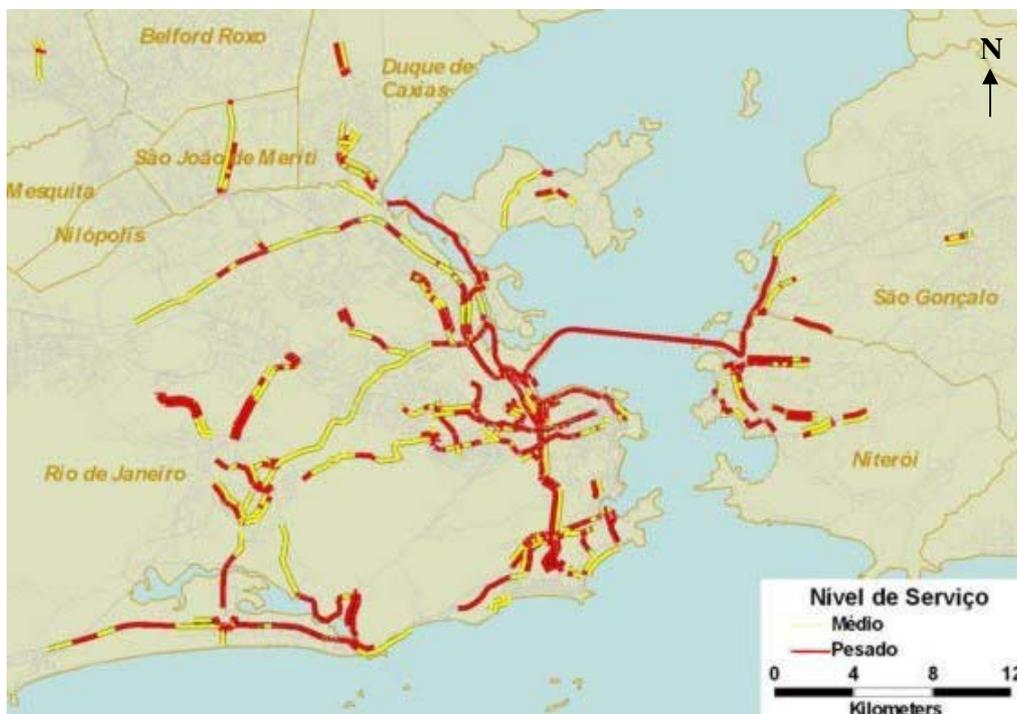


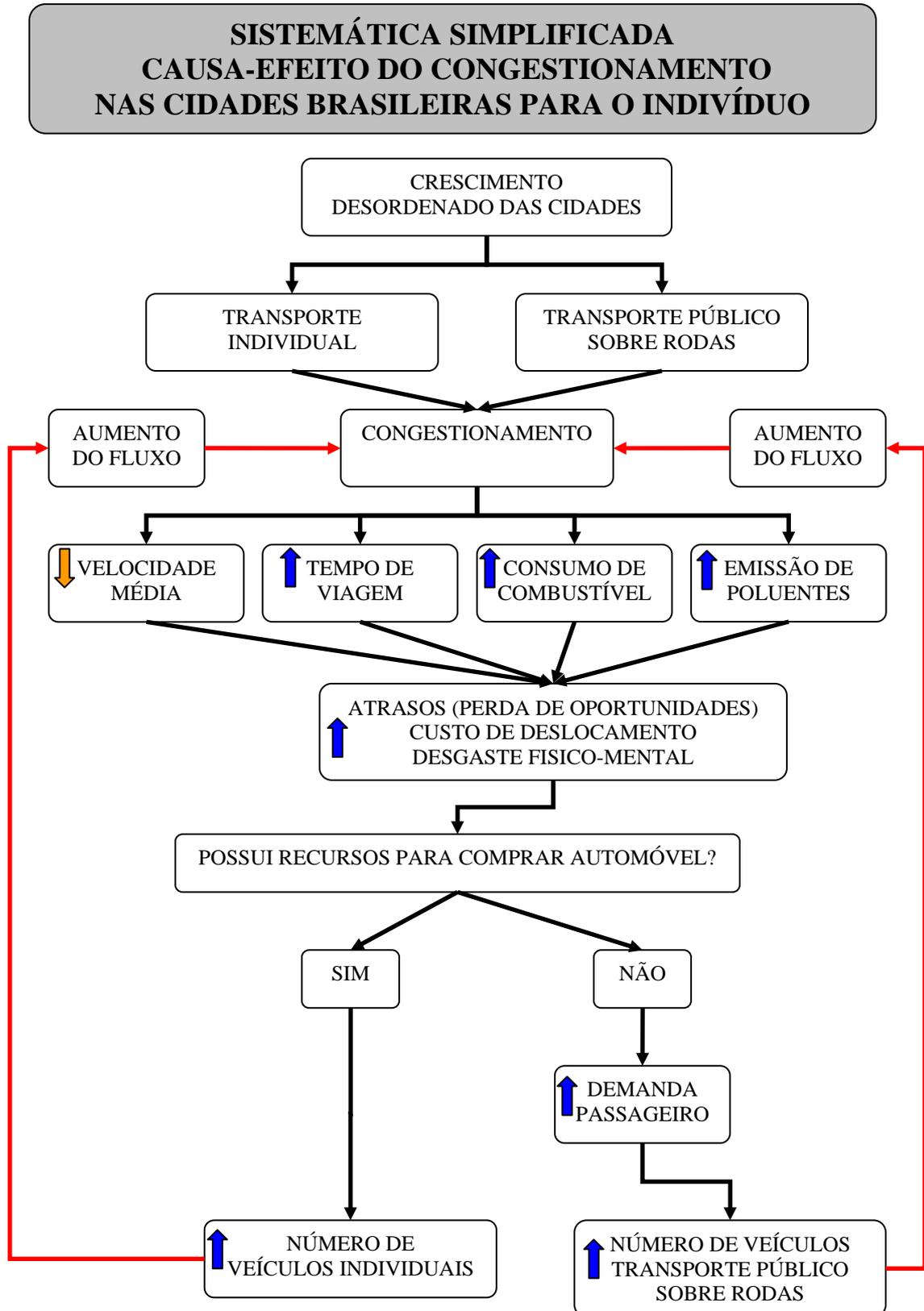
Figura 2.5 – Evolução do Congestionamento na RMRJ – período de pico manhã –  
Ano 2013

Analisando as figuras 3.3, 3.4, 3.5 percebe-se que existe um crescimento bastante acentuado de vias com problema de capacidade saturada, sejam elas devido à ampliação da extensão das vias com nível de serviço ruim (D em diante) ou devido à piora do nível de serviço de vias que já se encontravam comprometidas em termos de saturação, como é o caso da Ponte Rio-Niterói.

O aumento de viagens de transporte individual, níveis de degradação do sistema viário produzidos pela redução dos níveis de serviço e de queda de velocidade da rede viária, demonstram a situação crítica da rede de transporte na medida em que os níveis de congestionamento se elevam.

Diversos novos pontos da rede viária passam a apresentar níveis de serviço degradados. Caso não sejam implementadas melhorias no sistema viário e de transporte coletivo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro nos horizontes de curto e médio prazos, em função do crescimento esperado para as viagens em transporte coletivo e automóvel particular, os níveis de serviço deverão entrar em processo de degradação de forma acentuada.

A seguir, um diagrama que representa uma sistemática simplificada causa-efeito do congestionamento nas cidades brasileiras para o indivíduo.



## **CAPÍTULO 3-SIMULADOR DE TRÁFEGO TRAF-NETSIM**

### **3.1 – Considerações Iniciais**

Este capítulo apresenta o processo de escolha do simulador de tráfego para esta pesquisa, a definição do software utilizado e suas principais características e peculiaridades.

A definição do simulador de tráfego utilizado foi baseada na pesquisa bibliográfica sobre simuladores de tráfego contida no capítulo 2, no levantamento de informações gerais inerentes ao estudo de caso, e em função do objetivo de avaliar os níveis de congestionamentos na vias semaforizadas da Região Central do Rio de Janeiro.

### **3.2 – Critérios para Escolha do Simulador**

A escolha do simulador foi realizada cuidadosamente e de forma criteriosa. O objetivo desta pesquisa norteará, junto com as peculiaridades da área de estudo, a definição do software.

Existem diversos simuladores de tráfego com distintas características que os tornam mais vantajosos, ou não, com relação a certo tipo de aplicação. As medidas de desempenho, limitações, dados de entrada e de saída são pontos determinantes.

Já vimos que os diversos simuladores de tráfego podem ser classificados em três grandes classes: abordagem macroscópica, abordagem mesoscópica e abordagem microscópica. Estas abordagens têm basicamente a característica de permitir desde um baixo nível de detalhamento (abordagem macroscópica) na representação do tráfego viário passando por um nível intermediário de detalhamento (abordagem mesoscópica) até um elevado nível de detalhamento (abordagem microscópica).

Esta pesquisa possui uma gama de informações detalhadas de tráfego da região central do Rio de Janeiro, e propõe a avaliação da circulação viária de uma área relativamente pequena e com possíveis intervenções do tipo operacional. Essas características indicam a utilização mais adequada de modelos de simuladores microscópicos para este estudo de caso.

O fator preponderante que influenciou a escolha do TRAF-NETSIM foi a sua disponibilidade no Laboratório do Programa de Engenharia de Transportes PET – COPPE – UFRJ nas versões 5.0 e 5.1, embora já exista a versão 6.0 do programa (esta versão não está disponível neste laboratório).

Segundo TRB (2000), as condições necessárias para a escolha do simulador mais adequado consistem na verificação dos critérios citados a seguir, de acordo com o estudo de caso, o contexto de aplicação e as intervenções planejadas a serem testadas e analisadas.

- Tamanho da rede: a maioria dos modelos tem limitações com relação ao número de nós e links, faixas e controles nas interseções;
- Representação da rede: refere-se à capacidade do modelo em apresentar a rede geometricamente e inclui vias urbanas, expressas e arteriais;
- Representação do tráfego: os modelos microscópicos têm a habilidade de simular movimentos sofisticados dos veículos permitindo uma análise complexa do tráfego sendo que os modelos macroscópicos e mesoscópicos não são tão indicados para avaliar condições complexas de tráfego;
- Operações de tráfego: o modelo deve ser capaz de simular as operações reais de tráfego como rampas, restrições e canalizações de tráfego, operações de transporte público, atividades de estacionamento;
- Controle de tráfego: para interseções urbanas e vias expressas, devem incluir sinais de PARE, sinais semaforicos, controle de velocidade;
- *Output* do modelo: existem dois tipos de *outputs*, na forma gráfica e na forma de medida de desempenho (MOE). Os gráficos incluem animação de modo que o usuário possa analisar o resultado visualmente. As MOEs fornecem uma análise numérico dos resultados;

- Disponibilidade de dados: em geral, os modelos microscópicos necessitam de dados mais detalhados. São necessários dados de entrada, calibração e validação;
- Facilidade de uso: devem ser considerados o processador, dispositivos gráficos e auxílio on line;
- Recursos necessários: devem ser considerados os custos relativos à preparação de dados, aquisição de software e hardware, utilização e manutenção do modelo e apoio técnico.

O estudo exploratório sobre simulação de tráfego realizado por PORTUGAL (2005) indica, de maneira geral, que os simuladores de tráfego mais indicados são: TRAF-NETSIM, PARAMICS, TRIPS, SATURN, TransCAD e EMME/2.

E em função da relação entre o tipo de intervenção realizada nesta pesquisa e o simulador adequado, verificamos na tabela 3.1 retirada do trabalho de PORTUGAL (2005), duas opções de escolha de simulador, o NETSIM e o PARAMICS.

Tabela 3.1 – Tipo de intervenção e simuladores correspondentes.

<b>Tipo de Intervenção</b>	<b>Simuladores</b>
<b>ESTRATÉGICA: longo prazo. Âmbito da cidade/metropolitano MACRO</b>	
Alterações de uso do solo	TRANSPLAN
Aumento de capacidade e integração do sistema de transportes	TransCAD
Construção de vias expressas e arteriais	EMME/2
<b>TÁTICA: médio prazo. Âmbito regional MESO</b>	
Políticas de estacionamento	SATURN
Pedágio urbano	CONTRAN
Melhoria do transporte coletivo por ônibus	TRIPS
Políticas tarifárias	TPS VISION
<b>OPERACIONAL: curto prazo. Âmbito de bairros MICRO</b>	
Intervenções físicas na rede	NETSIM
Controle de tráfego	
Pontos de ônibus	PARAMICS
Regulamentação de estacionamentos	

Fonte: PORTUGAL (2005)

Tanto o modelo de simulação NETSIM quanto o PARAMICS podem ser utilizados para atingir o objetivo desta dissertação, contudo as diferenças de características operacionais destes simuladores mencionadas abaixo são fatores decisivos para a confirmação do simulador escolhido.

O PARAMICS se destaca por disponibilizar uma animação da simulação em três dimensões com ótima resolução, já o NETSIM se destaca pela possibilidade de análise individual dos sistemas principal e local da rede viária, permite realizar uma modelagem gráfica de qualquer rede viária através de nós e links, e fornece medidas de desempenho por link e para todo o sistema.

Através de todas as características, vantagens e desvantagens dos simuladores e critérios estabelecidos neste capítulo, o simulador de tráfego escolhido para ser utilizado nesta dissertação é o TRAF-NETSIM versão 5.1.

Uma vez escolhido o software de simulação, vamos descrever de forma mais detalhada as informações citadas no capítulo 2, além de demonstrar basicamente como o simulador de tráfego funciona em um processo investigativo de simulação.

### **3.3 – O TRAF-NETSIM**

O TRAF-NETSIM é um modelo de simulação microscópica, e estocástica com capacidade de analisar o desempenho do tráfego, permite uma análise individual dos sistemas e da rede viária inteira.

O micro-simulador TRAF-NETSIM tem como principal característica a necessidade de obter um maior nível de desagregação das informações dentre os tipos de simuladores, reproduzindo atrasos e formação de filas. Sendo adequado para modelagens em áreas urbanas, ou seja, para gerenciamento do tráfego com o uso da micro-simulação.

O software é resultado da combinação de dois modelos: o TRAF (sistema de simulação de tráfego) e o NETSIM (programa de simulação de redes urbanas).

Após o último avanço tecnológico do TRAF-NETSIM, a Federal Highway Administration (FHWA) que vem desenvolvendo o software de simulação desde a década de 70, criou o Traffic Software Integrated System (TSIS) incorporando o TRAF-NETSIM.

O TSIS é um pacote de programas com interface gráfica compatível com o Sistema Operacional Windows e composto por sete ferramentas (TSIS, 2002), são eles:

1- TShell – é a interface gráfica entre o usuário e o simulador, ele fornece o gerenciamento do projetos realizados no TSIS.

2- CORSIM – consiste na integração de dois modelos microscópicos de simulação, o NETSIM e o FRESIM, que representam o comportamento do tráfego ao longo do tempo. O NETSIM simula o tráfego de vias do tipo arterial, coletiva e local. E o FRESIM simula o tráfego de vias do tipo freeway. O CORSIM fornece uma interface própria capaz de controlar a simulação e os resultados de tráfego acumulado. Produz arquivos com extensão TRF.

3- Script Tool – é uma ferramenta combinada de editor de script e executor de script do Visual Basic.

4- Text Edit – é um editor de texto com capacidade de gerenciar arquivos no formato TRF.

5- TRAFED – é um editor gráfico que permite facilmente a criação e edição de redes de tráfego e entradas no modelo de simulação do CORSIM. Produz arquivos com extensão TNO.

6- TRAFVU (TRAF Visualization Utility) – após o processamento da microsimulação, o TRAFVU permite a visualização da animação da rede de tráfego, operação do fluxo de tráfego, animação e dados de saídas das variáveis simuladas, além dos dados de entrada inseridos pelo usuário do simulador.

7- Translator – converte arquivos TRF usados pelo TRAFED para TNO e vice-versa.

## Limitações do TSIS na Versão 5.1

A seguir na tabela 3.2, mostramos algumas limitações do TSIS na última que foi utilizado nesta pesquisa.

Tabela 3.2 - Limitações das características da rede de tráfego do CORSIM

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>NETSIM</b>
Controladores atuados	1000
Rotas de ônibus	500
Paradas de ônibus	99
Ônibus	2000
Detectores	7000
Eventos	200
Links	Ilimitado
Nós	8999
Capacidade de links agregados	100
Veículos	Ilimitado

Fonte: TSIS (2002)

## Capacidades de Representação do Modelo

O modelo CORSIM disponibiliza elementos dos sistemas atuais de tráfego para freeways e vias de superfície. A seguir são apresentados alguns desses elementos para as vias de superfície que este trabalho aborda.

Para as vias de superfícies, o modelo CORSIM é capaz de representar, entre outras características, gargalos de trânsito, interseções complexas, estacionamentos na via, incidentes, pedestres, coordenação semaforica, operação de ônibus, interseções sinalizadas ou não, semáforos de tempos fixos pré-programados e atuados pelo tráfego.

## Dados de Entrada do Modelo

Algumas características dos dados de entrada são as coordenadas dos nós, comprimentos dos links, grade do pavimento, número de faixas, tipo de utilização das

faixas, tráfego de pedestres, velocidade de fluxo livre, percentuais de volume de veículos que giram, composição de tráfego, taxa de ocupação dos veículos, tempos de planos semaforicos, e definição das características de condutor.

### 3.3.1 – Codificação da Rede

A codificação da rede consiste na ação de construir o modelo de simulação no software a partir de informações já coletadas de geometria das vias, fluxos de tráfego, operação semaforica, entre outros.

Através da interface gráfica, ver figura 3.1, o usuário cria o projeto que conterà os arquivos utilizados na simulação de cada rede codificada, esta rede possui as informações de fluxo, de operação semaforica, de vias, de parâmetros de tipos de veículo e comportamento dos condutores.

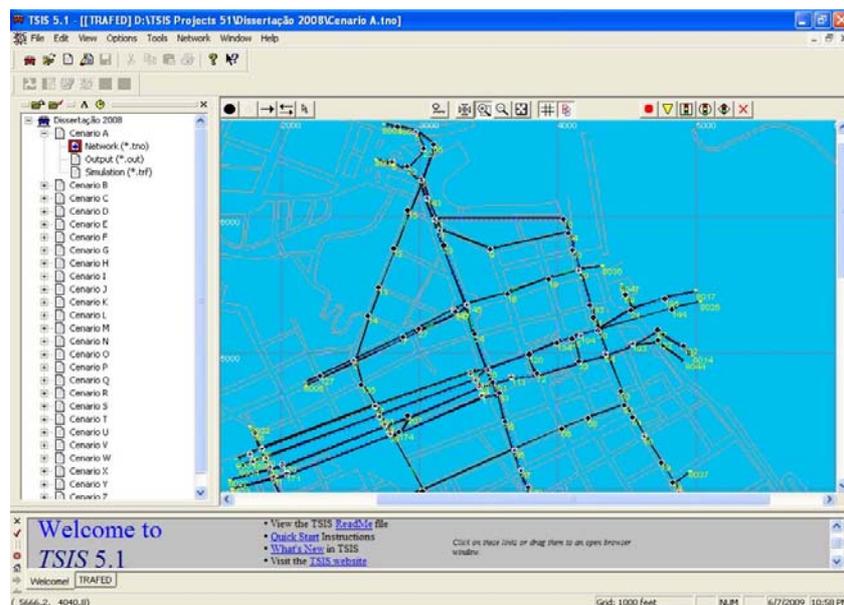


Figura 3.1- Interface Gráfica do TSIS

Segundo o Manual do TRAF-NETSIM, para representar na codificação da rede a realidade o mais fiel possível, o usuário do simulador deve especificar as seguintes características:

- Topologia do sistema de vias através de links e nós.
- Geometria de cada componente de vias

- Caracterização do uso das faixas das vias, se for somente de giro à direita ou exclusiva para ônibus, entre outras
- Entrada no sistema de vias com os volumes de tráfego
- Informações de movimentos de giros ou dados de origem e destino
- Geometria das Aproximações
- Semáforo de tempo pré programado
- Semáforos de tempo atuado pelo trafego
- Controle de Rampas de Acesso à Freeway
- Incidentes e Eventos Temporários
- Composição do fluxo (ônibus, *carpools*, carros, e caminhões)
- Taxa de ocupação de veículos
- Configuração de movimentos de giros
- Operação de ônibus (itinerário, volumes, locais de paradas, tempo de embarque e desembarque, e rotas)
- Veículos com alta taxa de ocupação(ônibus, *carpools*, ou ambos)
- Parâmetros de mudança de faixas
- Variação da agressividade do condutor
- Comportamento do condutor que determina o desempenho operacional dos veículos no sistema
- Graus de consumo de combustíveis e emissão de poluentes

Embora o simulador escolhido também possibilite a simulação de tráfego em vias do tipo freeway, não consideramos este tipo de via no processo de codificação, visto que o foco deste trabalho é nas vias de superfícies dos tipos arteriais, coletoras e locais. O mesmo acontece com outras capacidades de representação ofertada pelo software que não serão aplicadas neste estudo como: presença de pedestres, utilização de semáforos atuados pelo tráfego, entre outros.

Todas as características necessárias utilizadas para as simulações de tráfego desenvolvidas nesta pesquisa estão detalhada ao longo dos capítulos 4 e 5.

### **3.3.2 – O Processo de Codificação da Rede no Tsis 5.1**

Segundo o Manual do TRAF-NETSIM, o processo de codificação consiste na seqüência de etapas a seguir.

- Criar um arquivo TRAFED que representa a rede de tráfego de superfície e freeways e simular parâmetros tal como tipos de veículos e comportamento dos condutores.
- Criar os nós e links baseados nas vias representadas por uma imagem no plano de fundo.
- Editar propriedades dos parâmetros dos nós e links.
- Especificar parâmetros de simulação tal como o comprimento do tempo de simulação.
- Salvar a rede de tráfego.
- Exportar a rede de tráfego como um arquivo TRF.
- Submeter a rede criada para simulação no CORSIM.
- Visualizar a rede e a sua animação pelo TRAFVU.
- Realizar as mudanças necessárias na rede com TRAFED.
- Submeter novamente a rede modificada para simulação no CORSIM.
- Repetir esse processo até condições satisfatórias da rede de tráfego.

#### Detalhamento do Processo de Criação da Rede (Network) do TRAFED

Para ilustrar o detalhado processo de criação da rede no TRAFED, este item destacará algumas características de preferências, propriedades de rede e configurações do micro-simulador. Estas informações são imprescindíveis para a criação da rede e para compreensão correta dos resultados.

Algumas destas informações no âmbito de vias de superfície são velocidade de fluxo livre e determinação da largura padrão de faixas de rolamento demonstrado na figura 3.2. A velocidade de fluxo livre é expressa em milhas por hora e serve para todas as vias da rede. Já a largura padrão de faixas será a mesma para todas as vias caso a largura das faixas não seja alterada especificadamente na edição de cada link, dessa forma prevalece a largura editada nos links.

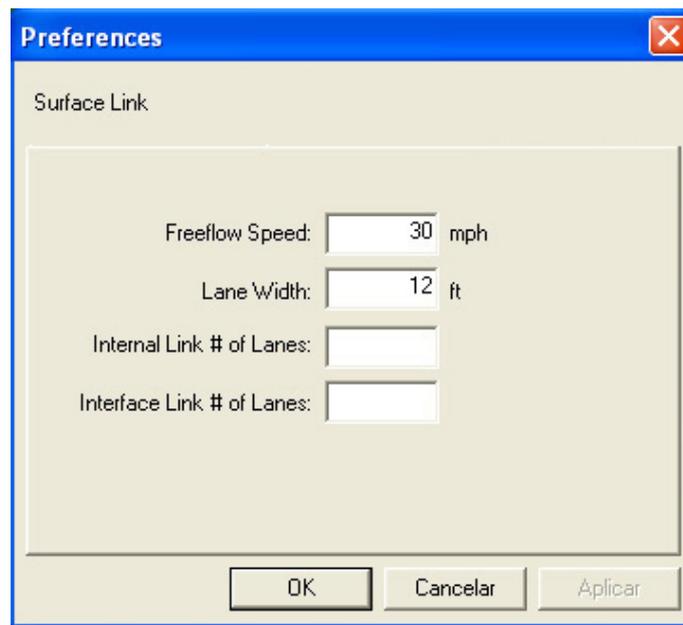


Figura 3.2 - Velocidade de fluxo livre (free flow speed) e largura (lane width) padrão de faixas de rolamento.

Outro aspecto importante que possibilita uma personalização da construção da rede é a definição das propriedades da rede, como por exemplo: a definição do horário inicial da simulação, número de períodos de simulação, duração em segundos da simulação e a duração em segundos do tempo interno (que se constitui na fração da duração da simulação onde as estatísticas das variáveis de saída são acumuladas), ver figura 3.3.

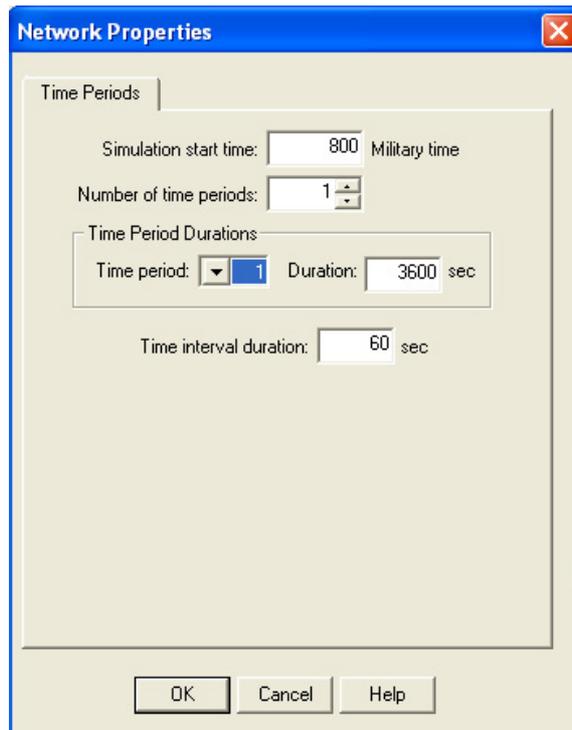


Figura 3.3 – Horário inicial da simulação (*simulation start time*), número de períodos de simulação (*number of time periods*), duração da simulação (*duration*) e a duração do tempo interno (*time interval duration*).

As configurações do micro-simulador não são menos importantes que as preferências e propriedades citadas anteriormente. Para exemplificar na figura 3.4, temos:

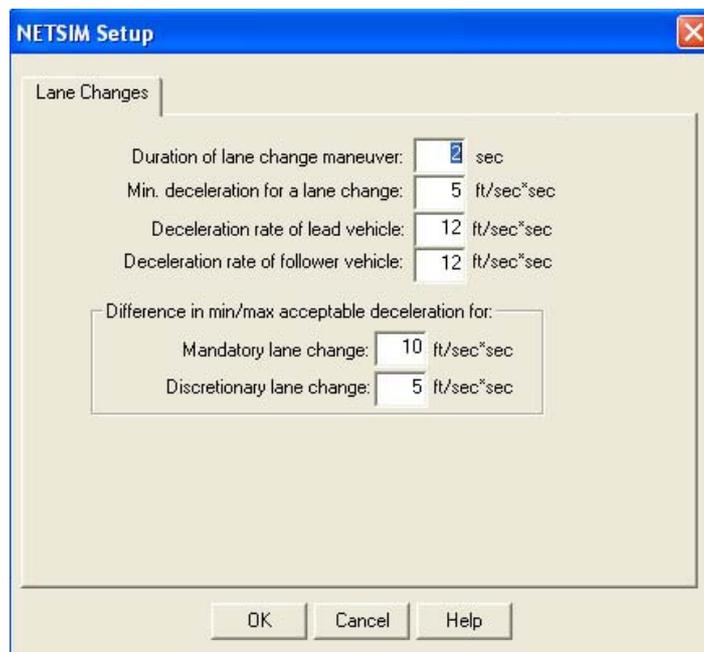


Figura 3.4 - Configurações do micro-simulador

### 3.3.3 – Considerações finais

O uso do simulador TRAF-NETSIM 5.1 possui certa facilidade e proporciona a análise visual da situação modelada. A simulação de tráfego é uma das mais importantes ferramentas de análise utilizadas pela Engenharia de Tráfego, e possui algumas características como:

- Menor custo;
- Os resultados são obtidos rapidamente;
- Os dados gerados pela simulação são variáveis de medidas de efetividade que não são fáceis de obterem por outros métodos de estudos;
- Alguns esquemas operacionais requerem mudanças físicas que não são possíveis de realizar no campo;
- Evolução do impacto da demanda futura pode ser conduzida com o processo de simulação.

A grande vantagem deste modelo é que ele permite realizar uma modelagem gráfica de qualquer rede viária através de nós e links, fornece medidas de desempenho por link e para todo sistema, permite uma análise do desempenho do transporte público e é compatível com o sistema Windows (ARAÚJO, 2003).

## **CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA**

### **4.1 – Considerações Iniciais**

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para avaliação dos níveis de tráfego na área central do Rio de Janeiro no âmbito da micro-simulação em áreas urbanas. São descritos os procedimentos necessários para o desenvolvimento da simulação a partir da modelagem das condições das vias (ambiente em que o tráfego é conduzido), dos veículos e da operação de tráfego.

Com o auxílio da metodologia proposta neste capítulo, criará condições para que os planejadores e controladores de sistemas de transportes possam gerenciar melhor os problemas de tráfego urbano no Brasil, sem a necessidade de executar no local, mudanças na operação. Mudanças estas que acarretariam custos de implantação e que poderiam ter seu desempenho aceitável abaixo do esperado. Desse modo elevando-se os custos totais, ou seja, adicionando os custos generalizados provocados pelas modificações na operação de tráfego aos custos de implantação.

### **4.2 – Modelagem**

Os procedimentos apresentados podem ser utilizados para vias semaforizadas de diversas regiões urbanas.

Utilizando-se de informações realistas que produzem características de tráfego e de vias na modelagem, bem próximas das características observadas no sistema ou situação real.

Para atingir o objetivo de avaliar as condições de tráfego no sistema viário do Centro do Rio de Janeiro, vamos modelar a rede viária no micro-simulador.

Com o objetivo de responder quando o tráfego do Centro do Rio de Janeiro entrará em colapso, criaremos cenários futuros com acréscimo de fluxo.

O estabelecimento dos cenários futuros possibilita identificar o que pode ocorrer no sistema de transporte caso nenhuma intervenção na infra-estrutura de transporte seja adotada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Portanto, não se realizou ajuste de tempos semafóricos mantendo-se a programação da situação atual, a fim de se observar o quanto o sistema viário é capaz de absorver ou não aumento de fluxo de veículos.

Segundo pesquisas realizadas por BELL e BRETHERTON (1986), os planos semafóricos em uma rede semaforizada envelhecem a uma razão de 3% ao ano, portanto para a escolha da taxa de crescimento anual do tráfego dos cenários futuros desta pesquisa adotamos uma analogia com o trabalho de BELL e BRETHERTON (1986). Então se definiu como incremento no fluxo de tráfego a mesma razão de envelhecimento dos planos semafóricos. Este processo de elevação do fluxo foi simulado até as condições de saturação das vias.

Os volumes de tráfego foram obtidos em pesquisa de campo no ano de 2004, portanto o volume de tráfego da simulação de partida dos cenários futuros será relativo ao ano de 2004 denominado cenário 1. A partir do cenário 1 haverá acréscimo de 3% de forma acumulativa. Deste modo sucessivamente:

- No cenário 1 aumento é 0,0%;
- no cenário 2 aumento de 3,0%;
- no cenário 3 aumento de 3,0% com relação ao cenário anterior (cenário 2) ou aumento de 9,3% com relação ao cenário 1;
- no cenário 4 aumento de 3,0% com relação ao cenário anterior (cenário 3) ou aumento de 12,6% com relação ao cenário 1...

Resumidamente a metodologia consiste em obter informações sobre as vias, o fluxo atuante e a operação de tráfego, a fim de se criar uma modelagem de rede que posteriormente será simulada. A etapa seguinte é a execução das simulações no micro-simulador TRAF-NETSIM com tempo de duração de uma hora, ajustando se necessários os parâmetros do simulador em função dos resultados. A terceira etapa se

constitui no aumento gradativo do fluxo de tráfego inserido na rede modelada e análises dos resultados obtidos.

### Limitações da Proposta de Modelagem

As simulações realizadas são referentes apenas ao um período do dia, o pico da manhã. O fluxo de pedestres não foi considerado devido à inexistência de pesquisa de contagem de pedestres.

Os tempos semafóricos de tempo fixo se mantiveram inalterados a partir do primeiro cenário até ao último cenário futuro.

Impossibilidade de representar as ações de agentes de trânsito que atuam em situações críticas a fim de manter ou melhorar a fluidez.

Esta modelagem não leva em consideração o comportamento do tráfego do limite da área de estudo pra fora.

Limitação ao representar as classificações de veículos, pois o simulador apenas disponibiliza a representação de automóveis, ônibus, caminhões e *carpools*. E a pesquisa de campo de fluxos de tráfego foi realizada incluindo as classificações táxis e vans.

Os táxis no Rio de Janeiro têm característica peculiar, ou seja, quando fora de serviço tem comportamento menos agressivo e boa parte dos taxistas fica estacionado nas vias esperando passageiro, uma vez em serviço seu comportamento se torna mais agressivo que os condutores de carro de passeio. As vans têm características similares ao ônibus, porém com menor capacidade.

Portanto para incluir os táxis e vans foram necessários artifícios de modelagem. Os táxis foram incluídos na categoria automóvel e as vans na categoria *carpools* (é a que mais se aproxima do funcionamento das vans).

## **4.3 – Procedimentos**

### 4.3.1 - Definição da Área de Estudo

A área de estudo é a região geográfica que delimita as características necessárias para a representação de um sistema de tráfego. Esta área de estudo é definida com o objetivo de analisar um determinado comportamento de um ou mais parâmetros. Neste caso, o sistema considerado é o de tráfego rodoviário em vias urbanas e os parâmetros são as variáveis disponibilizadas pelo simulador com base na análise do fluxo de tráfego.

A definição da área de estudo deve ser de tal forma, que possa representar a simulação das características observadas em campo o mais fiel possível. Portanto a definição física da área deve ser capaz de convergir também demais atributos que não sejam apenas físicos, como atividades econômicas, financeiras, sociais e ambientais, além da caracterização dos deslocamentos (origens, destinos, motivos e modos de viagens, assim como tipos de veículos utilizados).

### 4.3.2 - Criação do Mapa da Área de Estudo

O mapa deve representar a configuração viária de todas as vias compreendidas dentro dos limites definidos para a Área de Estudo. O desenho do mapa deve ser executado em escala adequada, em função do tamanho da área a ser estudada, de modo que as características preponderantes para a análise de tráfego sejam consideradas através da simulação. As grandezas de direção, comprimento e largura das vias, assim como o número de faixas deverão ser identificadas.

Essa etapa é de suma importância para uma modelagem que represente o mais próximo da realidade. Esta precisão é necessária principalmente, uma vez que o simulador utilizado tem grande sensibilidade com relação à configuração física, por exemplo: apresenta resultados bastante diferentes na simulação, comparando duas configurações de rede modelada em que os comprimentos de um determinado do link diferem.

#### 4.3.3 - Levantamento de Pontos e Características de Tráfego Urbano

Os pontos e características que impactam o tráfego urbano são representados por locais ou pontos do espaço urbano necessários para o funcionamento de grande parte das atividades exercidas na cidade. Os sistemas de transporte público por ônibus e táxis necessitam de locais para a parada de veículos e embarque e desembarque de pessoas. Há áreas reservadas para carga e descarga de mercadorias e estacionamento de veículos na via. Quando todos esses locais especiais possuem veículos parados acabam prejudicando a circulação do fluxo de veículo nas vias, porém são locais fundamentais para a manutenção das atividades e serviços em um centro urbano se instalados de forma criteriosa, ou seja, eles precisam existir para o funcionamento da cidade.

A obtenção desses pontos e características é tão importante quanto às características do mapa de base para a construção da rede de simulação. São informações que influenciam diretamente o desempenho do fluxo de veículos em cada via representada na simulação. O impacto gerado no fluxo simulado será em função da quantidade, localização e tipificação destes pontos especiais.

#### 4.3.4 - Levantamento dos Planos Semafóricos

Os semáforos são dispositivos luminosos instalados em interseções e / ou vias para controle do fluxo, seja de veículos e ou pedestres, Os semáforos têm função de orientar os fluxos determinando o direito de passagem com segurança. Contudo, os semáforos provocam atrasos e não podem ser instalados sem critérios e respaldo técnico. E quando instalados, necessitam ainda de uma boa programação dos tempos de verde, amarelo e vermelho para o seu melhor funcionamento, assim com um adequado dimensionamento do tempo de ciclo e defasagens (quando se tratar de rede semaforizada).

A presença ou não de semáforos em uma interseção na rede modelada será em função da existência dos dispositivos, podendo ser um semáforo do tipo com tempos pré-programados ou atuados pelo tráfego.

#### 4.3.5 - Levantamento dos Fluxos de Tráfego

O fluxo de tráfego é a razão do número de veículos que passam em um ponto da via pelo tempo de observação do deslocamento destes veículos.

O principal parâmetro de uma simulação é o fluxo de tráfego. Todos os tipos de variáveis de saída da simulação têm como base o fluxo de veículos, por exemplos: a velocidade média e atraso.

As informações de fluxo podem ser obtidas de diversas formas: pesquisa de campo manual (pesquisadores), gravação de vídeo e posterior contagem, laços indutivos, através de derivação de matrizes OD, entre outros.

#### 4.3.6 - Início da criação da Rede no micro-simulador

Essa etapa corresponde ao primeiro passo a seguir após a coleta e tratamento das informações inerentes à criação do sistema a ser representado.

O início da criação da rede consiste na configuração dos parâmetros gerais para a realização da simulação no software, como horário do início da simulação, período de duração da simulação e seleção do comportamento dos condutores. É nesse momento que se pode introduzir uma imagem do tipo bitmap (\*.bmp) no plano de fundo para auxiliar o desenho da rede.

#### 4.3.7 - Introdução de Dados e Configuração dos nós e links da Rede no micro-simulador

A inserção dos nós e links deverá obedecer a configuração apresentada pelo mapa da área de estudo. A caixa de ferramentas “desenho” do simulador possui as opções de nós e links, com relação aos nós temos em nível e em diferentes níveis. Para os links, as opções são para links de sentido único de circulação e links de sentido duplo de circulação.

Após o desenho dos nós e links, as informações para a configuração dos mesmos são inseridos.

Os fluxos de trafego são inseridos nos campos de configuração dos nós, assim para os nós que possuem semáforos, inserimos também a programação semafórica.

As medidas de largura, comprimento, número de faixas das vias, pontos de paradas de ônibus, locais de estacionamento e velocidade de fluxo livre são características atribuídas aos campos de configuração dos links.

As rotas de ônibus são definidas nos parâmetros gerais citados anteriormente.

#### 4.3.8 - Desenvolvimento das Simulações da Rede

O software possui uma rotina de procedimentos para a simulação. Depois de concluir toda a configuração dos parâmetros necessários para a execução da simulação, essa rotina de procedimentos apresenta os cálculos executados pelo simulador, produzindo os dados alfanuméricos de saída (“output”) e possibilitando a visualização dos resultados pela interface gráfica através do módulo “TRAFVU”.

#### 4.3.9 - Análise dos Resultados

Com as simulações desenvolvidas, utilizamos as ferramentas oferecidas pelo simulador como o módulo “TRAFVU” para a análise visual e os dados alfanuméricos de saída (“output”) devidamente tratados para consolidar a análise do comportamento da circulação viária da rede simulada.

Para esta análise são utilizadas as variáveis indicadas por SOUSA (2003), que foram estabelecidas devido, principalmente, à sua representatividade global do desempenho da rede, avaliando e analisando toda a operacionalidade da malha viária de uma forma bastante ampla. As variáveis são: velocidade média, atraso e tempo de viagem.

A velocidade média é uma variável sensível aos níveis de saturação, portanto ela foi utilizada para estabelecer o fim dos desenvolvimentos dos cenários futuros simulados. Quando a velocidade média atingiu a metade do valor da velocidade média inicial (do Cenário 1) a rede estudada foi considerada congestionada e foi realizada a última simulação.

A seguir é apresentado um fluxograma dos procedimentos propostos por esta metodologia

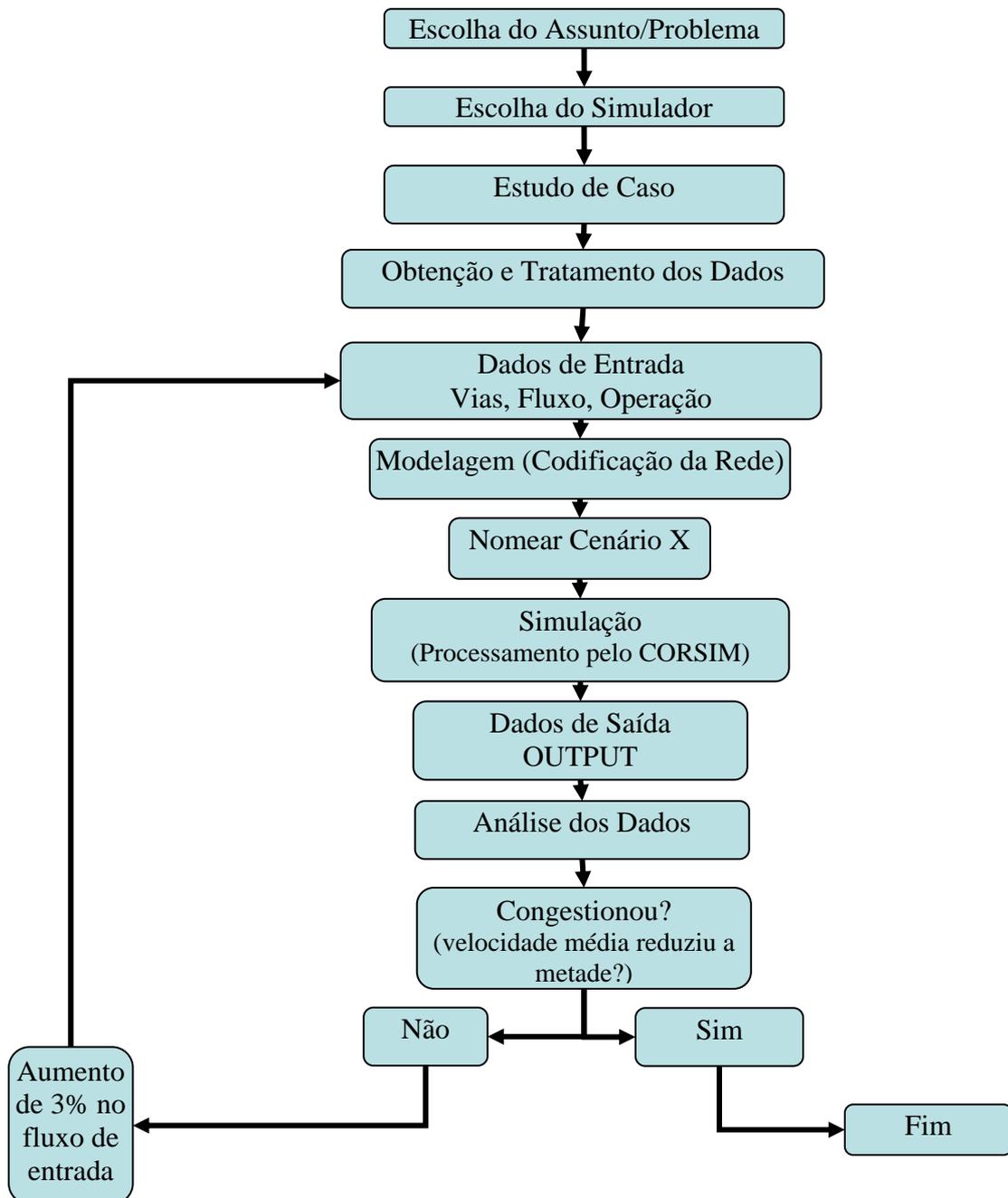


Figura 4.1 - Fluxograma dos procedimentos propostos por esta metodologia.

## CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO

### 5.1 – Considerações Iniciais

No estudo de caso aplicamos a metodologia apresentada no capítulo anterior (capítulo 4) e o desenvolvimento da pesquisa voltada para o estudo do impacto do fluxo de tráfego no sistema viário do centro do Rio de Janeiro, em função do aumento gradativo do fluxo.

### 5.2 – Identificação do Problema

O centro do Rio de Janeiro é uma região concentradora de atividades essenciais a sobrevivência do ser humano no mundo contemporâneo, com características próprias de centro metropolitano e, portanto, com elevado número de deslocamentos de pessoas e mercadorias. Outro aspecto importante é a grande população flutuante encontrada diariamente nessa região. Por essas e outras razões citadas a seguir, elegemos o centro do Rio de Janeiro para esta análise de tráfego, ver figura 5.1.



Figura 5.1 - Centro do Rio de Janeiro

Todos esses fatos caracterizam uma região com forte demanda de viagens por veículos resultando em utilização maciça do sistema viário urbano além dos níveis aceitáveis. Essa conformação produz trânsito lento e congestionamentos diários no centro urbano. O sistema está em um nível de saturação de tal forma, que se na hora de pico um veículo sofrer uma pane nas vias estruturadoras e não for retirado em pouquíssimo tempo, brevemente o sistema ficará congestionado.

A cidade do Rio de Janeiro está desenvolvendo outros “centros” distribuídos pelo território municipal, mas o Centro do Rio de Janeiro continua sendo o mais importante e concentrador de atividades e serviços de toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Passeatas e manifestações são realizadas principalmente nas mais importantes vias do centro, que estão contidas na área de estudo.

Todas as características citadas sobre o centro do Rio de Janeiro indicam essa região da cidade como a mais adequada para se realizar este estudo e de servir de exemplo para qualquer outra área urbana do Brasil.

### **5.3 – Estudo de Caso**

Uma vez definida a região da cidade a ser estudada, delimitamos a área que compreende as mais importantes vias no aspecto de carregamento de tráfego, como a Avenida Rio Branco que possui seis faixas e corta o Centro na direção Norte - Sul, e a extensa Avenida Presidente Vargas possuindo pistas duplas por sentido de quatro e três faixas cada, cortando o centro na direção Leste - Oeste, e mais as vias semaforizadas abertas ao tráfego de veículos dentro da área delimitada.

A área de estudo é formada por uma linha delimitadora, não física, chamada de “*cordon line*”. Em sentido horário a partir do Norte, o “*cordon line*” é constituído basicamente pelas seguintes vias e localidades:

- Praça Mauá,
- Rua Dom Gerardo,

- Rua Primeiro de Março,
- Avenida Presidente Vargas com Perimetral e Mergulhão Praça XV
- Avenida Antônio Carlos
- Avenida Antônio Carlos com Avenida Presidente Wilson
- Avenida Presidente Wilson com Avenida Marechal Câmara
- Avenida Rio Branco com Avenida Beira-Mar
- Rua Evaristo da Veiga com Avenida República do Paraguai
- Avenida República do Paraguai
- Praça Tiradentes
- Avenida Passos
- Avenida Presidente Vargas com Avenida Passos
- Avenida Marechal Floriano com Rua Uruguaiana
- Rua do Acre

Outro aspecto determinante para a definição da área de estudo é o fato de já possuímos as informações necessárias para a análise proposta por este estudo. Essas informações estão disponíveis principalmente pela Pesquisa de Campo RELATÓRIO DE FLUXOS DE TRÁFEGO CLASSIFICADOS.

Esta pesquisa disponibiliza informações de tráfego das 8:00 h até as 12:00 h incluindo o período de pico (as primeiras duas horas) e o período de entre-pico (as últimas duas horas).

O período escolhido para o desenvolvimento das simulações é o matutino entre 8:00 h e 10:00 h, denominado de pico da manhã por apresentar uma grande demanda de viagens e condições críticas de circulação viária na área de estudo.

Como estamos avaliando o comportamento de tráfego de uma área de estudo do tamanho de 2 km<sup>2</sup> é importante avaliar de forma mais específica o fluxo que adentra a área de estudo, portanto se escolhêssemos o período de entre-pico perderíamos o grande volume de veículos que chegam na região, uma vez que o início da maioria das atividades na cidade do Rio de Janeiro acontece às 8:00 h, dessa forma o período escolhido foi o pico da manhã.

Uma vez escolhido qual o período de coleta de informações de tráfego, definimos para efeito de análise da simulação o período de tempo de uma hora, obtido no tratamento de

dados de fluxo oriundos da Pesquisa de Campo Relatório de Fluxos de Tráfego Classificados.

#### **5.4 – Obtenção e Tratamento dos Dados**

Devido à complexidade dos elementos presentes desta pesquisa, foi necessário o levantamento de informações em diversas fontes, como órgãos competentes para a gestão do tráfego, além de notas, boletins e relatórios técnicos, trabalhos e pesquisas anteriores.

Através do mapa digitalizado da Cidade do Rio de Janeiro, fornecido pelo Projeto RIOBUS, 2001 (Reorganização do Sistema de Transportes Coletivos por Ônibus na Cidade do Rio de Janeiro) da COPPETEC, obtemos a localização, largura e comprimento das vias.

Os croquis das interseções utilizados na pesquisa de campo Relatório de Fluxos de Tráfego Classificados foram obtidos no projeto de implementação do CTA-Rio - Controle de Tráfego por Área da cidade do Rio de Janeiro, realizado em 1995 e disponibilizado pela COPPE, assim como o fluxo de tráfego e suas características, sentido de circulação, número de faixas das vias, pontos de paradas de ônibus, locais de estacionamento.

Algumas características de tráfego foram confirmadas por observações em fotos de satélites do Google Earth como número de faixas, pontos de paradas de ônibus, locais de estacionamento.

Determinou-se a velocidade de fluxo livre das vias da área de estudo através de levantamento de campo realizado no projeto de implementação do CTA-Rio.

As informações sobre as rotas de ônibus foram obtidas através da Subsecretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro. No segundo instante, a definição das rotas de ônibus foi confirmada com base nas observações realizadas na pesquisa de campo.

Os planos semaforicos foram obtidos pela Gerência de Tráfego da CET RIO. Estes planos tipificam os semáforos e determinam a localização dos grupos focais, informações sobre os tempos e programações semaforicas.

O Estudo da Área Central da Cidade do Rio de Janeiro é o título de uma pesquisa classificatória de fluxo de tráfego realizada com apoio do CNPQ.

A Pesquisa teve como objetivo principal atualizar os dados referentes a volumes de tráfego do Projeto de Implementação do CTA-Rio - Controle de Tráfego por Área da Cidade do Rio de Janeiro, e como objetivos secundários levantar e confirmar informações como sentido de circulação, número de faixas das vias, pontos de paradas de ônibus, locais de estacionamento, além de dar subsídios a futuras pesquisas e simulações de tráfego.

A área de estudo delimitada por este trabalho está contida na área abrangida pela pesquisa de campo, incluindo as principais Avenida Rio Branco e Avenida Presidente Vargas. Também são consideradas as demais vias que têm seu tráfego influenciado ou que influenciam o tráfego nas principais avenidas. O objeto da pesquisa de campo são as interseções semaforizadas da área de estudo do Centro da Cidade do Rio de Janeiro.

O dimensionamento das equipes de contagens foi realizado em função da disponibilidade de recursos financeiros, que limita os recursos de material e de pessoal. Foi utilizada uma equipe com 16 pessoas, 12 pesquisadores de campo, 2 pesquisadores de escritório, um supervisor de campo e um supervisor geral. A equipe era formada por estudantes de graduação e pós-graduação da UFRJ e da PUC, além de profissionais experientes da área de Engenharia de Transportes.

Foi determinado para cada interseção, um pesquisador para cada dois movimentos alternados pela programação semaforica. Em interseções com grande volume de ônibus foi reservado um pesquisador para a contagem exclusiva.

Cada pesquisador recebeu prancheta com contadores industriais manuais e formulários para anotações dos resultados. Os contadores são individualizados para cada classe de veículos e afixados nas pranchetas de acordo com a necessidade de cada interseção. Os formulários foram produzidos pela equipe de escritório, individualizados para cada

pesquisador em função do dia, da interseção e de cada movimento ou giro a ser pesquisado, reduzindo a probabilidade de erro de pesquisa (contagem).

A preparação desses formulários foi dinâmica com relação ao planejamento inicial e ao planejamento diário, se readequando conforme a necessidade. Os formulários possuem número da interseção e do pesquisador, nome do pesquisador, indicação das condições climáticas, indicação dos fluxos no croqui (com os desenhos dos movimentos a serem contabilizados), planilha de anotação (para cada quarto de hora) e informação da melhor localização do pesquisador na interseção.

As contagens classificaram os veículos em automóvel, ônibus, van (e Kombi), táxi e caminhão para cada quarto de hora durante o período de contagem. Sendo realizadas no pico da manhã entre 08:00 h e 10:00 h e no entre-pico da manhã entre 10:00 h e 12:00 h, no período de 25 de novembro de 2004 a 09 de dezembro de 2004, nas cinquenta e duas interseções das tabelas 5.2 e 5.3.

Devido ao caráter de subsidiar futuras pesquisas, foi utilizada a técnica de unidade equivalente de carro de passeio (ucp) aplicando os fatores da tabela 5.1 para cada classe de veículo.

Tabela 5.1 – Fatores de Conversão para Unidade de Carros de Passeio (UCP)

Classe de Veículo	Automóvel	Ônibus	Van	Táxi	Caminhão
Fatores	1,0	2,0	1,0	1,0	2,3

Tabela 5.2 – Listagem completa das interseções pesquisadas, incluindo número de movimentos e de pesquisadores empregados por interseção

Código*	Interseção		movimentos	pesquisadores
	Via 1	Via 2		
17	Av. Passos	R. Buenos Aires	4	2
18	Av. Passos	R. da Alfândega	1	2
19	Av. Presidente Vargas	Av. Passos	10	5
20	Av. Marechal Floriano	Rua Camerino	6	3
24	Av. Presidente Vargas	Rua Uruguaiana	10	6
25	Av. Marechal Floriano	Rua Uruguaiana	7	3
29	Av. Rodrigues Alves	Av. Rio Branco	9	4
30	Av. Rio Branco	R. do Acre	5	2
31	Av. Rio Branco	R. Dom Gerardo	4	2
32	Av. Rio Branco	R. Visconde de Inhaúma	5	3
33	Av. Rio Branco	Av. Presidente Vargas	12	5
34	R. 1° de Março	R. Visconde de Inhaúma	4	2
35	R. 1° de Março	Av. Presidente Vargas	11	5
79	Pça Tiradentes (pedestres)		3	1
81	Av. Passos	Pça Tiradentes	4	2
82	R. da Carioca	Pça Tiradentes	4	2
83	R. da Carioca	Av. República do Paraguai	2	1
84	Av. República do Paraguai	(pedestres)	2	2
85	Av. Marechal Câmara	Av. Franklin Roosevelt	6	4
86	R. 1° de Março	R. do Ouvidor	1	2
87	R. 1° de Março	R. Sete de Setembro	2	2
88	R. 1° de Março	R. da Assembléia	2	2
89	R. 1° de Março	R. São José	3	2
90	Av. Pres. Antônio Carlos	Av. Erasmo Braga	4	4
91	Av. Pres. Antônio Carlos	Av. Almirante Barroso	13	5
92	Av. Pres. Antônio Carlos	R. Araújo Porto Alegre	6	3
93	Av. Pres. Antônio Carlos	R. Santa Luzia	8	4
94	Av. Pres. Antônio Carlos	Av. Franklin Roosevelt	11	4
95	Av. Nilo Peçanha	Av. Graça Aranha	5	2

Tabela 5.3 – (cont.) Listagem completa das interseções pesquisadas incluindo número de movimentos e de pesquisadores empregados por interseção				
Código*	Interseção		movimentos	pesquisadores
	Via 1	Via 2		
96	Av. Almte. Barroso	Av. Graça Aranha	7	3
97	R. Araújo Porto Alegre	Av. Graça Aranha	4	2
98	R. Santa Luzia	Av. Graça Aranha	4	2
99	Av. Presidente Wilson	Av. Calógeras	4	2
100	Av. Beira Mar	Av. Calógeras	4	2
101	R. México	Av. Almte. Barroso	6	3
102	R. México	R. Araújo Porto Alegre	4	2
103	R. México	R. Santa Luzia	4	2
104	R. México	Av. Presidente Wilson	4	3
105	Av. Rio Branco	R. Buenos Aires	4	3
106	Av. Rio Branco	R. do Rosário	1	2
107	Av. Rio Branco	R. do Ouvidor	1	2
108	Av. Rio Branco	R. Sete de Setembro	1	2
109	Av. Rio Branco	R. da Assembléia	4	3
111	Av. Rio Branco	Av. Nilo Peçanha	4	3
112	Av. Rio Branco	Av. Almte. Barroso	6	4
114	Av. Rio Branco	R. Evaristo da Veiga	4	3
116	Av. Rio Branco	R. Santa Luzia	4	2
117	Av. Rio Branco	Av. Presidente Wilson	9	4
118	Av. Rio Branco	Av. Beira Mar	6	3
119	R. Senador Dantas	R. Evaristo da Veiga	4	2
120	R. Senador Dantas	R. do Passeio	4	2
123	Av. República do Paraguai	R. Evaristo da Veiga	6	2

\* Código da interseção do Projeto de Implementação do CTA-Rio - Controle de Tráfego por Área da Cidade do Rio de Janeiro, 1995.

## 5.5 – Simulações

### 5.6.1 - Objetivos e hipóteses

Objetivo é reproduzir no simulador o sistema de circulação viária na região central do Rio de Janeiro com todos os seus aspectos, inclusive os fluxos de veículos. Os aspectos básicos a se considerar são: vias de circulação para veículos, os próprios veículos e as características físicas e de operação de tráfego.

Temos como hipóteses de trabalho uma representação do tráfego de todos os veículos que circulam no centro do Rio de Janeiro no pico da manhã. Nessa pesquisa a presença de pedestres não é considerada.

### 5.6.2 - Criação da rede

Para a análise do tráfego existente numa rede por meio do simulador TRAF-NETSIM, deve-se determinar:

- A geometria da rede;
- Obter fluxos de tráfego, dados de semáforos e outras características;
- Construir um modelo de nós e links usando o TRAFED;
- Desenvolver as simulações;
- Observar no TRAFVU a animação para confirmar os fluxos na entrada, os movimentos de giros e a operação semafórica;
- Ajustar os parâmetros necessários para a calibração do modelo de simulação;
- Voltar à etapa de desenvolvimento da simulação e prosseguir com as etapas posteriores a esta.

O desenho da rede no TRAFED foi feito através da inserção de nós e links, os nós representam as interseções e os links, trechos de vias entre os nós. Utilizamos uma imagem no formato bitmap (\*.bmp) para o auxílio do traçado. Essa imagem foi importada para o formato bitmap a partir de uma base digitalizada no formato *drawing* (\*.dwg), fornecida pelo Projeto RIOBUS (Reorganização do Sistema de Transportes

Coletivos por Ônibus na Cidade do Rio de Janeiro, 2001) da COPPETEC e disponibilizada na escala de 1:2000 – Ano do Vôo: 1997.

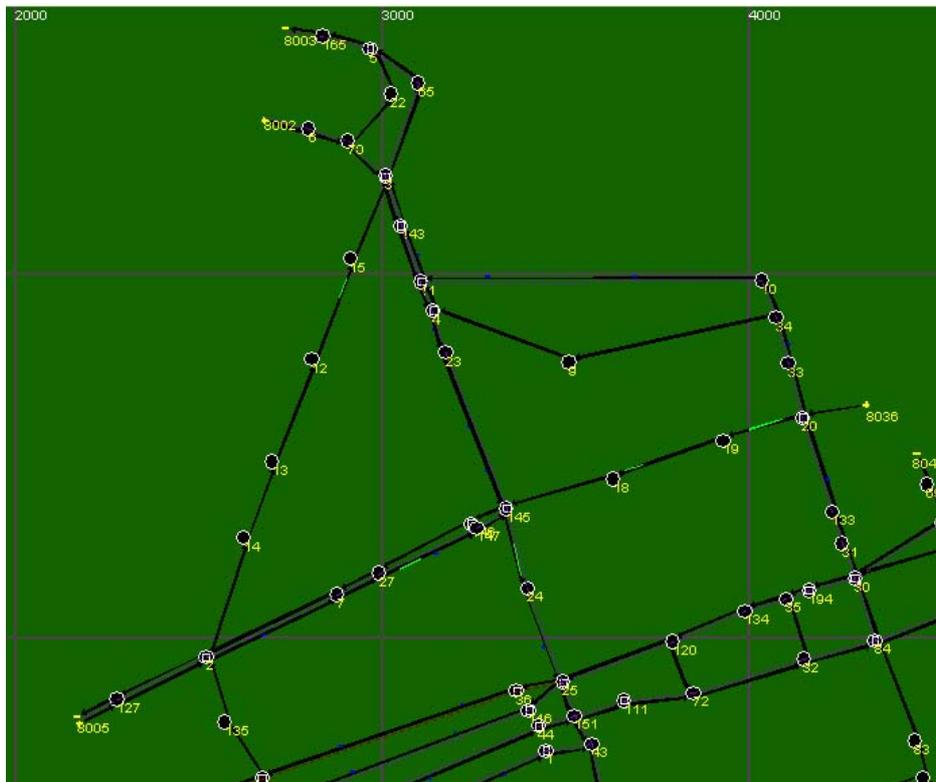


Figura 5.2 – Rede de simulação sem imagem bitmap de fundo

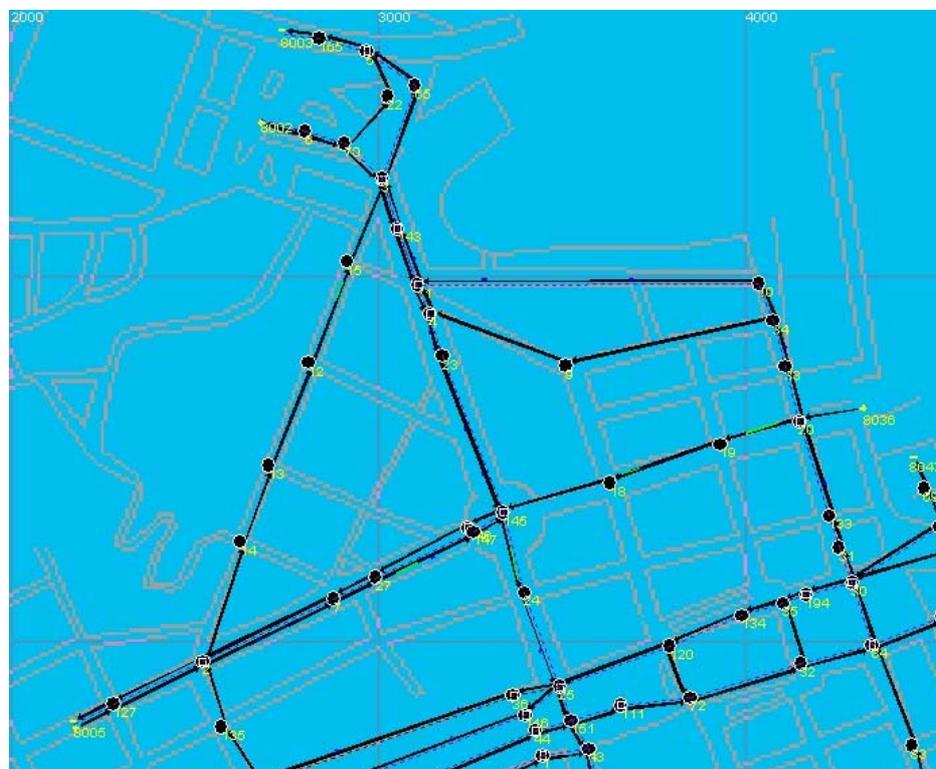


Figura 5.3 - - Rede de simulação com imagem bitmap de fundo

Antes mesmo de começar a desenhar, o simulador disponibiliza a opção de configurações do horário de início, quantidade de períodos e a duração de cada período da simulação, conforme pode ser visto na figura 5.4. Caso essas informações não sejam inseridas nesse momento, pode-se fazer após o fim da montagem da rede.

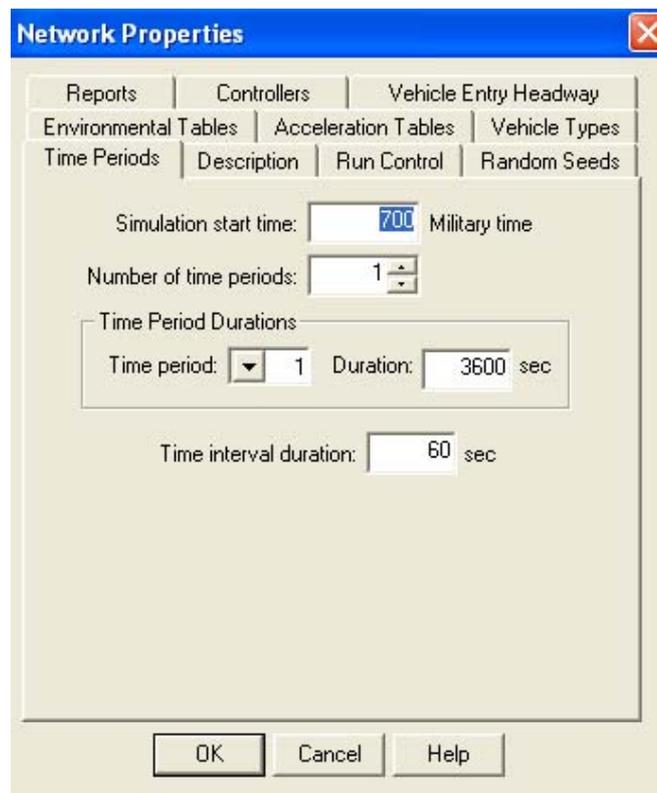


Figura 5.4 – Propriedades da Rede

Para que a rede construída representasse o mais próximo possível a realidade, tivemos que utilizar recursos adaptativos na construção do modelo, visto que o software TRAF-NETSIM desenvolvido pela norte americana FHWA baseia-se em vias de circulação com características próprias da América do Norte. Estes recursos serão apresentados a seguir.

#### Recursos Adaptativos da Simulação

A instalação de semáforos, que não existe na realidade, em vias de menor fluxo em função da necessidade da implantação desse equipamento controlador na via de maior fluxo, que há realmente um semáforo. Como essas vias se interceptam, quando implanta-se o semáforo na interseção, o simulador disponibiliza grupos focais para todos os movimentos. Dessa forma para as vias que não possuem semáforo, mas o simulador oferece grupos focais, determinamos tempo de verde contínuo para essa aproximação compatibilizando com o que acontece na realidade, conforme pode ser visto na figura 5.5.

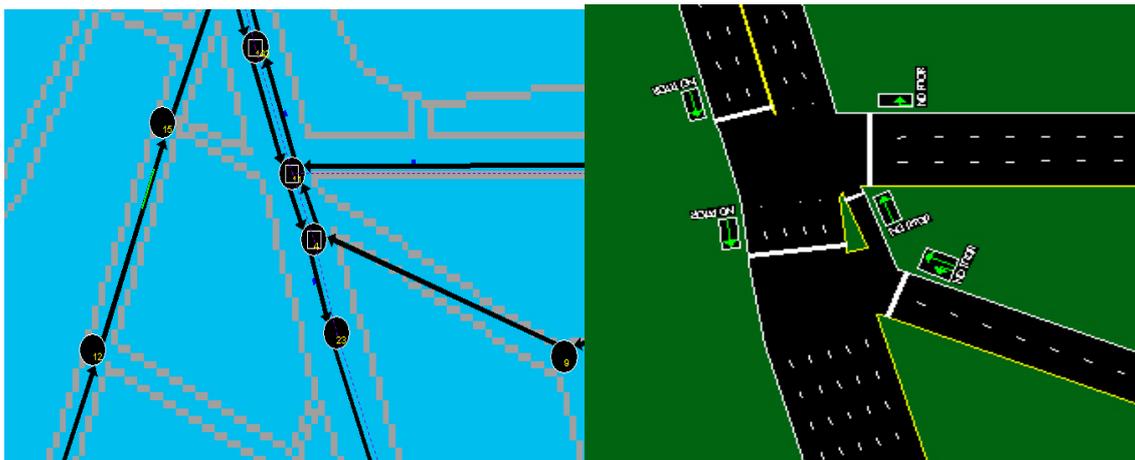


Figura 5.5 –Interseção da Av. Rio Branco com Rua São Bento.

No centro do Rio de Janeiro existem algumas interseções com elevado grau de complexidade, por exemplo, temos a interseção das Avenidas Rio Branco e Presidente Vargas. As interseções são representas no simulador pelos nós, e estes possuem limites de movimentos e consequentemente de grupos focais a serem implantados, esses limites impossibilitam a representação da complexa interseção citada por apenas um nó. Para superar essa dificuldade foram implantados mais de um nó para a representação da interseção, ver figura 5.6.

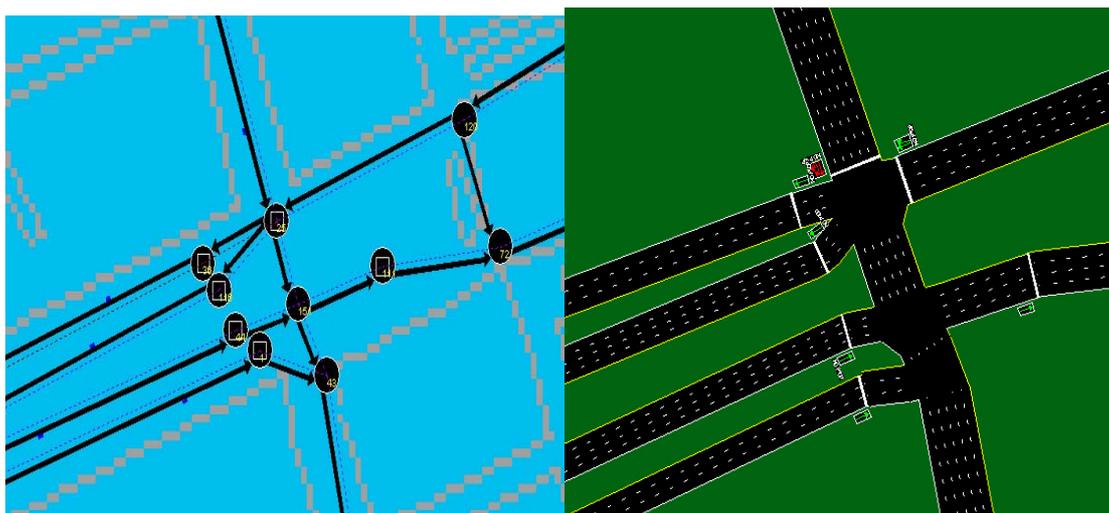


Figura 5.6- Interseção da Av. Rio Branco com Av. Pres. Vargas

A implantação de nós adicionais em links próximos às interseções semaforizadas tem como finalidade representar giros retidos. Desse forma, pode-se implantar um semáforo exclusivo para o giro retido sem alterar o plano semafórico da interseção semaforizada adjacente, ver figura 5.7.

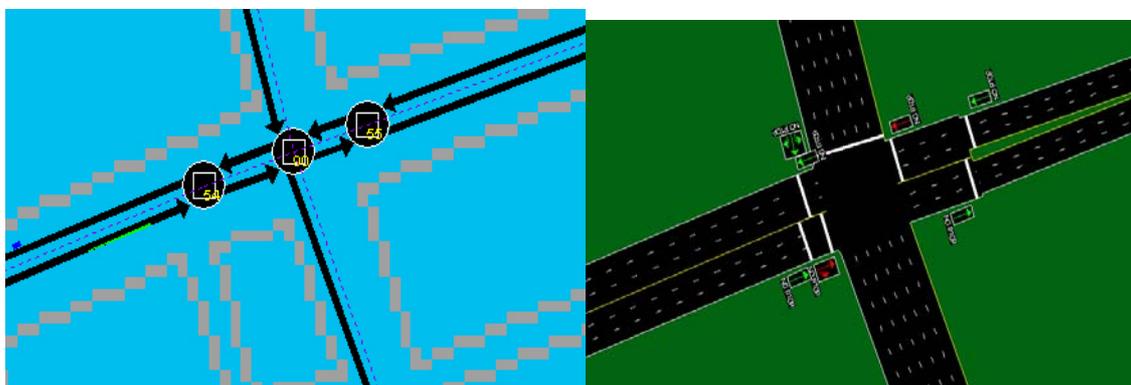


Figura 5.7 - Interseção da Av. Rio Branco com Av. Almirante. Barroso

Para representar as áreas destinadas aos pontos de táxi ao longo da via utilizamos o recurso disponibilizado pelo simulador chamado *parking*, ver figura 5.8.

A localização dos pontos de táxis foi retirada do Portal Eletrônico da Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro na consulta a pontos de táxis regulamentados no bairro do Centro do Rio de Janeiro.

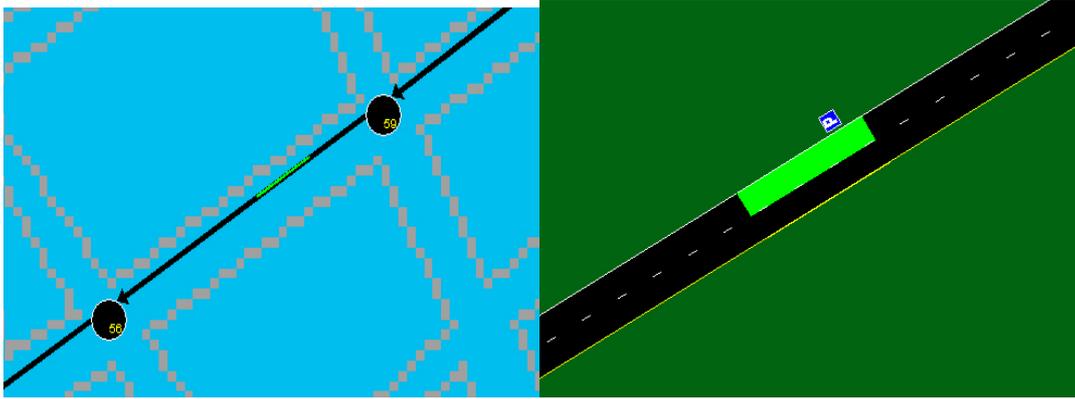


Figura 5.8 - Rua da Assembléia

Conforme citado no capítulo sobre o simulador, a rede criada no simulador é formada por nós e links. No entanto, os nós e os links se tipificam em nó ou link de entrada, nó ou link de saída, e nó ou link interno à rede chamado simplesmente de nó ou link. Apenas os nós de entrada e de saída são numerados com 4 dígitos e têm como primeiro dígito na identificação o número 8.

Os fluxos de tráfego são inseridos nos nós de entrada em função dos dados levantados da pesquisa de tráfego, para cada interseção interceptada pela linha delimitadora da área de estudo é identificado o fluxo que corresponde à entrada de veículos na rede criada. Uma vez identificado o fluxo, coletamos o dado de fluxo previamente tratado e inserimos na edição do nó de entrada, optando por volume em veículo por hora.

Os percentuais de giros oriundos dos fluxos de tráfego são inseridos nos nós internos à rede (ou apenas nós), estes valores são calculados em função do valor total menos o valor de ônibus, já que estes são inseridos na simulação à parte, no Bus Routes.

A fim de exemplificar a introdução dos fluxos de tráfego nos nós de entrada e nos nós internos a rede, escolhemos numericamente o primeiro nó de entrada 8002 da rede simulado que corresponde à interseção de número 30. Esta interseção tem a característica de servir de base para o volume introduzido no nó de entrada, e para o cálculo do percentual de giro introduzido no nó interno à rede. A interseção número 30 é constituída pelas vias Rua do Acre x Avenida Rio Branco presentes no Relatório de Fluxos de Tráfego Classificados, a seguir a página do Relatório que contém o croqui correspondente.

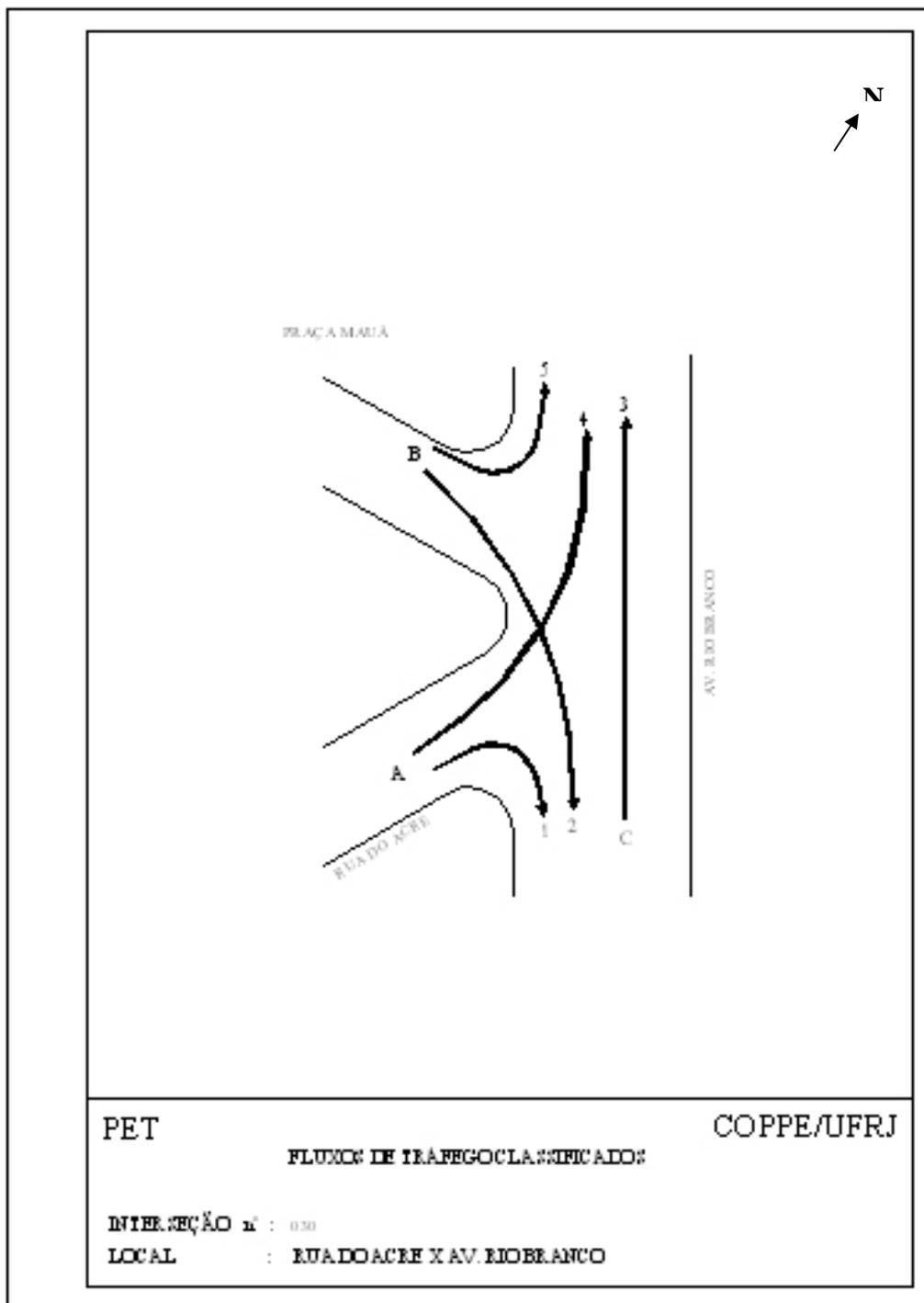


Figura 5.9 – Croqui Rua do Acre com Av. Rio Branco

A figura 5.9 apresenta a configuração física da interseção com os giros existentes e identificados por números. A origem destes movimentos é em função de cada aproximação e eles são identificados por letras. A figura 5.9 exhibe também, a codificação (número) e o nome das vias que formam a interseção.

Os resultados finais dos Fluxos de Tráfego Classificados para a interseção número 30 estão expostos nas tabelas 5.4 (volume do pico da manhã) e 5.5 (volume do entre-pico da manhã). As tabelas contêm os fluxos de cada movimento e o somatório dos fluxos originados em cada aproximação, estes fluxos estão tipificados por cada classe de veículos, pelo seu somatório e pelo volume equivalente de unidades de carro de passeio através dos fatores da tabela 5.1.

Tabela 5.4 – Fluxos pico da manhã

Pico da manhã (08:00 às 10:00)

Fluxo	Automóvel	Ônibus	Van	Táxi	Caminhão	Total	Volume (UCP)
1	51	1	19	29	17	117	140,1
2	506	238	113	346	49	1252	1553,7
3	336	283	163	119	15	916	1218,5
4	115	17	37	25	7	201	227,1
5	130	3	20	7	10	170	186
A	166	18	56	54	24	318	367,2
B	636	241	133	353	59	1422	1739,7
C	336	283	163	119	15	916	1218,5

Tabela 5.5 - Fluxos entre-pico da manhã

Entre pico da manhã (10:00 às 12:00)

Fluxo	Automóvel	Ônibus	Van	Táxi	Caminhão	Total	Volume (UCP)
1	59	0	17	61	15	152	171,5
2	426	197	42	344	23	1032	1258,9
3	452	242	92	179	16	981	1243,8
4	189	2	28	78	15	312	333,5
5	118	19	29	16	6	188	214,8
A	248	2	45	139	30	464	505
B	544	216	71	360	29	1220	1473,7
C	452	242	92	179	16	981	1243,8

Para o efeito deste estudo de caso, vamos considerar apenas os dados de fluxos da tabela 5.4 que corresponde ao período de pico da manhã, já justificado anteriormente no texto.

Exemplificando o processo de inserção dos fluxos da interseção número 30 na rede simulada, tanto para o nó de entrada como para o nó interno à rede, temos:

✓ Para a edição do nó de entrada

Neste caso, consideramos a aproximação B onde o limite da área de estudo intercepta a interseção. A aproximação B contém os fluxos 2 e 5, e o total de 1422 veículos. Para a inserção do fluxo devemos descontar do total os 241 ônibus resultando em 1181 veículos representativos de automóveis, van, táxi e caminhão. Então, calculamos o percentual de caminhões e de *carpools* a partir do fluxo de caminhões e de *carpools* em função do resultado de 1181 veículos, obtendo respectivamente os resultados de 5 % e 11 % ver figura 5.10. Para efeitos de cálculo, consideraremos o fluxo de van como sendo fluxo de *carpool*.

The screenshot shows the 'Entry Properties' dialog box with the following details:

- ID: 8002
- Location: 2680 X, 6432 Y
- Time Period: 1 (Same as previous time period? checkbox is unchecked)
- Table: 

	Start time	Flow
▶	0	1181
*		
- Entry flow is given as:  Vehicle counts,  Volumes (vph)
- Vehicle Types (other than passenger cars): Trucks: 5 %, Carpools: 11 %
- Percentage of non-HOV vehicles that violate HOV lanes: 1.00 %
- Lane distribution of entering vehicles (FRESIM): Leftmost lane: [0 %] [0 %] [0 %], Rightmost lane: [0 %] [0 %]

Figura 5.10 – Dados nos nós de entrada

✓ Para a edição do nó interno à rede

Agora, consideramos a aproximação A onde os fluxos são repartidos em giros. A aproximação A contém os fluxos 1 e 4, e o total de 318 veículos. Para a inserção dos percentuais de fluxo devemos descontar do total os 18 ônibus resultando em 300 veículos representativos de automóveis, van, táxi e caminhão, descontar também de cada fluxo o valor de ônibus correspondente. Então, com os valores de fluxos descontados os ônibus, calculamos o percentual de giro de cada fluxo, no caso os fluxos 1 e 4 obtendo respectivamente os resultados de 39 % (girando à direita) e 61 % (seguindo em frente) ver figura 5.11.

Intersection Properties

Node ID: 3 Location: 3008 X 6268 Y

Select an approach (upstream node ID) to edit: 15

Conditional Turn Movements | Stop Line | Pedestrians | Control

Turn Movements | Turn Multipliers | Lane Alignment

Departures (downstream node IDs)

Left: Thru: 65 Right: 143 Left Diag.:

Traffic opposing left-turners comes from: Right Diag.:

Time-varying data

Time Period: 1

Relative Turn Volumes					
	Start time	Left	Thru	Right	Diagonal
▶	0		61	39	
*					

Right turn on red allowed

OK Cancel Help

Figura 5.11 - Dados nos nós internos à rede

Embora a aproximação B tenha sido citada na edição do nó de entrada, ela possui uma repartição de giros, portanto também é utilizada para edição do nó interno à rede com o mesmo procedimento da aproximação A. Como a aproximação C não possui repartição de giros, inserimos o valor de 100 % no giro existente em uma janela semelhantes a da figura 5.11.

Os nós de saída não possuem nenhuma característica de tráfego, podendo ser alterados apenas sua identificação e seu posicionamento na rede.

A programação semafórica da Cidade do Rio de Janeiro alterna-se ao longo dos períodos do dia, mesmo que dentro do mesmo período ela seja constante.

Entretanto, como a simulação proposta nesta dissertação tem a duração de uma hora no pico da manhã de dias úteis, consideraremos a programação semafórica desta hora com semáforos do tipo de tempos pré-programados.

Em função de cada fase, determinamos os movimentos atuantes, tempo de verde, tempo de amarelo e tempo de vermelho total, assim como para toda a interseção, tempo de ciclo e *offset* (defasagem do semáforo com relação aos demais) segundo a figura 5.12.

The screenshot shows the 'Pre-Timed Controller' window. It features a grid of phase diagrams on the left, a 'Time Period' dropdown set to '1', a 'Preset Phase Scheme' dropdown, and buttons for 'Save Scheme' and 'Load Scheme'. Below these are input fields for 'Cycle Length' (140), 'Offset Time' (3), and 'Minimum Main Street Green' (0). The 'Controlled Movements' section shows six phase diagrams with arrows indicating active movements. At the bottom is a table of timing parameters for six phases.

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6
Green Time:	33	95	3	0	0	0
Yellow Time:	3	3	0	0	0	0
All Red Time:	1	1	1	0	0	0

Figura 5.12 - Plano Semafórico da interseção 30

Dados como nome das vias, velocidade de fluxo livre, greide do pavimento, número e largura e tipo de cada faixa, presença ou não de paradas de ônibus e de estacionamento (*parking*) são inseridos na edição dos links, ver figura 5.13. Além da confirmação do comprimento de links, pois quando se desenha o link o simulador automaticamente insere o valor de sua extensão.

The image shows a software dialog box titled "Surface Link [15, 3]". It features a tabbed interface with the following tabs: "Bus Stations", "Source/Sink", "Parking", "Short-term Events", "Long-term Events", "Detectors", "General", "Lanes", "Lane Channelization", and "Graphics". The "General" tab is currently active. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** A text input field containing "Rua do Acre".
- Length:** A numeric input field set to "247" followed by "ft", and a "Reset Length" button.
- Free Flow Speed:** A numeric input field set to "30" followed by "mph".
- Grade:** A numeric input field set to "0" followed by "%".
- Queue Discharge Characteristics:** A sub-section containing:
  - Distribution Code:** A dropdown menu set to "1".
  - for Time Period:** A dropdown menu set to "1".
  - Mean Startup Delay:** A numeric input field set to "2.0" followed by "sec".
  - Mean Discharge Headway:** A numeric input field set to "1.8" followed by "sec".

At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 5.13 – Dados no link interno à rede

Os links de saída não têm propriedades editáveis. E os links de entrada se diferem dos links comuns por só poderem editar nome das vias, greide do pavimento, número e largura e tipo de cada faixa.

Para a implantação dos fluxos de ônibus, utilizou-se o *Bus Routes*, que é o sistema de Rotas de ônibus disponível no simulador. Para tanto é necessário saber algumas características operacionais como o percurso da linha de ônibus, locais das paradas,

*headway* (intervalo de tempo entre as frentes dos veículos) e *offset* (defasagem entre as diversas linhas existentes), ver figura 5.14.

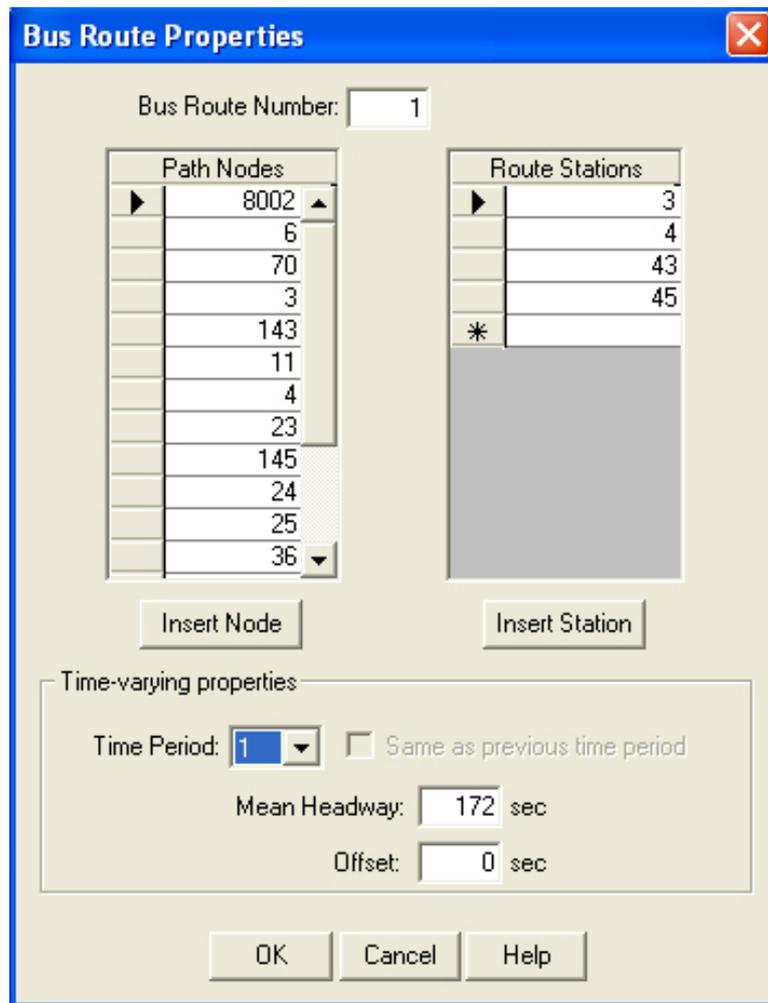


Figura 5.14 – Dados de Rotas de Ônibus

Observou-se uma elevada sobreposição de linhas de transporte público por ônibus que transitam na área de estudo. E devido à limitação máxima de rotas do simulador optou-se pela estratégia de se agrupar linhas de ônibus com trajetos semelhantes na mesma rota, sem desconsiderar que, desta forma cada rota passa a ter maior número de veículos.

Para orientar a tarefa de criar rotas representativas utilizamos de Guias de Ruas do Rio de Janeiro e Guia de Itinerário do Sindicato de Empresas de Ônibus (Rioônibus) disponibilizado via Home Page.

Foram consideradas 46 (quarenta e seis) trajetórias de ônibus e destas foram determinadas 15 (quinze) rotas representativas discriminadas abaixo com algumas de suas linhas de ônibus. Estas rotas também estão ilustradas na figura 5.15.

- Rota 1 – 220, 241 (ida), 222 - Praça Mauá, Avenida Rio Branco, Avenida Presidente Vargas.
- Rota 2 – 123, 127, 128, 177 - Praça Mauá, Avenida Rio Branco, Avenida Infante Dom Henrique.
- Rota 3 – 261(volta), 2011(ida) - Praça Mauá, Avenida Rio Branco, Avenida Beira-Mar, Avenida Presidente Antônio Carlos, terminal Alfredo Agache.
- Rota 4 – 240 (volta), 268 (volta) – Avenida Presidente Vargas, Avenida Passos, Praça Tiradentes, Avenida República do Paraguai, Rua Evaristo da Veiga, Rua Araújo Porto Alegre, Avenida Presidente Antônio Carlos, Terminal Misericórdia.
- Rota 5 – 241 (volta) - Avenida Presidente Vargas, Praça Pio X, Rua Primeiro de Março, Rua Dom Gerardo, Avenida Rio Branco, Praça Mauá.
- Rota 6 – 232 (volta) - Avenida Presidente Vargas, Avenida Rio Branco, Rua Araújo Porto Alegre, Avenida Presidente Antônio Carlos, Terminal Alfredo Agache.
- Rota 7 – 226 - Avenida Presidente Vargas, Avenida Rio Branco, Avenida Nilo Peçanha, Rua da Carioca.
- Rota 8 – 225 (volta) - Avenida Presidente Vargas, Praça Pio X, passagem subterrânea.
- Rota 9 – 132, 179 – Avenida Marechal Floriano, Rua Visconde de Inhaúma, Avenida Rio Branco, Avenida Beira-Mar, praia do Flamengo.
- Rota 10 – 320 - Avenida Presidente Vargas, Avenida Passos, Praça Tiradentes, Avenida República do Paraguai, Rua Evaristo da Veiga, Rua Senador Dantas, Praça Mahatma Gandhi, Rua Santa Luzia, Avenida Presidente Antônio Carlos, Avenida Nilo Peçanha, Avenida Graça Aranha, Avenida Beira-Mar.
- Rota 11 – Avenida Alfredo Agache, Praça Pio X, Avenida Presidente Vargas (pista centro).
- Rota 12 – Rua da Constituição, Praça Tiradentes, Avenida República do Paraguai, Rua dos Arcos.

- Rota 13 – 2018 – Avenida Marechal Câmara, Avenida Franklin Roosevelt, Avenida Presidente Wilson .
- Rota 14 – 498, 422, 401 - Avenida Marechal Câmara, Avenida Franklin Roosevelt, Avenida Presidente Wilson, Avenida Beira Mar (pista interna).
- Rota 15 – 214, 206A – Avenida República do Chile, Avenida Almirante Barroso, Avenida Presidente Antônio Carlos, Avenida Nilo Peçanha, Rua da Carioca, Praça Tiradentes.

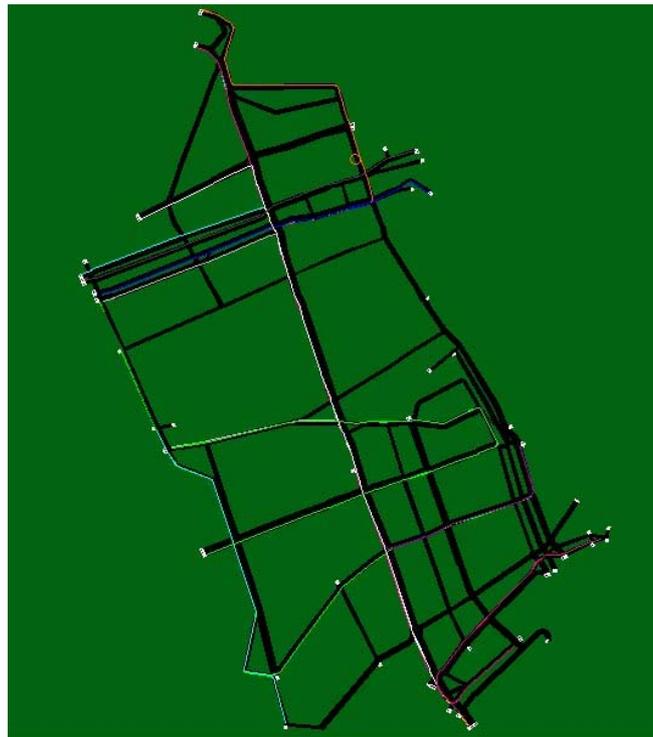


Figura 5.15 – Rotas de Ônibus representada no TRAFVU

### 5.6.3 – Desenvolvimento da simulação

A etapa seguinte da criação da rede é desenvolver a primeira simulação com os dados atuais de fluxos denominado de cenário 0 (zero), criando condições suficientes para realizar a calibração do modelo.

O processo de simulação consiste basicamente em transformar a rede criada graficamente no TRAFED (\*.tno) em dois arquivos de saída, um alfanumérico (\*.out) apenas para a coleta de valores e outro alfanumérico que é base para a visualização do TRAFVU (\*.trf).

Na visualização da rede na animação do TRAFVU é possível verificar as condições de fluxo de tráfego, como volume nas entradas, os movimentos de giros e a operação semafórica.

#### 5.6.4 – Estimativa do Erro Admissível da Simulação

Esta etapa consiste na determinação da faixa de valores de erros admissíveis para o ajuste dos parâmetros e configurações para a calibração do modelo de simulação.

A partir da codificação da rede no simulador, realizou-se uma série de mudanças e acertos na rede com a finalidade de se aproximar o resultado da simulação da realidade. Ocorreram mudanças na programação semafórica, nas configurações de rotas de ônibus, nas larguras das faixas, na configuração física da rede, comportamento dos motoristas, percentual de *bypass* dos ônibus, entre outros.

Os ajustes na rede criada foram realizados até que o resultado da simulação atingisse um grau de aceitabilidade desejável, de confiabilidade do modelo e compatibilização do cenário simulado com a realidade.

Para determinar este grau de aceitabilidade, vamos definir o parâmetro padrão para comparação das tentativas de verificação do erro admissível da rede. Considerando a diferença entre os volumes inseridos nos nós de entrada (volume teórico oriundo da pesquisa) conforme exibe figura 5.16 com os volumes simulados nos links a jusante desses nós temos a diferença percentual exibidos na tabela 5.6.

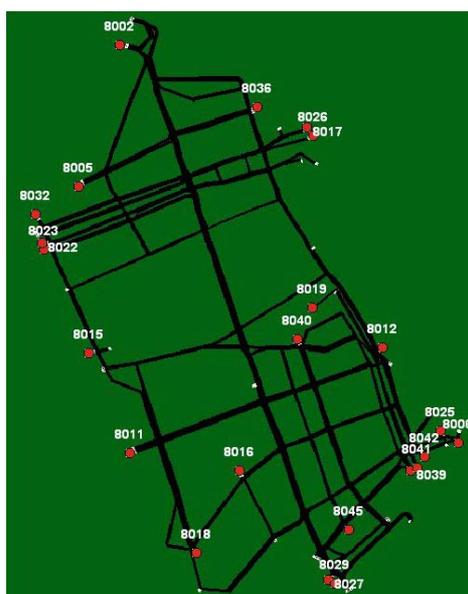


Figura 5.16 – Localização dos nós de entrada da rede

Tabela 5.6 - Tabela de diferença entre volumes teórico e simulado

Nó de Entrada	Fluxo Teórico	Fluxo Simulado	Variação de Fluxo	Variação Percentual de Fluxo
(8002, 6)	1.181	1.262	81	6,86%
(8005, 127)	367	414	47	12,81%
(8006, 196)	2.585	2.587	2	0,08%
(8011, 188)	764	803	39	5,10%
(8012, 184)	237	235	-2	-0,84%
(8015, 71)	436	433	-3	-0,69%
(8016, 112)	386	386	0	0,00%
(8017, 195)	1.294	1.182	-112	-8,66%
(8018, 156)	621	613	-8	-1,29%
(8019, 74)	112	112	0	0,00%
(8022, 42)	1.358	1.419	61	4,49%
(8023, 41)	1.618	1.795	177	10,94%
(8025, 175)	262	253	-9	-3,44%
(8026, 144)	502	501	-1	-0,20%
(8027, 87)	416	415	-1	-0,24%
(8029, 88)	1.190	1.189	-1	-0,08%
(8032, 86)	1.001	1.000	-1	-0,10%
(8036, 20)	358	357	-1	-0,28%
(8039, 189)	173	172	-1	-0,58%
(8040, 89)	58	56	-2	-3,45%
(8041, 191)	1.051	1.052	1	0,10%
(8042, 187)	511	540	29	5,68%
(8045, 63)	267	260	-7	-2,62%

Observamos que apenas dois registros apresentam valores das variações percentuais acima de 10 %, representando 8,70 % de todos os registros ver tabela 5.7. Portanto 91,30 % de todos os registros têm variação percentual menor que 10 %, dessa forma o erro máximo admissível aplicado nos pontos de controle vistos na tabela 5.8 será de 10%.

Tabela 5.7 – Variação percentual de fluxo e distribuição dos registos

Nó de Entrada	Variação Percentual de Fluxo	Distribuição dos Registos
(8017, 195)	-8,66%	91,30% dos registos estão abaixo de 10 %
(8040, 89)	-3,45%	
(8025, 175)	-3,44%	
(8045, 63)	-2,62%	
(8018, 156)	-1,29%	
(8012, 184)	-0,84%	
(8015, 71)	-0,69%	
(8039, 189)	-0,58%	
(8036, 20)	-0,28%	
(8027, 87)	-0,24%	
(8026, 144)	-0,20%	
(8032, 86)	-0,10%	
(8029, 88)	-0,08%	
(8016, 112)	0,00%	
(8019, 74)	0,00%	
(8006, 196)	0,08%	
(8041, 191)	0,10%	
(8022, 42)	4,49%	
(8011, 188)	5,10%	
(8042, 187)	5,68%	
(8002, 6)	6,86%	
(8023, 41)	10,94%	8,70%
(8005, 127)	12,81%	

Seleccionamos as interseções internas à área de estudo de modo a formar uma distribuição uniforme sobre a área de estudo (figura 5.17). Estas interseções estão indicadas na tabela 5.8.



Figura 5.17 – Interseções selecionadas para o ajuste, sem e com área de influência.

Analisando a tabela 5.8, que exhibe os códigos e as variações percentuais de fluxo de cada interseção utilizada para o ajuste da rede simulada, verificamos que nenhuma variação ultrapassou o limite de 10 %, quando todas as interseções selecionadas estiverem dentro dos padrões aceitáveis, a rede modelada estará ajustada e será chamada de cenário 1.

Tabela 5.8 – Interseções selecionadas para ajuste e variações percentuais de fluxo

Código da Interseção	Variação Percentual de Fluxo
17	2,30%
19	1,50%
25	0,50%
30	4,00%
31	2,20%
32	6,20%
33	7,10%
35	1,40%
82	7,20%
87	0,01%
90	5,90%
93	0,20%
94	4,10%
96	4,20%
97	4,00%
100	0,20%
105	0,20%
111	2,50%
112	2,20%
116	3,60%
119	0,60%
120	8,10%
123	7,10%

#### 5.6.5 - Criação e Simulação dos demais cenários.

Para atingir o objetivo de avaliar os níveis de tráfego criamos uma série de cenários futuros tendo o fluxo de tráfego acrescido em 3% (em função do descrito no Capítulo 4) com relação ao cenário anterior até as condições de saturação das vias. Os cenários criados são demonstrados na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Cenários e incrementos de fluxos relativos e absolutos.

Cenários	Aumento relativo	Aumento absoluto
1	-	0,00%
2	3,00%	3,00%
3	3,00%	6,09%
4	3,00%	9,27%
5	3,00%	12,55%
6	3,00%	15,93%
7	3,00%	19,41%
8	3,00%	22,99%
9	3,00%	26,68%
10	3,00%	30,48%
11	3,00%	34,39%
12	3,00%	38,42%
13	3,00%	42,58%
14	3,00%	46,85%
15	3,00%	51,26%
16	3,00%	55,80%
17	3,00%	60,47%
18	3,00%	65,28%
19	3,00%	70,24%
20	3,00%	75,35%
21	3,00%	80,61%
22	3,00%	86,03%
23	3,00%	91,61%
24	3,00%	97,36%
25	3,00%	103,28%
26	3,00%	109,38%

Portanto, com base na rede ajustada chamada de cenário 1, aumentamos os fluxos de tráfego nos nós de entrada conforme as tabelas 5.10 e 5.11.

Tabela 5.10 - Tabela de aumento de fluxos nos nós de entrada com numeração dos cenários

Volumes (veículos por hora)													
Nós de Entrada	Cenários												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8002	1.181	1.216	1.253	1.291	1.329	1.369	1.410	1.452	1.496	1.541	1.587	1.635	1.684
8005	367	378	389	401	413	425	438	451	465	479	493	508	523
8006	2.585	2.663	2.742	2.825	2.909	2.997	3.087	3.179	3.275	3.373	3.474	3.578	3.686
8011	764	787	811	835	860	886	912	940	968	997	1.027	1.058	1.089
8012	237	244	251	259	267	275	283	291	300	309	319	328	338
8015	436	449	463	476	491	505	521	536	552	569	586	604	622
8016	386	398	410	422	434	447	461	475	489	504	519	534	550
8017	1.294	1.333	1.373	1.414	1.456	1.500	1.545	1.591	1.639	1.688	1.739	1.791	1.845
8018	621	640	659	679	699	720	742	764	787	810	835	860	885
8019	112	115	119	122	126	130	134	138	142	146	151	155	160
8022	1.358	1.399	1.441	1.484	1.528	1.574	1.622	1.670	1.720	1.772	1.825	1.880	1.936
8023	1.618	1.667	1.717	1.768	1.821	1.876	1.932	1.990	2.050	2.111	2.174	2.240	2.307
8025	262	270	278	286	295	304	313	322	332	342	352	363	374
8026	502	517	533	549	565	582	599	617	636	655	675	695	716
8027	416	428	441	455	468	482	497	512	527	543	559	576	593
8029	1.190	1.226	1.262	1.300	1.339	1.380	1.421	1.464	1.507	1.553	1.599	1.647	1.697
8032	1.001	1.031	1.062	1.094	1.127	1.160	1.195	1.231	1.268	1.306	1.345	1.386	1.427
8036	358	369	380	391	403	415	427	440	454	467	481	496	510
8039	173	178	184	189	195	201	207	213	219	226	232	239	247
8040	58	60	62	63	65	67	69	71	73	76	78	80	83
8041	1.051	1.083	1.115	1.148	1.183	1.218	1.255	1.293	1.331	1.371	1.412	1.455	1.498
8042	511	526	542	558	575	592	610	628	647	667	687	707	729
8045	267	275	283	292	301	310	319	328	338	348	359	370	381

Tabela 5.11 – (Cont.) Tabela de aumento de fluxos nos nós de entrada com numeração dos cenários

Volumes (veículos por hora)													
Nós de Entrada	Cenários												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
8002	1.734	1.786	1.840	1.895	1.952	2.011	2.071	2.133	2.197	2.263	2.331	2.401	2.473
8005	539	555	572	589	607	625	644	663	683	703	724	746	768
8006	3.796	3.910	4.027	4.148	4.273	4.401	4.533	4.669	4.809	4.953	5.102	5.255	5.412
8011	1.122	1.156	1.190	1.226	1.263	1.301	1.340	1.380	1.421	1.464	1.508	1.553	1.600
8012	348	358	369	380	392	403	416	428	441	454	468	482	496
8015	640	659	679	700	721	742	765	787	811	835	860	886	913
8016	567	584	601	619	638	657	677	697	718	740	762	785	808
8017	1.900	1.957	2.016	2.076	2.139	2.203	2.269	2.337	2.407	2.479	2.554	2.630	2.709
8018	912	939	967	997	1.026	1.057	1.089	1.122	1.155	1.190	1.226	1.262	1.300
8019	164	169	174	180	185	191	196	202	208	215	221	228	235
8022	1.994	2.054	2.116	2.179	2.245	2.312	2.381	2.453	2.526	2.602	2.680	2.761	2.843
8023	2.376	2.447	2.521	2.596	2.674	2.755	2.837	2.922	3.010	3.100	3.193	3.289	3.388
8025	385	396	408	420	433	446	459	473	487	502	517	533	549
8026	737	759	782	806	830	855	880	907	934	962	991	1.020	1.051
8027	611	629	648	668	688	708	729	751	774	797	821	846	871
8029	1.748	1.800	1.854	1.910	1.967	2.026	2.087	2.149	2.214	2.280	2.349	2.419	2.492
8032	1.470	1.514	1.560	1.606	1.655	1.704	1.755	1.808	1.862	1.918	1.976	2.035	2.096
8036	526	542	558	574	592	609	628	647	666	686	707	728	750
8039	254	262	270	278	286	295	303	312	322	331	341	352	362
8040	85	88	90	93	96	99	102	105	108	111	114	118	121
8041	1.543	1.590	1.637	1.687	1.737	1.789	1.843	1.898	1.955	2.014	2.074	2.136	2.201
8042	750	773	796	820	845	870	896	923	951	979	1.009	1.039	1.070
8045	392	404	416	428	441	455	468	482	497	512	527	543	559

Os fluxos foram aumentados relativamente com relação à configuração anterior. Dessa forma os volumes de caminhões e *carpools* se elevarão junto com os fluxos inseridos, independentemente de variar os percentuais de caminhões e *carpool* respectivos.

Portanto consideramos as proporções de caminhões e *carpools* para cada nó de entrada conforme a tabela 5.12. Os semáforos de tempo fixo da área de estudo se mantiveram os mesmos planos do cenário 1.

Tabela 5.12 - Percentuais de caminhões e *carpools*

Nós de entrada	Caminhões (%)	<i>Carpools</i> (%)
8002	5	11
8005	10	19
8006	1	5
8011	2	7
8012	2	13
8015	21	6
8016	2	8
8017	1	13
8018	1	8
8019	8	33
8022	1	12
8023	1	27
8025	1	29
8026	1	9
8027	1	1
8029	1	2
8032	5	14
8036	3	10
8039	3	2
8040	0	29
8041	0	4
8042	0	5
8045	5	4

Uma vez criados todos os cenários, desenvolvemos as simulações e obtemos os dados de saída e as telas de animação do TRAFVU. Após o tratamento de dados de saída na planilha eletrônica obtemos condições necessárias que nos permitem analisar a circulação de veículos na área de estudo.

### 5.6.6 – Resultados das Simulações

Embora o micro-simulador disponibilize uma grande quantidade de dados de saída, vamos trabalhar para este estudo de caso com as variáveis Velocidade Média em Km/h, Tempo Médio de Viagem e Tempo Médio de Atraso, ambos em s/veículo. O uso destas variáveis foi justificado no capítulo 4. Todas as três grandezas se referem a veículos trafegando em um link durante a simulação.

Os resultados são mostrados em duas categorias, análise quantitativa e qualitativa. Na primeira análise observamos os valores analíticos, e na segunda imagem das animações das simulações.

A partir da compreensão das duas análises verificaremos o comportamento do tráfego na área de estudo.

#### Resultados da Análise Quantitativa

#### **Velocidade Média**

Tabela 5.13 - Velocidade Média dos Cenários em Km/h

Cenário	Velocidade Média (Km/h)	Cenário	Velocidade Média (Km/h)
1	17,2	14	9,5
2	15,8	15	9,5
3	14,6	16	8,9
4	13,0	17	8,4
5	13,8	18	8,4
6	12,1	19	8,2
7	11,7	20	8,4
8	11,9	21	7,7
9	10,6	22	8,2
10	10,5	23	9,0
11	10,6	24	8,7
12	9,7	25	6,9
13	9,5	26	8,4

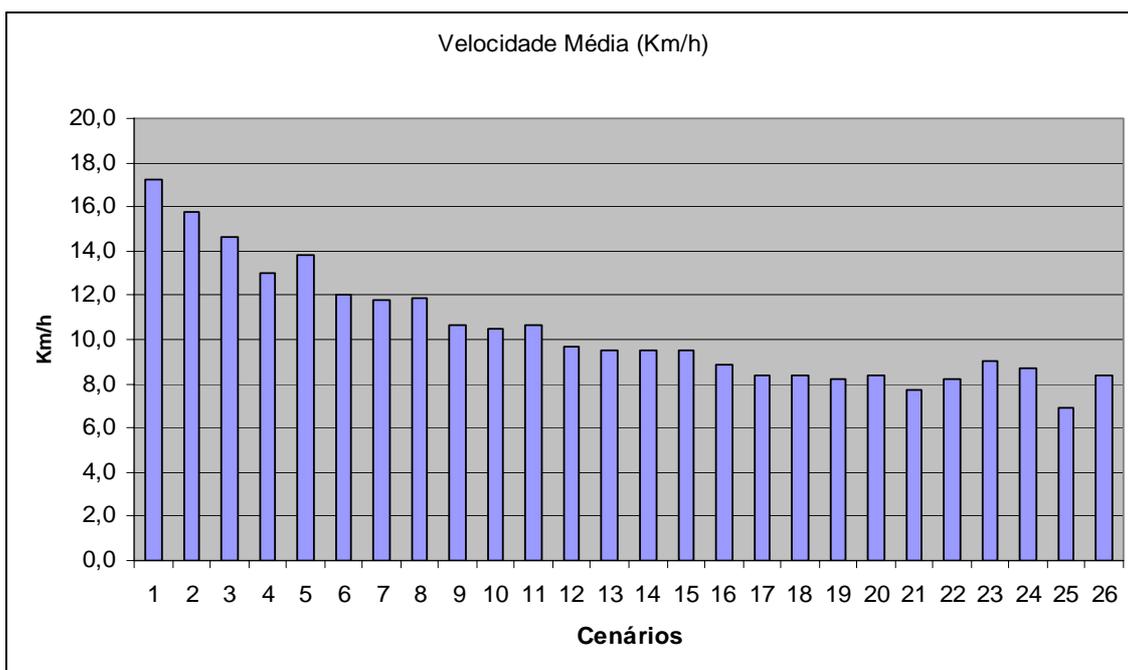


Gráfico 5.1 - Gráfico de Velocidade Média dos Cenários em Km/h

Os resultados práticos convergiram com a teoria, com o aumento dos fluxos a velocidade média se reduz. Nos primeiros 6 anos de simulação futura, a velocidade média se reduz em média 2,2 vezes mais rápido do que a velocidade de crescimento do fluxo, período que as variações são mais sensíveis. Nos 10 anos seguintes a redução da velocidade média é menor, em média 1,2 vezes mais rápido do que a velocidade de crescimento do fluxo, neste momento, ou seja, 16 anos de simulação o fluxo aumenta 50 % e a velocidade média cai à metade, se mantendo neste nível até o dobro do volume.

Observando o gráfico 5.1, percebemos que a velocidade média se reduz ao longo dos cenários (com o acréscimo de volume de veículos na área de estudo). Este fenômeno ocorre até a estabilização do valor da velocidade média em torno de 8,0 Km/h, o que representa a existência de vias congestionadas (capacidade horária já atingida).

Pois mesmo com o aumento do número de veículos a velocidade média não se altera, caracterizando a supersaturação das vias a partir do Cenário 20 com 75,35 % de acréscimo de fluxo.

## Tempo Médio de Viagem

Tabela 5.14 - Tempo Médio de Viagem dos Cenários em s/veículo

Cenário	Tempo Médio de Viagem (s/veic)*	Cenário	Tempo Médio de Viagem (s/veic)*
1	3,9	14	6,9
2	4,2	15	6,7
3	4,6	16	7,2
4	5,1	17	7,7
5	5,0	18	7,9
6	5,4	19	8,0
7	5,5	20	8,1
8	5,5	21	8,0
9	6,0	22	7,8
10	6,1	23	8,2
11	6,1	24	7,9
12	6,7	25	9,4
13	6,8	26	8,1

\* Tempo de viagem médio no link para cada veículo

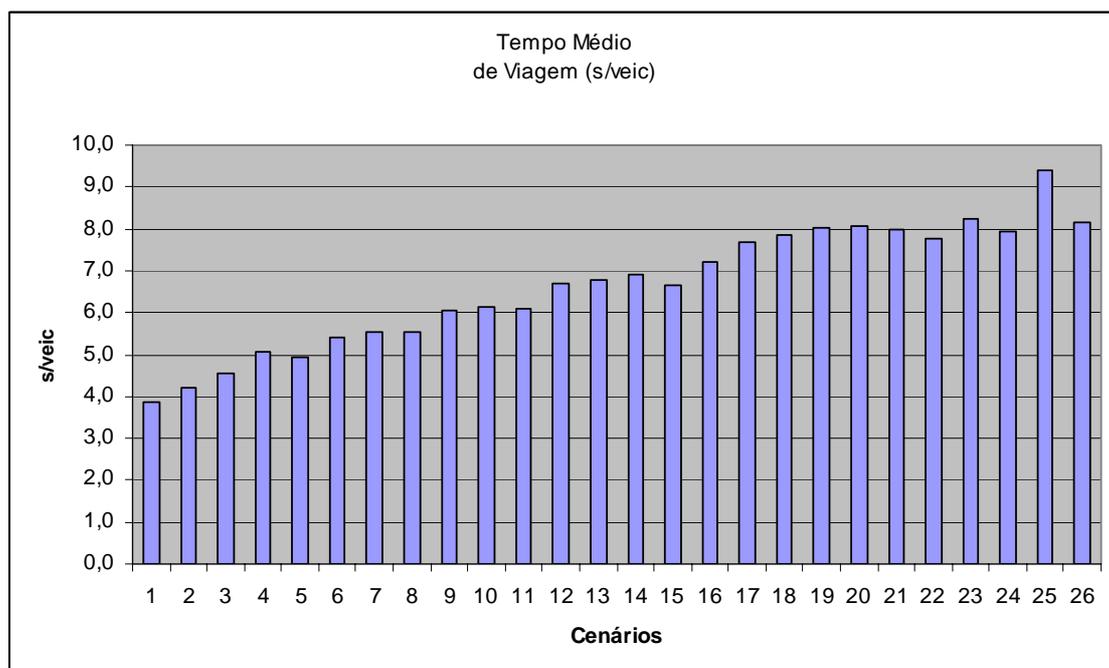


Gráfico 5.2 – Gráfico de Tempo Médio de Viagem dos Cenários em s/veículo

Como observado na velocidade média. O tempo médio de viagem também cresce mais rápido que o fluxo, no caso dos 3 primeiros anos cresce no ritmo em média de 3,1 vezes mais. Nos próximos 5 anos de simulação o ritmo de crescimento se reduz para em média 2,2 vezes, e a partir deste ponto a velocidade de elevação vai caindo ao longo dos 17 anos até apresentar o mesmo crescimento do fluxo. O tempo médio de viagem dobra em 25 anos, inversamente proporcional ao incremento de fluxo de veículos.

### Tempo Médio de Atraso

Tabela 5.15 - Tempo Médio de Atraso dos Cenários em s/veículo

Cenário	Tempo Médio de Atraso (s/veic)*	Cenário	Tempo Médio de Atraso (s/veic)*
1	2,5	14	5,7
2	2,9	15	5,5
3	3,3	16	6,1
4	3,8	17	6,6
5	3,7	18	6,7
6	4,1	19	6,9
7	4,3	20	7,0
8	4,3	21	6,9
9	4,8	22	6,7
10	4,9	23	7,2
11	4,9	24	6,9
12	5,5	25	8,4
13	5,6	26	7,1

\* Atraso médio no link para cada veículo

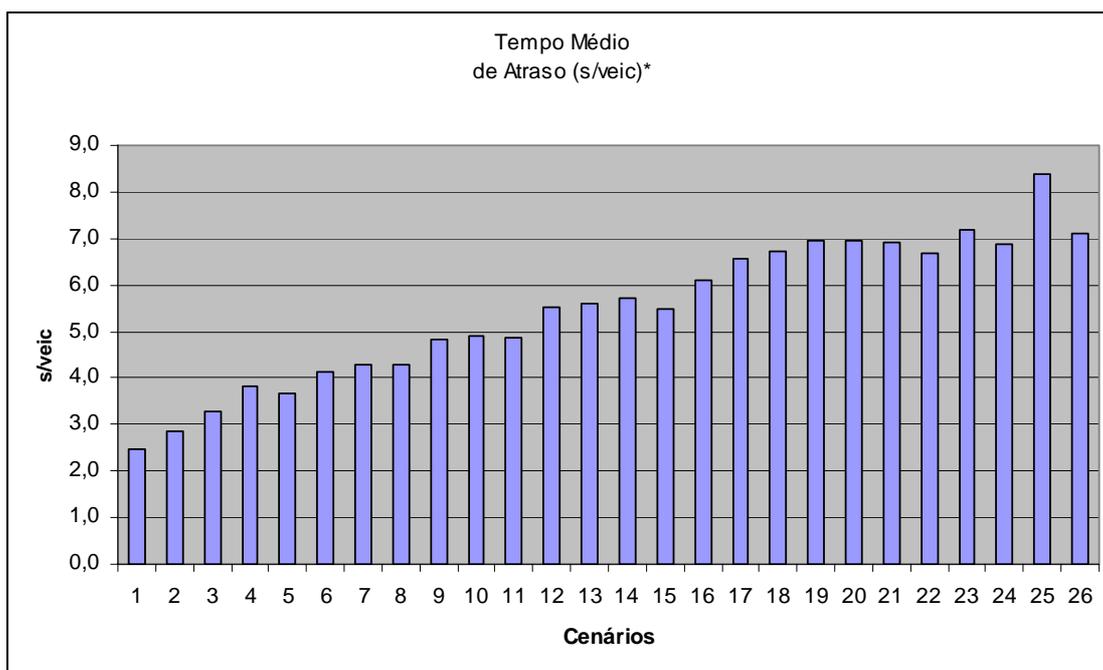


Gráfico 5.3 – Gráfico de Tempo Médio de Atraso dos Cenários em s/veículo

O Tempo médio de atraso possui um ritmo mais forte do que o tempo de viagem médio em todo o período estudado. Já nos 6 primeiros anos de simulação, o crescimento do tempo de médio de atraso é em média 4,7 vezes mais rápido do que o crescimento do volume de veículos. Reduzindo em média para 3,1 nos 7 anos subsequentes e com uma média de 2,3 vezes mais rápido que o crescimento do fluxo no restante do período estudado. Em 25 anos tempo médio de atraso terminando quase triplicando o seu valor.

O atraso veicular é uma das variáveis que determinam o grau de comprometimento da fluidez na rede viária. É possível determinar o nível de congestionamento analisando os valores da variável atraso. Segundo VICENT *et al.* (1980), o atraso do tráfego em um link em função do grau de saturação tem comportamento conforme o gráfico 5.4.

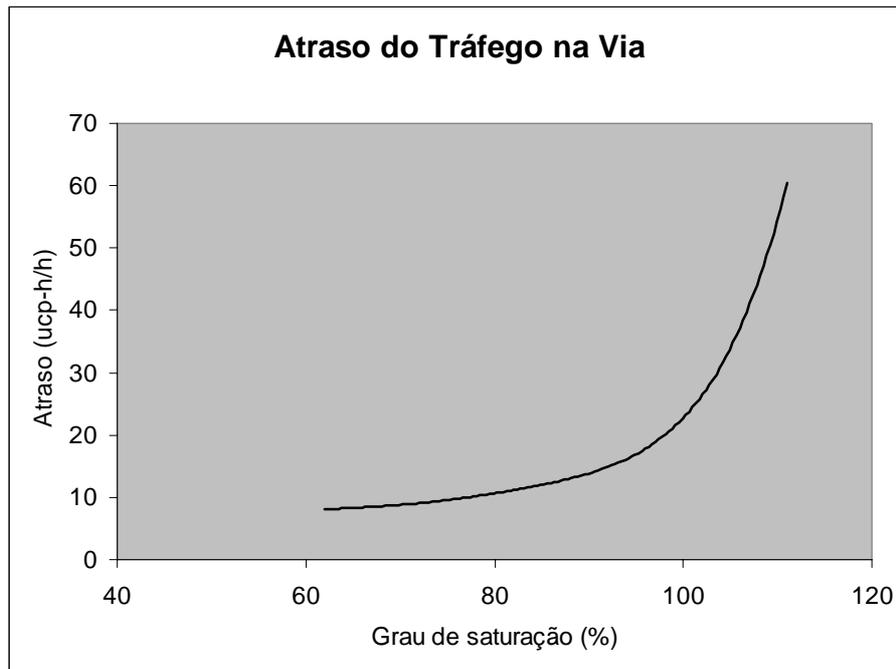


Gráfico 5.4 – Gráfico do Atraso do Tráfego e Grau de Saturação

Observando o gráfico 5.4, verificamos que o atraso se mantém constante com grau de saturação menor que 60 % e cresce de forma acentuada com grau de saturação maior que 80 %. Para condições de congestionamento (grau de saturação próximo de 100 %) o atraso aumentou cerca de 2,8 vezes a partir do atraso uniforme correspondente ao grau de saturação menor que 60 %.

Para estabelecer o grau de comprometimento da circulação viária através da análise do atraso pelo gráfico 5.3, utilizamos a mesma variação de 2,8 vezes a partir do atraso inicial verificado de 2,5 s/veículo. Portanto o valor de atraso que determina o início do congestionamento é 7,0 s/veículo que corresponde ao Cenário 20 com 75,35 % de acréscimo de fluxo.

Para constatar a relação entre o aumento percentual de fluxo e as variáveis de saídas selecionadas por este estudo, construímos dois gráficos com a razão entre os valores consecutivos, tanto como de aumento percentual de fluxo com para os valores de velocidade média, tempo médio de viagem e tempo médio de atraso. As duas últimas variáveis se comportam de forma semelhante ao longo dos cenários, por isto ficaram juntas no gráfico 5.6. No gráfico 5.5 temos o gráfico com a velocidade média.

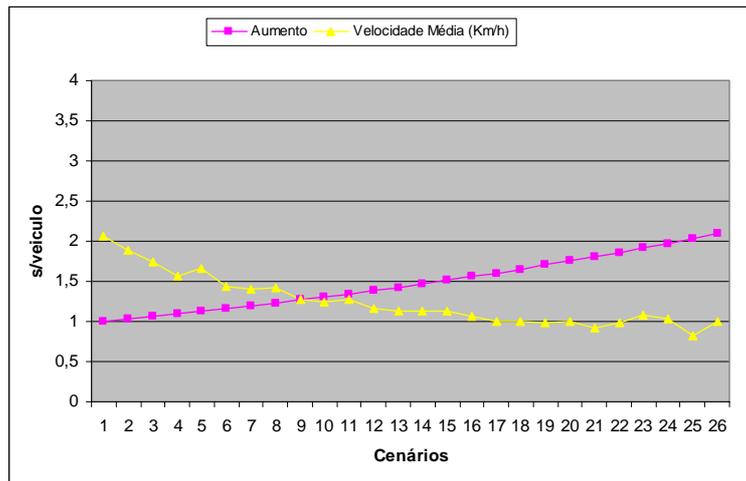


Gráfico 5.5 – Gráfico do Aumento de Percentual de Fluxo e Velocidade Média

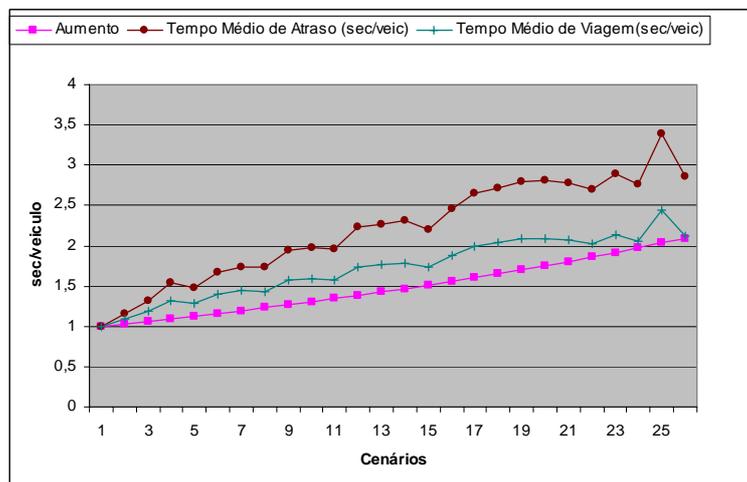


Gráfico 5.6 – Gráfico do Aumento de Percentual de Fluxo, Tempo Médio de Viagem e Tempo Médio de Atraso

Analisando os gráficos 5.5 e 5.6, constatamos que o aumento do número de veículos implica na redução da velocidade média aproximadamente na mesma ordem, para o tempo médio de viagem o aumento também foi próximo com ligeira superioridade, mas no final convergiu. Já para tempo médio de atraso, o comportamento foi diferente desde o início dos cenários, o tempo médio de atraso cresceu em um ritmo mais forte que o tempo médio de viagem e terminando quase três vezes com relação ao tempo inicial. Podemos concluir, baseados nesta informação, que quando o congestionamento aumenta devido ao excesso de veículo, os condutores sofrem mais com as

consequências causadas pela permanência durante a imobilização dos veículos, já que o tempo de viagem aumenta em menor ritmo.

### Resultados da Análise Qualitativa

As partes da figura em preto são as vias e os pontos brancos são os veículos que trafegam na rede, ou seja, as vias ficam mais congestionadas quanto menor é a área de preto.

As filas existentes em algumas interseções são causadas pelas retenções nos semáforos. Esta situação pode ser observada na figura 5.18.

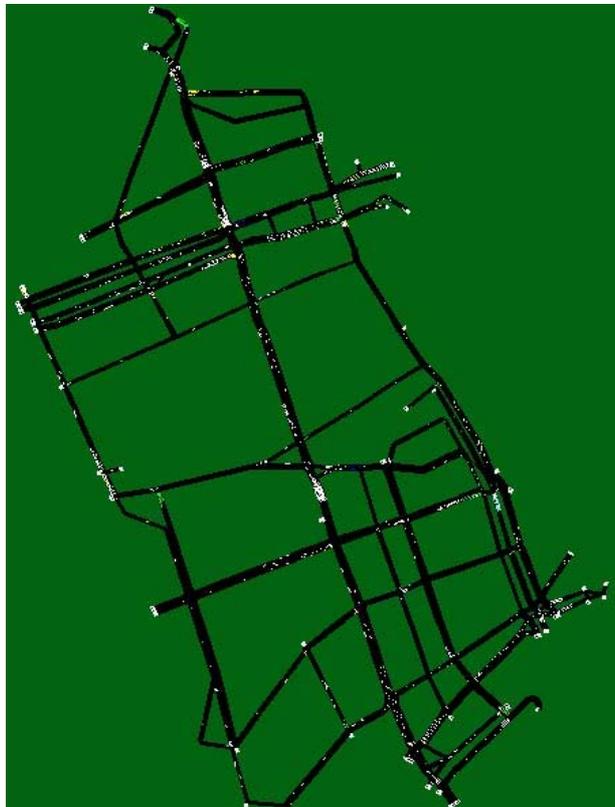


Figura 5.18 – Tela do TRAFVU

Há trechos de vias em que o congestionamento causado se deve à incapacidade de escoamento do trecho a jusante, outros trechos apresentam vias congestionadas devido à presença de veículos na área de cruzamento.

A inadequada programação semafórica de uma interseção impede dissolução da fila de veículos formada ao longo da simulação, fila esta que produz bloqueios em interseções adjacentes impedindo os giros dos veículos que acabam ocupando e saturando novos

trechos, desta forma aumentando a área de influência da retenção, ver figura 5.19. E a figura 5.20 mostra a saturação das vias do Centro do Rio de Janeiro.

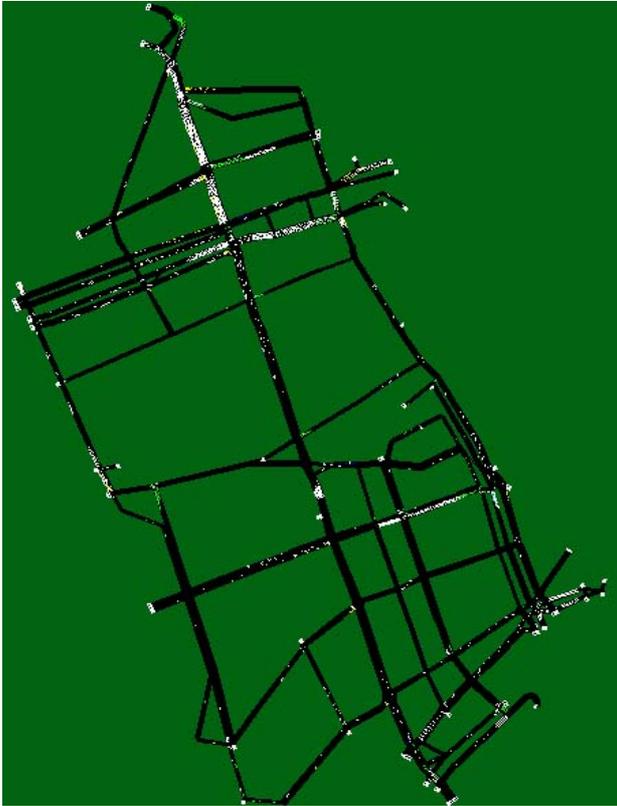


Figura 5.19 - Tela do TRAFVU

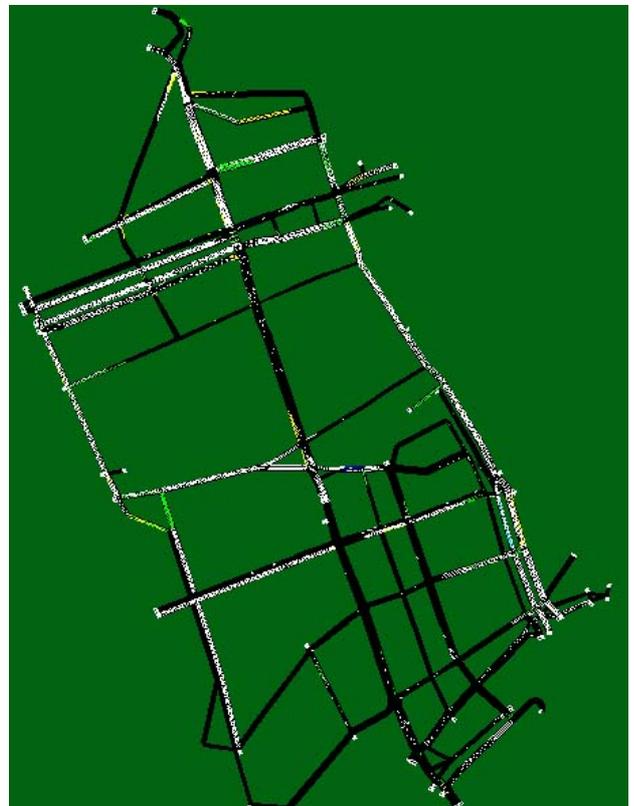


Figura 5.20 - Tela do TRAFVU

Com o objetivo de auxiliar a compreensão dos resultados obtidos, observamos um conjunto de 22 trechos que ficaram totalmente congestionados ao final das simulações de tráfego, correspondente ao cenário 26 com 103,28 % de aumento no fluxo de tráfego. Portanto com o acréscimo dos fluxos de tráfego, conforme proposto pela metodologia descrita no capítulo 4, temos:

1- Quando os fluxos atuais são representados na simulação, o tráfego se comporta de forma semelhante à realidade, apresentando filas nas aproximações de algumas interseções – interseções de maior tráfego - causadas pelas retenções produzidas pelos semáforos.

2- Elevando os fluxos em 3 % (três por cento), temos um aumento gradativo no tamanho das filas nas aproximações das interseções e cinco trechos que apresentam sinais de início de condições de congestionamentos.

3- Com a elevação acumulada de 6,09%, temos um agravamento das condições de circulação viária saltando de cinco para nove trechos apresentando condições de congestionamentos, uma variação de 22,7 % para 40,9% do número de trechos congestionado de um total de 22 trechos que ficam completamente congestionados.

4- Com a elevação acumulada de 9,27%, temos 50,0% do número de trechos congestionados, para o aumento de 12,55% temos 59,1%, e para o acréscimo de 15,93% temos 63,6% o número de trechos congestionados.

5- Já com 30,48 % de aumento nos fluxos detectamos um agravamento no congestionamento da Rua Primeiro de Março e o bloqueio total da Avenida Chile.

6- A partir do congestionamento já agravado da Rua Primeiro de Março, é verificado o aumento vertiginoso deste fluxo congestionado para um acréscimo de 38,42%.

7- Para os aumentos nos fluxos de 60,47% e 65,28 %, encontramos respectivamente as Rua Santa Luzia e Rua Araújo Porto Alegre congestionadas.

## **CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Neste capítulo apresentamos as conclusões deste trabalho, bem como as considerações e recomendações derivadas das pesquisas e levantamentos realizados.

A partir da análise dos resultados obtidos no processo de simulação de tráfego, chegamos as seguintes conclusões sobre o trânsito na área central do Rio de Janeiro.

### **6.1 – Conclusões**

Conforme a metodologia aplicada nesse estudo, os fluxos nos nós de entrada da rede de simulação foram acrescidos de 3% a partir do cenário anterior, partindo do Cenário 1 que representa a situação atual com fluxos do ano de 2004. Cada cenário corresponde a um ano, ou seja, Cenário 1 corresponde ao ano de 2004, Cenário 2 o ano de 2005, e assim sucessivamente. O aumento foi realizado de forma uniforme em todos os nós de entrada de cada cenário, até que o sistema chegasse às condições de saturação.

O fluxo de veículos na rede simulada não satura de forma generalizada, ou seja, não há queda do nível de serviço e ou alcance da capacidade horária em todos os links ao mesmo instante. Observamos que em função do aumento sucessivo de fluxo, o congestionamento inicialmente atinge a região Norte da área de estudo, posteriormente as extremidades Leste e Oeste devido a redução de fluidez ao Norte, e por último a região Sul da área delimitada para esta pesquisa.

As vias que saturam dentro da área de estudo são parte norte da Av. Rio Branco, Av. Pres. Vargas, Av. Primeiro de Março, Av. Antônio Carlos, R. São Bento, R. Visconde de Inhaúma, Av. Marechal Floriano, Av. Passos, Av. República do Paraguai, R. da Carioca, Av. Chile, Av. Almirante Barroso e R. Araújo Porto Alegre.

Os veículos continuam circulando na região interna da rede, até mesmo quando as entradas da rede têm sua capacidade superada, e estas não conseguem mais alimentar a rede como novos veículos.

A incapacidade de aumento de fluxos nas entradas da rede é resultante da limitação de tráfego provocada pela interseção semaforizada imediatamente à jusante em alguns casos, em outros, por interseção semaforizada à jusante mais a diante.

O simulador não consegue representar o que ocorre na realidade, onde os condutores procuram caminhos alternativos, caminhos estes que normalmente possuem maior impedância e velocidades médias menores que os trajetos tradicionais, porém apresentam fluxos contínuos.

Este comportamento, que não é observado no software pode ser esclarecido pela impossibilidade no método de simulação empregado, de programação do comportamento de escolha por vias de maior impedância, sendo contraditório a maximização da eficiência individual dos deslocamentos realizados pelos veículos.

A impossibilidade de representar na rede de simulação as ações dos agentes de trânsito em situações pontuais de retenção do tráfego acarreta o visível agravamento do congestionamento apresentado na visualização do programa de simulação.

Se considerarmos a Avenida Rio Branco com a principal via da rede de simulação a ser avaliada em função dos diversos cenários gerada, podemos observar que os bloqueios causados pelo excesso de veículos nas vias que dão acesso à Avenida impedem que o fluxo alcance-a. Reduzindo o impacto do congestionamento no fluxo corrente da Avenida Rio Branco, ou seja, essa Avenida apresenta na média valores aceitáveis de fluxo de veículos e em alguns locais velocidades de fluxo livre para os veículos, em desacordo com o observado diariamente pelos usuários no Centro do Rio de Janeiro.

Observamos que a região crítica da Avenida Rio Branco está no trecho entre a Praça Mauá e a Avenida Presidente Vargas.

A situação inicial já apresenta a interseção entre as Avenidas Rio Branco e Presidente Vargas com grave problema de escoamento de fila formada pelo semáforo.

Na verdade, o software (simulador) não permite que veículos “tranquem” as interseções, considerando que cada interseção é representada por um único nó. Porém como a rede possui interseções complexas que só podem ser representadas por mais de um nó, cria-

se links entres esses nós adaptativos que não existiriam, e é nesses links que os veículos ficam “presos” e transmitem, na simulação, o efeito de veículos impedindo a circulação.

Com relação a velocidade média podemos concluir que há uma redução de valores em função da evolução do fluxo de tráfego. Esta redução ocorre de forma mais acentuada nos primeiros anos, após uma desaceleração do ritmo de queda a velocidade média se estabiliza na metade do valor original até o final o último dos cenários.

O tempo médio de viagem aumenta acentuadamente nos primeiros anos de viagem, também se estabilizando no período posterior até atingir o dobro do tempo inicial em 25 anos.

O tempo médio de atraso tem um crescimento mais acentuado que o tempo médio de viagem em todos os cenários. Resultando em uma triplicação do tempo de atraso no final das simulações.

Analisando as três variáveis, verificamos que no período inicial dos cenários todos as variáveis são bastante sensíveis ao incremento do fluxo de tráfego. Produzindo grandes impactos de tráfego em um curto espaço de tempo, afetando de forma prejudicial a cidade e especialmente o sistema de transporte.

Em função do aumento do volume de veículos, os condutores sofrem mais com as conseqüências causadas pela permanência durante a imobilização dos veículos do que o tempo de viagem, visto que o tempo de viagem cresce mais devagar que o tempo de atraso indicando que reduz o tempo de movimentação e eleva o tempo parado.

Os trechos da situação atual de circulação da rede viária do centro do Rio de Janeiro estão críticos, se encontrando muito próxima do limite aceitável para um deslocamento de qualidade. O forte aumento da taxa de motorização e o crescimento não tão rápido da oferta viária constroem este cenário crítico. De tal forma que com o aumento nos fluxos na casa de 6% provoca uma deterioração das condições de trafego na área de estudo na ordem de 40%, ou seja mais de seis vezes o aumento de fluxo introduzido na rede simulada.

Segundo as simulações realizadas neste trabalho, o centro do Rio de Janeiro pára com aumento de 75,35 % aproximadamente dobrando o número de veículos que adentram a área central do Rio de Janeiro.

A manipulação da modelagem é o que mais demandou na pesquisa em função das necessidades de criar uma rede próxima à da realidade e do tamanho e complexidade da rede viária estudada. Diversos ajustes foram necessários para a correção das simulações e artifícios de modelagem.

## **6.2 – Recomendações**

A representação do sistema de circulação viária do Centro do Rio de Janeiro em um micro-simulador é complexa, além de demandar um grande esforço para realizá-la. A avaliação do comportamento do tráfego baseada na modelagem do micro-simulador necessita de um grande número de informações e variáveis a fim de que se aproxime ao máximo da realidade.

Embora se tenha chegado a conclusões efetivas sobre o comportamento do tráfego no centro do Rio de Janeiro, as pesquisas e estudos sobre o congestionamento deverão ter continuidade para a melhor compreensão do fenômeno.

Algumas ações deverão ser realizadas com o objetivo de investigar melhor o congestionamento no centro do Rio de Janeiro e avaliar o tráfego de forma mais adequada. São elas:

- Atualização de todos os dados de entrada, principalmente os de fluxos de tráfego e de programação semafórica.
- Aplicação do modelo de simulação com ajustes, quando necessários, nos tempos semafóricos em função da demanda.
- Inclusão de fluxo de pedestres no modelo de simulação, o tráfego de pedestres influencia os deslocamentos dos veículos causando atrasos no fluxo de tráfego.

- Desenvolvimento de processos de calibração e validação do modelo.
- Considerar nas análises futuras, as demais variáveis de saída do simulador explorando a potencialidade de análise de tráfego do TRAF-NETSIM.
- Aplicação desta metodologia para as demais regiões da cidade, aperfeiçoando-a em função das características do local de estudo.

Para que esta pesquisa e todos os demais estudos que abordam a circulação de pessoas e bens em um grande centro urbano tenham efeito de melhoria da qualidade de vida para a população, recomenda-se a criação de um Consórcio Metropolitano (incluindo os órgãos gestores municipal, estadual, e federal) com apoio da poder privado, junto com a sociedade para estudar e pesquisar o assunto transporte, e buscar soluções para os problemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXIADIS, V., COLYAR, J., HALKIAS, J. (2004). **The Next Generation Simulation Program**. Institute of Transportation Engineers – ITE Journal. Volume 74, número 8, 22-26 p.

ARAÚJO, J. J. de, SETTI, J. R. A. (2007). **Análise do Efeito do Tráfego de Veículos Pesados sobre uma Ponte através de simulação Microscópica**. Revista Transporte em Transformação XII da Confederação Nacional do Transporte. Anais do XX Congresso da ANPET, Brasília.

ARAÚJO, J. J. de (2007). **Estudo do Impacto de Veículos Pesados sobre a Infraestrutura Rodoviária através de simulação Microscópica**. Tese de D.Sc, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, L. A. (2003). **Um procedimento para análise do desempenho de redes viárias urbanas enfocando a qualidade de vida da comunidade e a qualidade de serviço do tráfego veicular**. Tese de D.Sc, Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AYCIN, M. F.; BENEKOHAL, R.F. (1999). **Comparison of Car-Following Models for Simulation**. Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

BALASSIANO, R. (1996). **Prioridade para Ônibus em Centros Urbanos: Um Instrumento de Planejamento ainda Viável**. Trabalhos vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica. 222p. Ed. Makron Books.

BECK, R.V. (1999). **Metodologia para calibração do modelo de dispersão dos pelotões inserido no software TRANSYT**. Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

BELL, M.C., BRETHERTON, D. (1986). **The Ageing of Fixed-time Traffic Signal Plans**. In: Proceedings of the First International Conference on Traffic Control, Institution of Electrical Engineers Publication, Londres.

BERTINI, R. L. (2005) **You Are the Traffic Jam: An examination of Congestion Measures**. In: 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

BROCKFELD, E., KÜHNE, R.D., WAGNER, P. (2004). **Calibration and validation of microscopic traffic flow models**. In: 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

CALIPER TransCAD (1992). **User's Guide**. Transportation Workstation Software, Version 4.5 for Windows, Caliper Corporation, Newton, EUA.

CARAPITO, P. P. C (2002). **Estudo comparativo das medidas de curto e médio prazo para redução do fluxo de tráfego em áreas urbanas**. Dissertação de M.Sc. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

COHEN, S. L. (1977) **Macroscopic Simulation Models for Use in Traffic System Management**. Transportation Research Record, Washington D.C.

COIFMAN, B. (2003). **Identifying the Onset of Congestion Rapidly with Existing Traffic Detectors**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 37, número 3, 277-291 p.

DENATRAN (1984). **Manual de Semáforos**. 2ª edição. Departamento Nacional de Trânsito. Brasília, Brasil.

DENATRAN (2009). **Frota de Veículos**. Departamento Nacional de Trânsito. Brasília, Brasil. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 09 ago. 2009.

DETRAN (2009). **Frota de Veículos**. Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <<http://www.detran.gov.br>>. Acesso em: 09 ago. 2009.

DFT (2004). **Attitudes to Roads, Congestion and Congestion Charging**.

Departamento de Transportes do Reino Unido (DEPARTMENT FOR TRANSPORT-UK). Disponível em: <<http://www.dft.gov.uk>> Acesso em 29 jun. 2008.

DOURADO, D. A. F., CAMPOS, V. B. G. (2006). **Sistemas de Informação em Tempo Real no Gerenciamento da Demanda de Tráfego Urbano**. In: IV Rio de Transportes, Rio de Janeiro.

DOWNS, A. (2004). **Still Stuck in Traffic: Coping with Peak-hour Congestion**. Brookings Institution Press: Washington, D.C.

DUARTE, T. L. (2003). **Via Livre: Prioridade para o Transporte Coletivo: a experiência da cidade de São Paulo**. Anais do 14º Congresso da ANTP. Vitória.

ETTEMA, D., SCHWANEN, T., TIMMERMANS, H. (2006). **The effect of location, mobility and socio-demographic factors on task and time allocation of households**. Transportation Journal. The Netherlands.

FACCHINI, D. (2006). **Análise dos Gaps de Percepção dos Atores Envolvidos no Transporte Urbano de Carga em Porto Alegre**. Dissertação de M.Sc. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

GAZIS, D. C. (2002) **The Origins of Traffic Theory** . Operations Research. Volume 50, número 1 January-February, 69-77 p. New York.

GERLOUGHT, D. L., CAPELLE, D. G. (1964). **An introduction to Traffic Flow Theory**. Special Report 79, Highway Research Board, Washington, D.C.

GIBBONS, E., O'MAHONY, M. (2002). **External cost internalization of urban transport: a case study of Dublin.** Journal of Environmental Management. Volume 64, número 4, 401-410 p.

GIBSON, J., BARTEL, G., COEYMANS, J. E.(1997) **Redefinición de los parametros de capacidad de una inteseccion semaforizada bajo condiciones de trafico mixto.** Anais do VIII Congresso Chileno de Ingeniería de Transportes. Santiago.

GREENBERG, H. (1959). **An Analysis of Traffic Flow.** Operations Research. Volume 7, número 1, 79-85 p.

GREENSHIELDS, B. D. (1935). **A Study of Traffic Capacity.** In Highway Research Board Proceedings. Volume 14, número 1, 448-477 p.

HIGHWAY CAPACITY MANUAL (1985, 1992, 1994, 1997, 2000). **User's Guide.** Transportation Research Board – TRB, Washington, D.C. EUA.

IBGE (2000). **Censo Demográfico do ano de 2000.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil.

IPEA / ANTP (1998). **Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público.** Relatório Síntese. Brasília.

IPP (2008). **Estatísticas Municipais da População.** Armazém de Dados do Instituto Pereira Passos. Prefeitura do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/ipp>> Acesso em 15 abr. 2008.

LAZZARINI, C. M. C., SILVA, T. C. C., SILVA, T., FARIA, C.A. (2008). **Simulação do Tráfego no Campus Santa Mônica com o Uso do Software TSIS - Traffic Simulator Integrated System.** Artigo da 5ª Semana Acadêmica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2008.

LAW, A. M., KELTON, W. D. (2000). **Simulation in Management Science**. 4ª edição. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido.

LEANDRO, C. H. P. (2001). **Procedimento Multicriterial para Estruturação e Caracterização de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano**. Dissertação de M.Sc. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

LEVINSON, S. H., LOMAX, T. J. (1996). **Developing a Travel Time Congestion Index**. Transportation Research Board. In: 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

LEITE, J.G.M. (1980). **Engenharia de Tráfego**. Companhia de Engenharia de Tráfego/SP. São Paulo.

LIGHTHILL, M. J., WHITHAM, G. B. (1955). **On Kinematic Waves II: A theory of traffic flow on Long Crowded**. Proceedings of the Royal Society A. Volume 229, número 1178, 317-345 p. Londres.

LINDAU, L.A., ANTUNES, A., SANTOS B., SECO, A. (2004). **Transplan: um programa computacional para a avaliação do impacto de intervenções urbanísticas para o desempenho de um sistema de transportes**. Anais do XVIII Congresso da ANPET, Florianópolis.

LITMAN, T. (1999). **Issues in Sustainable Transportation**. Victoria Transport Policy Institute. Victoria, Canada.

LOMAX, T. J.; S. TURNER e G. SHUNK (1997). **Quantifying Congestion User's Guide**. Report 398 – Volume 2. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C.

PEREIRA, A. L., MORA-CAMINO, F. (1982). **Modélisation des Flux de tráfico Urbain: Définition d'une Approche Opérationelle**. Applied Modelling and Simulation conference, AMSE, Paris.

LOUREIRO, C. F. G., LEANDRO, C. H. P., OLIVEIRA, M. V. T. de (2002). **Sistema Centralizado de Controle do tráfico de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano**. Anais do XVI Congresso da ANPET, Natal.

LOURENÇO, M. H. D. T. (1981). **Simulação de Operações Preferenciais de Ônibus Urbanos em Vias Arteriais: Uma Metodologia para a Avaliação da Implantação de Faixas Exclusivas Segundo o Critério do Tempo do Usuário**. Dissertação de M. Sc. Programa de Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MADEIRA, E. M. F. (2000). **Movimentação Urbana de Cargas**. Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível em: <<http://www.antp.org.br>>. Acesso em: 14 nov. 2008.

MAERIVOET, S., DE MOOR, B. (2005). **Traffic Flow Theory**. Department of Electrical Engineering Katholieke, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

MAIOLINO, C. E. G., PORTUGAL, L. S. (2001). **Simuladores de Tráfico para Análise de Desempenho de Corredores de Ônibus e de sua Área de Influência**. Anais do XV Congresso da ANPET, Campinas.

MARTIN, B. V., WOHLM (1967). **Traffic System Analysis for Engineers and Planners**, MacGraw Hill Education Book.

MAY, A. D. (1986). **Traffic restraint: a review of the alternatives**. Transportation Research A: Policy and Practice. Volume 20, número 2, 109-121 p.

MELLO, J. C. (1975). **Planejamento dos Transportes**. 1.<sup>a</sup> edição. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.

MENESES, H. B., LEANDRO, C. H. P., LOUREIRO, C. F. G. (2009). **Indicadores de Desempenho para Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real**. Relatório de Pesquisa Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania de Fortaleza – AMC e Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MOKHTARIAN , P. L., CHEN, C. (2004). **TTB or not TTB, that is the question: a review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets**. Transportation Research Part A: Policy and Practice. Volume 38, 643–675 p.

MONTRROLL, E. W. e POTTS, R. B. (1964). **Car Following and Acceleration Noise**. Highway Research Board, Special Report 79. 37-48 p. Washington, D.C.

MOREIRA, R. B. (2005). **Uma contribuição para avaliação do modelo “CORSIM” em simulações de tráfego urbano no Rio de Janeiro**. Dissertação de M. Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NTU (2002). **Prioridade para o transporte coletivo urbano**. Boletim Técnico número 4. Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos. Brasília.

OLIVEIRA, M. G. S. (1997). **Produção e Análise de Planos Semafóricos de Tempo Fixo Usando Sistemas de Informação Geográficas**. Tese de M.Sc, Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA NETO, F. M. de, LOUREIRO, C.F.G. (2004). **Priorização Passiva do Transporte Coletivo por ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego**. Anais do XVIII Congresso da ANPET, Florianópolis.

OZELIM, L. C. de S. M., JACQUES, M. A. P. (2008). **Estudo da Operação do Tráfego em Via Arterial Urbana Controlada por Semáforos com O Uso de Simulador**. Revista de Pesquisa Aplicada à Engenharia, Vol. 1, No. 1.

PDTU (2005). **Relatório do Plano Diretor de Transportes Urbanos do Rio de Janeiro**. Secretaria Estadual de Transportes e Companhia Estadual de Transportes e Logísticas, Rio de Janeiro.

PEREIRA, A. L. (2002). **Apostila - Notas de Aula**. Disciplina Teoria de Fluxo de Tráfego. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PEREIRA, L.F. (2005). **Um Procedimento de Apoio a Decisão para Escolha de Sistemas de Controle de Tráfego Considerando a Coleta Automatizada de Dados**. Dissertação de M.Sc. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

PERIN FILHO (1995). **Introdução à Simulação de Sistemas**. Editora da Unicamp - SP. Campinas.

PIGOU, A. C. (1920). **The Economic of Welfare**. 4ª ed. MacMillan, Londres.

PIRES, A.B. (1997). **Transporte Humano: Cidades com Qualidade de Vida**. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, São Paulo.

PLOEG, F. V. D., POELHEKKE, S. (2008). **Globalization and the Rise of Mega-Cities in the Developing World**. CESIFO WORKING PAPER N° 2208 Category Trade Policy February 2008. Munich Germany.

POPPER, K. R. (1959). **The Logic of Scientific Discovery**. Hutchinson, Londres, Reino Unido.

PORTUGAL, L. da S. (2005). **Simulação de Tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro.

POYARES, C. N. (2000). **Critérios para análise dos efeitos de políticas de restrição ao uso de automóveis em áreas centrais**. Dissertação de M.Sc. Programa de

Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PROJETO CTA-RIO (2005). **Projeto de Implementação do CTA-Rio - Controle de Tráfego por Área da Cidade do Rio de Janeiro**. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAUX, C. (2005). **Comments on ‘The London congestion charge: a tentative economic appraisal’**. Transport Policy. Volume 12, número 4, 368–371 p.

RELATÓRIO DE FLUXOS DE TRÁFEGO CLASSIFICADOS (2004). **Estudo da Área Central da Cidade do Rio de Janeiro - Avenida Rio Branco**. Laboratório do Programa de Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RESENDE, P. T. V. de e SOUSA, P. R. de (2009). **Mobilidade Urbana nas Grandes Cidades Brasileiras: Um Estudo sobre os Impactos do Congestionamento**. Anais do XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. Escola de Administração de Empresas do São Paulo da Fundação Getúlio Vargas FGV-EAESP. São Paulo.

RIBEIRO, P. C. M. (2006). **Notas de Aula de Contagem de Tráfego**. 2º período / 2006. Disciplina do Curso Mestrado do Programa de Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, S. K., BALASSIANO, R. (1997). **CO<sub>2</sub> Emissions From Passenger Transport in Rio de Janeiro**. Transport Policy. Volume 4, número 2, 135-139 p.

RICHARDS, P. I. (1956). **Shock Waves on the Highway**. Operations Research. Volume 4, número 1, 42-51 p.

RIOBUS (2001). **Reorganização do Sistema de Transportes Coletivos por Ônibus na Cidade do Rio de Janeiro**. Programa de Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ROSS, P. V., GIBSON, D. (1977). **Review of Road Traffic Network Simulation Models**. Transportation Research Record. Número 644, 36-41 p. Washington D.C.

ROSS, S. L., YINGER, J. (2000). **Timing Equilibria in an Urban Model with Congestion**. Journal of Urban Economics. Volume 47, número 3, 390-413p. Department of Economics, University of Connecticut, Connecticut.

SAITO, M, WALKER, J., ZUNDEL, A. (2001). **Using Image Analysis to Estimate Average Stopped Delays per Vehicle at Signalized Intersections**. In: 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

SALIBY, E. (1989). **Repensando a Simulação: Uma Amostragem Descritiva**. Ed. Atlas. Coleção Coppead de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SARGENT, R. G. (1982). **Verification and Validation of simulation Models**. In: Progress in Modelling and Simulation. Ed. F.E. Cellier, Academic Press, Londres.

SCHRANK, D., LOMAX, T. (2005). **The 2005 Urban Mobility Report**. Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System. Research. Texas.

SCHULTZ, G. G. (2003). **Developing a methodology to account for commercial motor vehicles using microscopic traffic simulation models**. Dissertação de Ph.D. Texas A&M University System, College Station, Texas.

SCHWEITZER, L. e Taylor, B. In press. **Just Pricing: Equity and the Future of Road Finance**. Transportation. Volume 85, número 6, 797-812 p.

SILVA, K. V. C. da. (2002). **Estimativa da capacidade viária em Interseções semaforizadas**. Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, P. C. M. (1992). **Contribuição Metodológica à Simulação do Tráfego Urbano: Uma adaptação do Modelo TRANSYT/8**. Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, P. C. M., Tyler, N. (2001), **Sobre a Validação de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego**. Revista Transportes. Anais do XV Congresso da ANPET, Campinas.

SILVA, S. D., ZARATTINI, C. (2003). **Terminais e Corredores Inteligentes: uma concepção para a Operação de Ônibus**. Anais do 14º Congresso da ANTP. Vitória.

SMILGIS, M.(1987). **Trapped behind the wheel: clever commuters learn to live in the slow lane**. National Textbook company Illinois USA Time We The People Monday.

SOUSA, D. L. M. (2003). **Análise dos Impactos Causados no Tráfego por Alterações na Rede Viária Utilizando Micro-simulação**. Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, D. L. M., RIBEIRO, P. C. M. (2004). **Análise dos Impactos Causados no Tráfego por Alterações na Rede Viária Utilizando a Micro-simulação**. Anais do XVIII Congresso da ANPET, Florianópolis.

STOPHER, P. R. (2004). **Reducing road congestion: a reality check**. Transport Policy. Volume 11, número 2, 117-131 p.

TEIXEIRA, E. H. de S. de B. (2006). **Um Procedimento para Geração de Alternativas Operacionais de Gerenciamento do Tráfego Através da Micro-**

**Simulação.** Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

THURGOOD, G. S. (1995). **Development of a Freeway Congestion Index Using an Instrumented Vehicle.** In: 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

TOLFO, J. D., PORTUGAL, L. S. (2006). **Uso de Micro-Simulador na Análise de Desempenho Viário em Redes com Pólos Geradores de Viagens.** Anais do XX Congresso da ANPET, Brasília.

TRB (1965). **Traffic Flow Theory.** Special Report. Transportation Research Boards. Washington. D.C.

TRB (2000). **Highway Capacity Manual.** Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

TSIS (2002). **User's Guide.** FHWA Office of Operations Research and Development. Colorado Springs, Colorado, EUA.

VASCONCELLOS, S. C. (2002). **Uma Proposta de Integração para Sistemas de Transportes na Cidade do Rio de Janeiro.** Dissertação de M.Sc. Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VINCENT, R. A., MITCHELL, A.I. e ROBERTSON, D. I. (1980). **User Guide to TRANSYT version 8.** Transport and Road Research Laboratory. LR 888, Crowthorne.

WARDROP, J. G., CHARLESWORTH, G. (1954). **A Method of Estimating Speed and Flow of Traffic from a Moving Vehicle.** In Proceedings of the Institution of Civil Engineer. Volume 3, número 1, 158-171 p.

ZHANG, Y., COLYAR, J., HALKIAS, J. e ZHANG, Y. (2004). **CORSIM sensitivity analysis and its applications in model validation and calibration at signalized intersections.** In: 83th Annual Meeting Of The Transportation Research Board, Washington, D.C.