

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES**

**MÉTODO PARA ANÁLISE DE PÓLOS GERADORES DE**  
**VIAGENS UTILIZANDO FERRAMENTAS DE**  
**MICROSSIMULAÇÃO**

**DANIEL MARIZ TAVARES**

**ORIENTADORA: MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-008A/2011**  
**BRASÍLIA/DF - JULHO/2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MÉTODO PARA ANÁLISE DE PÓLOS GERADORES DE VIAGENS**  
**UTILIZANDO FERRAMENTAS DE MICROSSIMULAÇÃO**

**DANIEL MARIZ TAVARES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE**  
**BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA**  
**A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof<sup>ª</sup> Maria Alice Prudêncio Jacques, Ph.D (ENC-UnB)**  
**(Orientadora)**

---

**Prof. Paulo Cesar Marques Silva, Ph.D (ENC-UnB)**  
**(Examinador Interno)**

---

**Prof<sup>ª</sup> Lenise Grando Goldner, Dr. (UFSC)**  
**(Examinadora Externa)**

**BRASÍLIA/DF, 21 DE JULHO DE 2011**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**TAVARES, DANIEL MARIZ**

Método Para Análise de Pólos Geradores de Viagem Utilizando Ferramentas de Microsimulação [Distrito Federal] 2011.

xv, 188p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2011).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Pólos Geradores de Viagem

2. Microsimulação

3. Engenharia de Tráfego

4. Indicadores de Desempenho

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

TAVARES, D. M. (2011). Método Para Análise de Pólos Geradores de Viagem Utilizando Ferramentas de Microsimulação. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM-008A/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Daniel Mariz Tavares.

TÍTULO: Método Para Análise de Pólos Geradores de Viagem Utilizando Ferramentas de Microsimulação.

GRAU: Mestre

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Daniel Mariz Tavares

SHIS QI 26 conjunto 11 casa 03 – Lago Sul

CEP: 70.670-110 Brasília – DF – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, pelas bênçãos concedidas e por essa graça alcançada.

À minha família, em especial aos meus pais Edson e Maria Tereza, por estarem sempre me apoiando e incentivando na busca do conhecimento e de uma melhor formação.

À minha amada Priscila, pelo carinho, dedicação, apoio, paciência e compreensão em todos os momentos deste trabalho.

À professora Maria Alice por ter acreditado em meu trabalho me dando a honra de sua orientação, além de todo apoio, atenção, paciência e dedicação.

Aos professores Paulo Cesar e Lenise pela honra de avaliar esse trabalho.

Aos professores Pastor e Ricardo pelas contribuições dadas nas etapas de defesa de projeto de dissertação.

Aos colegas de universidade Alexandre, Ana Sheila, Érica, Michele, Ângela, Andréia, Luana e Pedro, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos do DENATRAN, em especial ao Dr. Orlando Silva, ao Milton Frantz, André e Juliana, por todo o apoio e auxílio dado, sem o qual não teria conseguido concluir esse trabalho.

Aos amigos Guilherme, Cláudio, Larissa, Cecília, Fernando, Marco Motta, Góes, Fabiana, Luana, Ana Carolina, Giseli e Ronald, pela ajuda, pelo apoio e pelos ensinamentos em diversos momentos dessa trajetória.

E a todos os amigos e familiares pela paciência e compreensão nos momentos em que estive ausente.

## **RESUMO**

### **MÉTODO PARA ANÁLISE DE PÓLOS GERADORES DE VIAGENS UTILIZANDO FERRAMENTAS DE MICROSIMULAÇÃO**

A necessidade de promover a qualidade e a segurança da circulação de veículos e pedestres aponta para a importância de se analisar devidamente o impacto dos pólos geradores de viagens (PGVs) nas vias localizadas na área de influência desses empreendimentos.

Neste contexto, este trabalho visa apresentar um método de análise de PGVs que possibilite determinar a área de influência e os principais impactos dos PGVs sobre a fluidez do tráfego por meio de indicadores de desempenho gerados a partir de ferramentas de microsimulação. Os modelos de simulação da operação de tráfego, principalmente os microscópicos, possibilitam avaliar de forma dinâmica as condições do tráfego local para os cenários antes e depois da implantação do empreendimento, além de permitir avaliações sucessivas desses cenários ao longo do tempo, inclusive em ambientes urbanos já consolidados.

A pesquisa parte de um aprofundamento teórico quanto aos tipos de indicadores e de metodologias existentes para a avaliação de PGV, além da análise detalhada das ferramentas de análise de tráfego existentes, com foco nos modelos de simulação microscópico. Com base nos resultados da revisão bibliográfica, é proposto um método capaz de identificar os impactos específicos desses tipos de empreendimentos, além de definir a sua área de influência, a partir dos indicadores de desempenho gerados pelos simuladores.

O método foi testado em um estudo de caso em que se avaliou a implantação hipotética de uma instituição de ensino superior na região administrativa do Guará, no Distrito Federal. Essa aplicação demonstrou a eficiência e eficácia do método a partir da análise estatística dos indicadores de desempenho volume de tráfego, velocidade média e densidade, definindo-os como bons parâmetros para a análise do impacto do PGV. O estudo de caso apontou, também, para o fato de que a área de influência de um PGV pode não estar restrita à área legalmente estabelecida pelos municípios e que a influência de um PGV pode ser expandida à pontos isolados do sistema viário que, impactados significativamente pelo empreendimento, tornam-se pontos de gargalo no que tange a fluidez do tráfego em todo o sistema viário em análise.

## **ABSTRACT**

### **METHOD FOR ANALYSIS OF TRIP GENERATORS USING MICROSCOPIC SIMULATION TOOLS**

It is essential to promote the quality and safety of vehicles and pedestrians circulation. This fact points to the importance of properly analyzing the impact of trip generators (PGVs, in Portuguese) on the roads located in the area under their influence.

In this context, this work aims at presenting an analysis method which allows determining the area of influence and the main impacts of PGVs on the traffic flow, using indicators generated by microscopic simulation tools. The simulation models of traffic operation, especially the microscopic ones, enables dynamic evaluation of local traffic conditions both before and after the project implementation, and allows successive reviews of these scenarios over time, even in urban environments already consolidated.

The research begins with a theoretical study of the types of indicators and methodologies adopted for the assessment of the PGVs. Then, it proceeds to detailed analysis of the traffic analysis tools, focusing microscopic simulation models. Based on the results of the literature review combined with the performance indicators generated by simulators, the study presents a method that is able to identify the specific impacts of this method, and to determine its area of influence.

The method was tested on a case study which assessed the hypothetical implementation of a higher education institution in the administrative region of Guara, in the Federal District. This application demonstrated the efficiency and effectiveness of the method through the statistical analysis of performance indicators for traffic volume, average speed and density, defining them as good parameters for the analysis of the impact of the PGV. The case study also pointed to the fact that the area of influence of a PGV may not be restricted to that legally established by the municipalities, and that the influence of a PGV can expand to isolated points of the road system that, impacted significantly by the new venture, become points of bottleneck in the traffic flow throughout the road system in analysis.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 - HIPÓTESE .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 - OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 - JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 - METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 - PÓLOS GERADORES DE VIAGENS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 - CONCEITO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 - IMPACTOS GERADOS PELOS PGV.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 - CLASSIFICAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 - METODOLOGIAS DE ANÁLISE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1 - Metodologia do Departamento de Transportes dos EUA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 - Metodologia do Institute of Transportation Engineers – ITE.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3 - Metodologia da CET-SP .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.4 - Metodologia de Grando .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.5 - Metodologia de PORTUGAL e GOLDNER .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.6 - Metodologia do DENATRAN.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.7 - Metodologia de Cybis <i>et al</i> (1999) .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 - ÁREA DE INFLUÊNCIA .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6 - VIAGENS GERADAS PELOS PÓLOS GERADORES DE VIAGENS.....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.1 - Modelos de Geração .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2 - Dimensão Temporal .....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.3 - Categorias de Viagens .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.4 - Distribuição de Viagens .....</b>	<b>42</b>

2.6.5 - Divisão Modal .....	42
2.7 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO .....	43
3 - FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE TRÁFEGO .....	45
3.1 - TIPOS DE FERRAMENTAS .....	46
3.2 - METODOLOGIA PARA A SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE TRÁFEGO .....	50
3.3 - FERRAMENTAS DE MICROSSIMULAÇÃO.....	52
3.3.1 - Teoria de perseguição de veículo.....	55
3.3.2 - Modelo de mudança de faixa .....	59
3.3.3 - Processo de modelagem e simulação microscópica .....	60
3.4 - DESAFIOS E LIMITAÇÕES NO USO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE DO TRÁFEGO .....	62
3.5 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO .....	65
4 - INDICADORES DE DESEMPENHO .....	67
4.1 - CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS EM UM INDICADOR .....	69
4.2 - TIPOS DE INDICADORES DE DESEMPENHO .....	71
4.3 - APLICAÇÃO DOS INDICADORES NA AVALIAÇÃO DE PÓLOS GERADORES DE VIAGEM.....	76
4.4 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO .....	79
5 - MÉTODO PARA ANÁLISE DE PGVs POR MEIO DE FERRAMENTAS DE MICROSSIMULAÇÃO.....	81
5.1 - Etapa 01: Definição do Problema.....	82
5.2 - Etapa 02: Definição da Área de Estudo .....	82
5.3 - Etapa 03: Levantamento de Dados.....	83
5.4 - Etapa 04: Avaliação da Situação Existente .....	85
5.5 - Etapa 05: Geração de Viagens pelo PGV .....	89
5.6 - Etapa 06: Avaliação da Situação com Implantação do PGV .....	90
5.7 - Etapa 07: Avaliação do Impacto Produzido pelo PGV .....	92



5.8 - Etapa 08: Avaliação de Horizontes Futuros.....	93
5.9 - Etapa 09: Propostas de Medidas Mitigadoras .....	94
5.10 - Etapa 10: Escolha da melhor alternativa .....	95
5.11 - Etapa 11: Discussão no âmbito do órgão gestor.....	96
6 - APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO: ESTUDO DE CASO .....	97
6.1 - DEFINIÇÃO DO TIPO DE PÓLO GERADOR DE VIAGEM A SER CONSIDERADO .....	97
6.2 - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO PGV	98
6.3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....	99
6.3.1 - Etapa 01: Definição do Problema .....	99
6.3.2 - Etapa 02: Definição da Área de Estudo.....	100
6.3.3 - Etapa 03: Levantamento de Dados .....	101
6.3.4 - Etapa 04: Avaliação da Situação Existente .....	105
6.3.5 - Etapa 05: Geração de Viagens pelo PGV .....	116
6.3.6 - Etapa 06: Avaliação da Situação com Implantação do PGV .....	120
6.3.7 - Etapa 07: Avaliação do Impacto Produzido pelo PGV .....	121
6.3.8 - Etapas 08 e 09: Avaliação de Horizontes Futuros e Propostas de Medidas Mitigadoras.....	139
6.3.9 - Etapa 10: Escolha da melhor alternativa .....	139
6.3.10 - Etapa 11: Discussão no âmbito do órgão gestor .....	139
6.4 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO .....	140
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	141
7.1 - PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS.....	142
7.2 - LIMITAÇÕES DO MÉTODO .....	143
7.3 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	143
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	145
APÊNDICES .....	150

<b>A – METODOLOGIA DA FHWA PARA A SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE TRÁFEGO .....</b>	<b>151</b>
<b>B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>163</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Impactos derivados da implantação de PGV .....	12
Tabela 2.2: Atividades Consideradas como Pólos Geradores de Viagem do Distrito Federal .....	15
Tabela 2.3: Conceitos de área de influência .....	29
Tabela 2.4: Parâmetros para a definição de área de influência. ....	30
Tabela 2.5: Modelos de geração de viagem ITE (2008).....	37
Tabela 2.6: Modelos de geração de viagem (DENATRAN, 2001).....	38
Tabela 2.7: Horizontes de Estudo sugeridos pelo ITE .....	40
Tabela 2.8: Horários de pico típicos .....	41
Tabela 3.1: Ferramentas para análise de tráfego .....	48
Tabela 4.1: Indicadores de desempenho na Engenharia de Tráfego (FHWA, 2007).....	72
Tabela 4.2: Indicadores de desempenho apresentados pelo HCM-2000 (TRB, 2000) .....	73
Tabela 4.3 : Indicadores de desempenho fornecidos pelo simulador Aimsun (TSS, 2008) 75	
Tabela 4.4: Indicadores de Desempenho referentes a gestão de tráfego em Fortaleza (Meneses <i>et al</i> , 2003) .....	76
Tabela 4.5: Indicadores de desempenho propostos para análise de PGV .....	79
Tabela 6.1: Ciclos e tempos semafóricos .....	103
Tabela 6.2: Características da Instituição de Ensino Superior em estudo. ....	105
Tabela 6.3: Matriz de viagens de veículos de transporte individual no pico manhã.....	109
Tabela 6.4: Matriz de deslocamentos veiculares do Guará II.....	112
Tabela 6.5: Viagens Atraídas pelo PGV (Souza, 2008). ....	117
Tabela 6.6: Viagens Produzidas pelo PGV (Souza, 2008). ....	117
Tabela 6.7: Principais localidades de destino dos alunos que têm como destino a residência Souza (2008).....	117
Tabela 6.8: Distribuição das localidades de origem por acessos ao Guará II. ....	118
Tabela 6.9: Matriz de deslocamentos veiculares do Guará II, pico manhã, com o PGV ..	119

Tabela 6.10: Resultados gerais observados nos detectores implantados por faixa definida pelos raios definidos a partir do PGV .....	123
Tabela 6.11: Síntese do número de detectores com impactos significativos por faixa .....	124
Tabela 6.12: Síntese do número de detectores com impactos significativos por área.....	125
Tabela 6.13: Variação dos valores médios dos indicadores por faixa.....	126
Tabela 6.14: Variação dos valores médios dos indicadores por área de influência definida por raio com origem no PGV .....	129
Tabela 6.15: Variação dos valores médios dos indicadores ponderados pelo volume de tráfego observado nos detectores por faixa. ....	132
Tabela 6.16: Variação dos valores médios dos indicadores ponderados pelo volume de tráfego observado nos detectores por área.....	132
Tabela A.1: Planilha para seleção da ferramenta de análise de tráfego (FHWA, 2004b).....	152
Tabela A.2: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do contexto analítico.....	157
Tabela A.3: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função da área de estudo/ escopo geográfico.....	157
Tabela A.4: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do tipo de facilidade.....	158
Tabela A.5: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do modo de viagem.....	158
Tabela A.6: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função das aplicações e estratégias de gestão.....	159
Tabela A.7: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função da reação do usuário.....	159
Tabela A.8: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função das medidas de desempenho.....	160
Tabela A.9: Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do custo/benefício da ferramenta.....	161
Tabela B.1: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV....	164
Tabela B.2: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV...	171
Tabela B.3 – Teste de Variância e Teste de Hipótese.....	178

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Relação entre os impactos no ambiente urbano e no sistema viário decorrente da implantação de um PGV. Fonte: Kneib (2004) .....	13
Figura 2.2: Metodologia do <i>U.S. Department of Transportation</i> . Fonte: Silva (2006).....	17
Figura 2.3: Metodologia da CET-SP. Fonte: Silva (2006).....	20
Figura 2.4: Metodologia de Grandó. Fonte: Silva (2006). ....	21
Figura 2.5: Metodologia de Grandó aperfeiçoada. Fonte: Portugal e Goldner (2003).....	23
Figura 2.6: Metodologia de Portugal e Goldner. Fonte: Silva (2006).....	25
Figura 2.7: Metodologia para a análise da área de influência (Correa, 1998).....	31
Figura 2.8: Metodologia para delimitação da área de influência de supermercado .....	33
Figura 2.9: Fatores relevantes à geração de viagens por PGV. Fonte: (adaptado de Portugal e Goldner, 2003) .....	35
Figura 3.1: Critérios para a escolha de ferramenta de análise de tráfego.....	51
Figura 3.2: Modelo de perseguição de Wiedemann. Fonte: PTV (2009).....	59
Figura 4.1: Relação entre dados, indicadores, índices e informação.....	68
Figura 5.1: Fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação .....	81
Figura 5.2: Etapa 01 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação .....	82
Figura 5.3: Etapa 02 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação. ....	82
Figura 5.4: Detalhamento da Etapa 03 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	85
Figura 5.5: Detalhamento da Etapa 04 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	88
Figura 5.6: Detalhamento da Etapa 05 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	90
Figura 5.7: Detalhamento da Etapa 06 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	91

Figura 5.8: Detalhamento da Etapa 07 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	93
Figura 5.9: Detalhamento da Etapa 08 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	94
Figura 5.10: Detalhamento da Etapa 09 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	95
Figura 5.11: Detalhamento da Etapa 11 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.....	96
Figura 6.1: Terreno selecionado para implantação do PGV .....	98
Figura 6.2: Localização do Guará II no Distrito Federal.....	99
Figura 6.3: Área de Estudo Legal.....	100
Figura 6.4: Área de Estudo Ampliada .....	101
Figura 6.5: Localização dos semáforos .....	102
Figura 6.6: Fases semafóricas.....	102
Figura 6.7: Desenho viário da rede base (visão geral) .....	106
Figura 6.8: Detalhe da rede base .....	106
Figura 6.9: Raios de Influência do PGV.....	107
Figura 6.10: Implantação de detectores na rede de simulação .....	108
Figura 6.11: Zonas de Tráfego .....	111
Figura 6.12: Centróides das zonas de tráfego.....	113
Figura 6.13: Pontos de parada do transporte coletivo .....	114
Figura 6.14: Diagrama de fluxo veicular observado nos arcos da rede da situação existente .....	115
Figura 6.15: Configuração da rede com o Pólo Gerador de Viagem .....	120
Figura 6.16: Aumentos significativos do volume, velocidade e densidade por faixa .....	127
Figura 6.17: Reduções significativas do volume, velocidade e densidade por faixa .....	127
Figura 6.18: Aumentos significativos do volume, velocidade e densidade por raio de influência. ....	130

Figura 6.19: Reduções significativas do volume, velocidade e densidade por raio de influência. ....	130
Figura 6.20: Diagrama de volume de tráfego para as simulações da situação sem PGV e com PGV. ....	134
Figura 6.21: Diagrama de tempo de atraso para as simulações da situação sem PGV e com PGV. ....	135
Figura 6.22: Diagrama de formação de fila média para as simulações sem PGV e com PGV .....	136
Figura 6.23: Diagrama de taxa de volume/capacidade para as simulações sem PGV e com PGV .....	137
Figura 6.24: Ponto crítico observado na análise.....	138

## 1 - INTRODUÇÃO

O processo de crescimento evidenciado nas principais cidades brasileiras aponta para a necessidade de se planejar de forma mais eficiente as questões referentes ao desenvolvimento urbano a partir de políticas e ações que visam garantir uma melhor qualidade de vida à população.

A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes (Brasil, 1988). Para efetivar o exposto na Constituição Federal, o Estatuto da Cidade traça as diretrizes gerais para o ordenamento urbano, com o objetivo de dar uma nova configuração às cidades brasileiras. Pelo referido instrumento legal, foi dada grande ênfase ao planejamento municipal, com o fim de propiciar um crescimento equilibrado e sustentável (Pereira, 2007).

Os pólos geradores de viagem - PGV são empreendimentos de grande porte que atraem ou produzem grande número de viagens, causando reflexos negativos na circulação viária em seu entorno imediato e, em certos casos, prejudicando a acessibilidade de toda a região, além de agravar as condições de segurança de veículos e pedestres (DENATRAN, 2001). São empreendimentos destinados, em geral, a uma gama extensa de atividades e, por isso, geram necessidades de deslocamento de pessoas e mercadorias. Desta forma, perturbam as condições gerais de circulação de veículos e pedestres na região de sua localização, resultando em pontos de congestionamento, redução da capacidade das vias em seu entorno, interferência com o tráfego de passagem (que faz uso das vias de acesso ao PGV, porém com outros destinos), aumento dos níveis de acidente de tráfego, reflexos na demanda por estacionamento, entre outros (CET, 1983).

Assim, o estudo dos impactos dos PGVs é de relevante interesse da área do planejamento urbano. Como esse impacto é direto sobre as condições de circulação, a sua identificação e quantificação são fundamentais para o planejamento da circulação do tráfego em toda a área afetada pela presença do empreendimento. O atendimento das necessidades de deslocamento das pessoas e mercadorias de e para o empreendimento pode exigir, também, que alterações nos sistemas de transporte sejam promovidas, incluindo em alguns casos até a definição pela ampliação da infraestrutura viária. Essas medidas são afetadas à área de



planejamento dos transportes. Por fim, a identificação devida da área de influência do empreendimento e a previsão dos seus impactos permitem subsidiar a atuação dos responsáveis pelo planejamento e controle do tráfego urbano, sobretudo quanto ao estabelecimento de critérios para a caracterização de um empreendimento como PGV e para a localização dos mesmos dentro de uma área urbana, e para a definição de medidas mitigadoras dos impactos previstos.

### **1.1 - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

A solução aos problemas provocados pelos PGVs precisa ser buscada mediante uma análise abrangente e contextualizada dos impactos desses empreendimentos. Os grandes pólos geradores de viagem devem ser analisados não apenas sob o ponto de vista econômico e social, mas também sob a ótica de seu impacto na circulação do tráfego da região na qual está inserido. A análise desses empreendimentos, portanto, deve permitir a identificação dos aspectos positivos e negativos decorrentes de sua implantação. Os impactos sobre a circulação de pessoas e mercadorias na sua área de influência constituem-se, em geral, nos principais aspectos adversos dessa implantação.

Apesar da importância da avaliação da área de influência dos PGVs e da quantificação dos seus impactos, as metodologias existentes para estes fins ainda não são amplamente utilizadas pelos órgãos municipais. Isso ocorre pela falta de diretrizes mais específicas e pela escassez de recursos humanos especializados na área nos órgãos gestores. Além disso, muitas das metodologias existentes se aplicam a contextos díspares da realidade vivida pelos municípios, de forma que cabe a cada um deles elaborar planos quanto à análise de empreendimentos de grande porte para a sua região. Disto resultam análises insuficientes e mesmo equivocadas sobre os PGVs, o que tem levado a implantações desses empreendimentos em locais totalmente inadequados sob o ponto de vista das condições de fluidez do tráfego e do conforto e segurança de todos os usuários nas vias localizadas na área de influência do empreendimento.

### **1.2 - HIPÓTESE**

Os indicadores de desempenho derivados dos resultados produzidos por modelos computacionais de simulação do tráfego possibilitam avaliar de maneira objetiva o impacto da inserção de novos empreendimentos em ambientes urbanos já consolidados, inclusive com relação à sua área de influência.

### **1.3 - OBJETIVOS**

O objetivo geral desse estudo é o desenvolvimento de um método para análise de pólos geradores de viagem, mediante o uso de simulação de tráfego.

Como objetivos específicos pretende-se:

- a) determinar indicadores de desempenho que permitam avaliar questões referentes à capacidade da via e fluidez do tráfego;
- b) definir um procedimento para a identificação do impacto de PGVs sobre a fluidez do tráfego;
- c) definir critérios para a determinação da área de influência dos diversos tipos de pólos geradores de viagens, com relação aos impactos por eles produzidos sobre a circulação de veículos.

### **1.4 - JUSTIFICATIVA**

O Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 1997), em seu Artigo 93, estipula que “nenhum projeto de edificação que possa transformar-se em pólo atrativo de trânsito poderá ser aprovado sem prévia anuência do órgão ou entidade com circunscrição sobre a via e sem que do projeto conste área para estacionamento e indicação das vias de acesso adequadas”. Contudo, observa-se que, atualmente, a análise de impactos de pólos geradores de viagens não é algo bem definido no âmbito dos órgãos de trânsito dos municípios. Muitos são os órgãos que não possuem uma metodologia objetiva capaz de avaliar as condições do tráfego após a implantação de empreendimentos de porte considerável.

Alguns órgãos utilizam metodologias próprias, como o caso da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET/SP. Outros utilizam metodologias baseadas em modelos determinísticos e estáticos, como os modelos baseados no HCM – Highway Capacity Manual, o manual de capacidade rodoviário americano (TRB, 2000).

Porém, a análise de pólos geradores de viagens deve possuir um caráter dinâmico, algo que possibilite a avaliação das condições do tráfego antes e depois da implantação de um empreendimento em determinada zona urbana, permitindo sua avaliação ao longo do tempo. Este tipo de análise deve, portanto, se valer de ferramentas adequadas. Neste trabalho, será investigada se a utilização de modelos de simulação, principalmente os microscópicos, são adequados a esse tipo de avaliação.

Além disso, o caráter dado à análise desses empreendimentos é relegado ao plano local sem avaliar o impacto de sua implantação em um nível de discussão mais amplo, dentro de uma abordagem fundamental para o desenvolvimento do planejamento urbano. Ao considerar apenas o impacto ocasionado nas vias próximas ao empreendimento, deixa-se de pensar nesses empreendimentos como algo que deve ter sua implantação previamente definida por políticas de uso e ocupação do solo. Ao invés disso, a prática comum é a de verificar como mitigar os impactos oriundos da implantação de um pólo gerador de viagens em determinado local, e não a análise de que se aquele local escolhido de fato seria o melhor local dentro da cidade para a implantação do empreendimento.

Dessa forma, o desenvolvimento de um método para avaliar as condições da operação do tráfego face à previsão da implantação de um PGV, e que permita definir a área de influência do empreendimento, tem o potencial de contribuir com as atividades dos técnicos que atuam na administração municipal, tanto na gestão do trânsito quanto no planejamento global das áreas urbanas.

## **1.5 - METODOLOGIA DA PESQUISA**

Tendo sido apresentada toda a contextualização do problema, levantada uma hipótese para a sua solução com vista na elaboração de um método para análise de pólos geradores de viagem, coube planejar o andamento da pesquisa no intuito de alcançar os objetivos traçados (geral e específicos).

A proposta de trabalho foi, pois, a de verificar quais são os indicadores de desempenho comumente utilizados pelos profissionais da área de operação de tráfego, e aplicar as técnicas de simulação em uma rede piloto, verificando a possibilidade de utilização desses e de novos indicadores na avaliação da qualidade da circulação do tráfego impactado pela implantação de um pólo gerador de viagens em seu espaço físico.

A estrutura metodológica adotada foi a definida nas etapas a seguir apresentadas.

### **Etapa 1: Revisão Bibliográfica**

Nessa etapa foi realizado um aprofundamento teórico sobre os diversos conceitos que constituem o objeto da pesquisa. Conforme mencionado anteriormente, foram abordadas as definições sobre pólos geradores de tráfego, sua contextualização no processo de planejamento e as diversas metodologias existentes para a sua análise de impacto. Foram abordados, também, aspectos relacionados à simulação de tráfego, sua função e

aplicabilidade no estudo de PGVs e a maneira como essas ferramentas podem auxiliar na análise de impacto e na tomada de decisão. A seleção da ferramenta a ser empregada foi feita a partir desta revisão. Posteriormente, foram tratados os diversos tipos de indicadores de desempenho que podem ser obtidos pelo uso de simuladores de tráfego, procurando eleger aqueles que são facilmente observados diretamente em campo.

## **Etapa 2: Concepção do Método**

Com base nos resultados da revisão bibliográfica, foi elaborado um método para avaliar tanto os impactos específicos dos PGVs como a forma de usar estes impactos para definir a área de influência do empreendimento. Nesta fase foram definidos os indicadores a serem empregados para os dois fins, e como estes podem ser determinados a partir dos resultados da simulação do tráfego. Admitiu-se que alguns indicadores podem ser obtidos diretamente do simulador, enquanto outros devem ser calculados a partir dos resultados da simulação.

## **Etapa 3: Teste e Avaliação do Método Proposto: Estudo de Caso**

No desenvolvimento da pesquisa foi utilizado um programa computacional de microsimulação de tráfego (definido na Etapa 1) onde foi construída uma rede piloto para realizar os diversos experimentos a fim de testar e avaliar o método definido na Etapa 2, de modo a permitir a identificação de ajustes necessários à sua formulação final.

### a) Definição do tipo de PGV a ser considerado

Para este propósito foi definido, inicialmente, o tipo de pólo gerador de tráfego a ser estudado (*shopping center*, condomínio residencial, escola, entre outros) e determinada sua previsão de viagens. Para tal, foram levantados dados referentes às características físicas e de ocupação do PGV, necessários à aplicação do modelo de geração de viagens correspondente. Tendo em vista estudos anteriores realizados no âmbito do PPGT-UnB, optou-se por considerar na presente pesquisa uma instituição de ensino superior.

### b) Seleção e caracterização da área de implantação do PGV

Após a definição do PGV a ser estudado, foi estabelecido o local de implantação desse pólo e obtidas as características das vias a serem incluídas no estudo. É relevante ressaltar que o processo de avaliação de impacto da implantação de um empreendimento é algo que se inicia com a avaliação de uma situação pré-implantação e que se finaliza com a avaliação da situação pós-implantação desse empreendimento.

Dessa forma, para obter as condições de tráfego anterior à implantação do PGV foram realizados levantamentos das características físicas, como tamanho das vias, número de faixas, comprimento dos trechos, tipologia das interseções, localização dos pontos de parada do transporte coletivo, etc; das características operacionais como forma de controle das interseções, tempos semafóricos, etc; e das características do fluxo veicular, como volume de tráfego, classificação veicular, etc.

O levantamento das características físicas foi feito mediante a utilização de plantas de levantamento topográfico, fotos aéreas e visitas a campo para melhor diagnóstico da situação.

O levantamento das formas de controle foi realizado da mesma maneira do levantamento das características físicas, sendo levantado em campo os dados referentes aos planos semafóricos utilizados na região de estudo.

Em relação ao levantamento das condições do fluxo, pretendia-se realizar pesquisas de contagem volumétrica classificada de tráfego em diversos pontos do sistema viário em estudo, com a utilização de dispositivos que auxiliassem a execução do processo, tais como contadores manuais e dispositivos de informática do tipo *palm top*. Contudo, uma vez verificada a extensão da rede de análise em que diversos pontos deveriam ser pesquisados, esse procedimento se mostrou inviável em função do prazo e do elevado custo financeiro. Dessa forma, optou-se por caracterizar o fluxo veicular a partir de matrizes de origem-destino oriundas de levantamentos recentemente realizados no Distrito Federal.

Todo processo de modelagem e de simulação requer uma etapa de calibração desse modelo. Dessa maneira, também se pretendia realizar algumas pesquisas adicionais a fim de fornecer maiores informações a respeito da condição de fluxo, tais como pesquisas de velocidade e retardamento a partir da utilização de Sistemas de Posicionamento Global a fim de verificar os pontos de maior fluidez e de gargalos do sistema viário em análise. Porém, como a preocupação do estudo de caso foi a de avaliar a situação antes e depois da implantação do PGV, sem se preocupar com os dados reais já que se trata da análise de uma situação hipotética, optou-se por desempenhar uma fase mais simplificada de calibração declinando, pois, da intenção de realizar pesquisas especificamente direcionadas à fase de calibração e validação do modelo.

Feito todo o levantamento de dados necessários, foi construída no simulador a rede base, tendo como entrada do modelo os dados coletados em campo. Feita a calibração da situação pré-implantação do pólo gerador de viagem, foi realizada a inclusão da demanda originada pelo empreendimento possibilitando a análise de seu impacto naquele sistema viário em questão.

#### c) Aplicação do método proposto

Tomando por base os resultados da simulação nas situações antes e depois da localização do empreendimento, foi aplicado o método proposto para a avaliação do impacto do PGV e determinação da sua área de influência. Esta aplicação permitiu verificar se os indicadores inicialmente propostos, e a forma de utilizá-los preconizada no método, eram adequados para que os objetivos da análise fossem efetivamente alcançados.

#### **Etapla 4: Avaliação do Método Proposto**

Finalizada a etapa de simulação e aplicação do método inicialmente proposto, foram identificadas suas características positivas e negativas visando permitir, quando for o caso, a realização de alterações e/ou ajustes a serem efetuados na versão inicial voltada ao seu aprimoramento.

### **1.6 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos da seguinte forma:

No Capítulo 1, introdutório ao trabalho, discorre-se sobre o problema a ser abordado, bem como a hipótese, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a metodologia empregada na pesquisa.

Na sequência, os três capítulos consecutivos referem-se ao processo de revisão bibliográfica. No Capítulo 2 aborda-se o conceito de Pólos Geradores de Viagens - PGV, como eles se desenvolvem no ambiente urbano e quais os impactos advindos de sua implantação, principalmente na circulação do tráfego. Além disso, aborda-se a questão da geração de viagens desses empreendimentos.

O Capítulo 3 refere-se às ferramentas de análise de tráfego que auxiliam no processo de tomada de decisão por parte dos técnicos de transporte, melhorando a avaliação das condições do tráfego frente à implantação de um PGV. Dá-se destaque neste capítulo às ferramentas de microsimulação.

No Capítulo 4 são apresentados os conceitos e fatores envolvendo os diversos indicadores de desempenho existentes na engenharia de tráfego, identificando quais deles se aplicam à avaliação de impactos dos PGVs no sistema viário.

A partir desse respaldo teórico, no Capítulo 5, desenvolve-se um método que busca definir os melhores indicadores de desempenho para análise de impacto de PGV na circulação do tráfego a partir de técnicas de simulação. Em seguida, aplica-se o método proposto a um estudo de caso, apresentado no Capítulo 6.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e recomendações deste estudo.

## 2 - PÓLOS GERADORES DE VIAGENS

### 2.1 - CONCEITO

Há na literatura diversos trabalhos que apresentam o conceito de Pólo Gerador de Viagens (PGV). Apesar da conceituação dada entre os diversos autores ser bastante parecida, percebe-se uma sensível diferença entre eles, a começar pela nomenclatura: pólos geradores de viagens, pólos geradores de tráfego, centros geradores de viagens, entre outros. Nesta seção são apresentados inicialmente alguns desses conceitos, mantendo-se a nomenclatura original adotada nas fontes citadas.

Os pólos geradores de tráfego (PGT) são empreendimentos de grande porte que atraem ou produzem grande número de viagens, causando reflexos negativos na circulação viária em seu entorno imediato e, em certos casos, prejudicando a acessibilidade de toda a região, além de agravar as condições de segurança de veículos e pedestres (DENATRAN, 2001 e CET-SP, 1983). Para Portugal e Goldner (2003), o PGT está associado a locais ou instalações de distintas naturezas que têm em comum o desenvolvimento de atividades em um porte e escala capazes de produzir um contingente significativo de viagens.

A Norma do Sistema Viário do Distrito Federal (DISTRITO FEDERAL, 2005) define como Pólo Gerador de Tráfego a edificação ou conjunto de edificações cujo porte, natureza e oferta de bens ou serviços geram uma situação de complexidade com interferências no tráfego do entorno e grande demanda por vagas de estacionamento ou de garagem.

Os Pólos Geradores de Viagens (PGV), definidos pela RedePGV (2005), são locais ou instalações de distintas naturezas que têm em comum o desenvolvimento de atividades em um porte e escala capazes de exercer grande atratividade sobre a população, produzir um contingente significativo de viagens, necessitar de grandes espaços para estacionamento, carga e descarga e embarque e desembarque, promovendo, conseqüentemente, potenciais impactos. Os *shopping centers*, hipermercados, hospitais, universidades, estádios, terminais de carga, estações de transportes público e mesmo áreas protegidas do tráfego de passagem com múltiplas instalações produtoras de viagens são alguns tipos de PGV.

Verifica-se, portanto, dois termos principais adotados na literatura técnica brasileira para conceituar os Pólos Geradores. O termo mais comum refere-se a Pólo Gerador de Tráfego. Esse termo, contudo, caracteriza empreendimentos que causam impactos no sistema viário e na circulação, em um prazo mais imediato, cujas metodologias de análise de impactos



enfocam o planejamento operacional do sistema de transportes (KNEIB, 2004). Já o termo Pólo Gerador de Viagens é mais abrangente. Ele procura contemplar não apenas os impactos no sistema viário e na circulação, como também impactos no ambiente urbano causados pelo empreendimento, a médio e longo prazos, denominados impactos derivados, que podem vir a comprometer a acessibilidade da área influenciada pelo empreendimento. A substituição do termo “tráfego” por “viagens” também reforça a idéia de que as viagens geradas pelos empreendimentos incluem não só os diversos modos motorizados mas também os modos não motorizados (SOUZA, 2007). Esses últimos não eram devidamente tratados nos estudos de PGT.

Assim, neste trabalho será adotado o termo mais abrangente de Pólo Gerador de Viagens (PGV).

Percebe-se que o foco das definições de PGV está no impacto produzido por esses empreendimentos no sistema viário local. Porém, identificam-se sutis diferenças entre elas: para algumas o impacto reflete nas questões de segurança e fluidez, para outras afeta na acessibilidade, e até mesmo na demanda por vagas de estacionamento. Na verdade, o impacto ocasionado pela implantação de um PGV afeta todos esses, e até mesmo outros, aspectos que devem ser considerados para a avaliação plena das suas condições de implantação em determinada região. A discussão pode inclusive ir além do plano imediato, partindo-se para uma análise mais macro, em termos da gestão e do planejamento urbano.

Das diversas definições sobre PGV existentes na literatura, fica claro que o Pólo Gerador de Viagens refere-se a um elemento que altera as condições originais de tráfego da localidade na qual está implantado. Por vezes, essa alteração traz impactos importantes não somente sob o ponto de vista econômico, mas também sob o ponto de vista da fluidez e da segurança do tráfego de veículos e pessoas.

Nem sempre os impactos causados pelo PGV são negativos para o ambiente ao qual ele está inserido. A construção de um empreendimento de porte pode originar benefícios sob os aspectos econômicos e sociais da comunidade afetada. Contudo, o foco deste trabalho está na avaliação dos impactos causados na circulação e no sistema viário local, onde na maioria das vezes o impacto causado reflete na degradação da qualidade do tráfego local, seja sob aspecto da fluidez do tráfego, seja sob o aspecto da segurança de motoristas, ciclistas e pedestres.

## **2.2 - IMPACTOS GERADOS PELOS PGV**

Os Pólos Geradores de Viagens produzem diversos tipos de impactos no meio em que estão inseridos, podendo estes ser positivos ou negativos. Além disso, ocorrem sob diversos aspectos, não somente sob a ótica da circulação viária.

A implantação e operação de Pólos Geradores de Viagens comumente causa impactos na circulação viária, requerendo uma abordagem sistêmica de análise e tratamento que leve em conta simultaneamente seus efeitos indesejáveis na mobilidade e acessibilidade de pessoas e veículos e o aumento da demanda de estacionamento em sua área de influência (DENATRAN, 2001).

Os impactos sobre a circulação ocorrem quando o volume de tráfego nas vias adjacentes e de acesso ao PGV se eleva de modo significativo, devido ao acréscimo de viagens gerado pelo empreendimento, reduzindo os níveis de serviço e de segurança viária na área de influência (DENATRAN, 2001).

A CET-SP (1983) divide esses impactos em dois grupos, um referente aos reflexos negativos na circulação, quando a quantidade de veículos atraída pelo PGV é superior à capacidade das vias na sua área de influência, resultando em pontos de congestionamento nas vias do entorno, interferência com o tráfego de passagem que se utiliza das vias de acesso ao PGV, má acessibilidade ao empreendimento e o aumento considerável dos níveis de acidente de tráfego. O outro grupo refere-se aos reflexos no estacionamento, quando a insuficiência de espaço no PGV causa estacionamento irregular e em zonas residenciais, além de dificuldades nas operações de carga e descarga de mercadorias e embarque e desembarque de passageiros.

No aspecto social, os impactos que um PGV pode causar numa comunidade referem-se a variações de mobilidade, condições de vida, e acessibilidade aos serviços. Os impactos econômicos referem-se aos níveis de emprego, principalmente no setor imobiliário da região. Os ambientais incluem questões de qualidade de vida e desagregação ambiental, poluição, ruídos, intrusão visual, vibração e segurança (TOLFO, 2006).

Baseado no trabalho de KNEIB (2004), a REDEPGV (2010) apresenta uma proposta de sistematização dos impactos causados por PGVs, que é mostrada na Tabela 2.1.

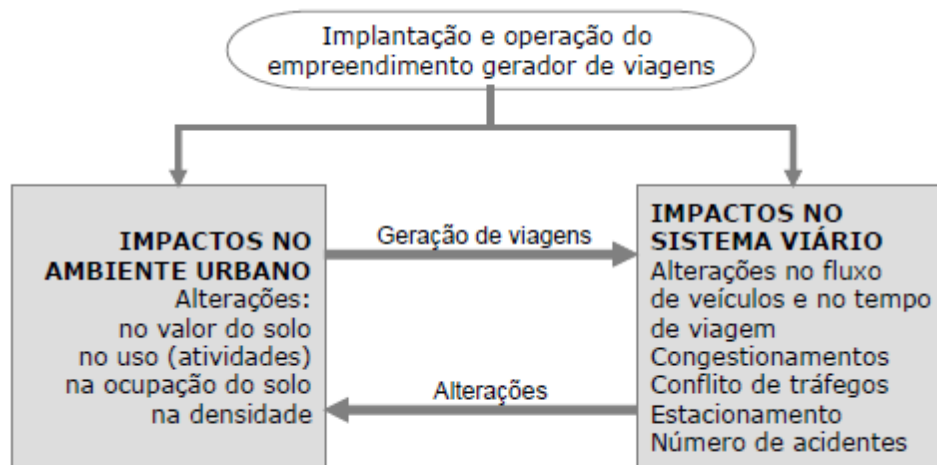
**Tabela 2.1:** Impactos derivados da implantação de PGV

Impactos	Descrição
Mobilidade	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aumento do fluxo de veículos</li><li>- Demanda por transporte público</li><li>- Aumento do tempo de viagem</li><li>- Congestionamento</li><li>- Conflito de tráfego</li><li>- Estacionamento</li><li>- Número de acidentes</li></ul>
Sócio-Econômico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Alteração do valor do solo e dos imóveis</li><li>- Níveis de emprego e renda</li><li>- Fiscais</li><li>- Custo de viagens</li><li>- Uso de equipamentos urbanos e comunitários</li></ul>
Uso do Solo	<p>Alterações:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- no uso do solo e dos imóveis (atividades)</li><li>- na ocupação do solo e densidade</li></ul>
Sócio-Ambiental	<ul style="list-style-type: none"><li>- Paisagem urbana e patrimônio natural e cultural</li><li>- Ecossistemas</li><li>- Qualidade do ar</li><li>- Nível de ruído</li><li>- Vibrações</li><li>- Ventilação e iluminação</li></ul>

Fonte: REDEPGV (2010), baseado em KNEIB (2004)

KNEIB (2004) classifica os impactos causados pela implantação de Pólos Geradores de Viagens em impactos diretos, que são os impactos na circulação e sistema viário causados especificamente pelo empreendimento gerador de viagens, e impactos derivados, que são os demais impactos decorrentes da implantação e operação do empreendimento gerador de viagens, que se dão no ambiente urbano e são provenientes do próprio empreendimento ou das alterações provocadas pelo empreendimento.

O trabalho de KNEIB (2004) aponta, ainda, que a implantação e operação de um empreendimento gerador de viagens impacta o sistema viário, que gera alterações nos valores e padrões de uso e ocupação do solo, que por sua vez contribuem para a geração de viagens, ocorrendo uma relação cíclica entre ambos, conforme exposto na Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Relação entre os impactos no ambiente urbano e no sistema viário decorrente da implantação de um PGV. Fonte: Kneib (2004)

### 2.3 - CLASSIFICAÇÃO

Os PGV possuem uma vasta variabilidade com relação ao tipo e a magnitude dos impactos causados, o que permite reuni-los em classes de pólos com características semelhantes.

Para Portugal e Goldner (2003), os PGV podem ser classificados de acordo com a natureza e intensidade das atividades neles desenvolvidas. Quanto à natureza, os PGV abrangem: *shopping centers* e lojas de departamento; hipermercados e supermercados; estabelecimentos de ensino; hospitais, pronto-socorros, maternidade e clínicas médicas; estádios, ginásios esportivos, autódromos, hipódromos e academias; hotéis e motéis; restaurantes, cinemas, teatros, templos, igrejas e auditórios; indústrias e oficinas; conjuntos residenciais; prédios de escritórios; pavilhões para feiras e exposições; parque e zoológicos; entrepostos e terminais atacadistas; aeroportos, portos, rodoviárias e garagens (Portugal e Goldner, 2003).

O ITE (2008) classifica esses empreendimentos em dez categorias, conforme sua natureza, sendo elas: portos/terminal, indústria/agrícola, residencial, alojamento, recreacional, institucional, saúde, escritório, comércio e serviços.

Quanto à intensidade do impacto, a CET-SP (1983) classifica os PGV em:

- a) micropolos, que são aqueles empreendimentos que causam impactos pequenos, porém quando agrupados os impactos podem se tornar bastante significativos;

- b) macropolos, que são aqueles empreendimentos que isoladamente causam impactos mais expressivos.

Conforme estabelecido no Artigo 93 do Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 1997), nenhum projeto de edificação que possa transformar-se em pólo atrativo de trânsito poderá ser aprovado sem prévia anuência do órgão ou entidade com circunscrição sobre a via, de forma que, assim, surgem diversas outras classificações para os Pólos Geradores de Viagens estabelecidas pelas legislações municipais.

De acordo com DENATRAN (2001) o município de Curitiba classifica como Pólo Gerador de Viagens todo empreendimento com área de construção igual ou superior a 5.000 m<sup>2</sup>.

Em Belo horizonte, essa classificação consiste: i) nos empreendimentos de uso não residencial com área edificada superior a 6.000m<sup>2</sup>; ii) nos empreendimentos residenciais com mais de 150 unidades; iii) nos empreendimentos de uso misto em que o somatório da razão entre o número de unidades residenciais e 150 e da razão entre a área de parte da edificação destinado ao uso não residencial e 6.000m<sup>2</sup> seja igual ou superior a um; iv) além de outros empreendimentos específicos, tais como autódromos, hipódromos, estádios esportivos, terminais rodoviários, ferroviários e aeroviários, vias de tráfego de veículos com duas ou mais faixas de rolamento, ferrovias subterrâneas ou de superfície, entre outros (DENATRAN, 2001).

Ainda segundo DENATRAN (2001), o município de João Pessoa, em seu plano diretor, definiu como Pólo Gerador de Viagens o empreendimento público ou privado que, quando implantado, sobrecarrega a infra-estrutura básica, a rede viária e de transporte ou provoca danos ao meio ambiente natural ou construído.

No Distrito Federal, considera-se Pólos Geradores de Viagens os empreendimentos constantes da Tabela 2.2, adaptada da Norma do Sistema Viário do DF (DISTRITO FEDERAL, 2005).

**Tabela 2.2:** Atividades Consideradas como Pólos Geradores de Viagem do Distrito Federal

<b>Atividade</b>	<b>Área total de construção (m<sup>2</sup>)</b>
Centro Comercial	$5.000 \leq AC \leq 10.000$ $>10.000$
Galeria comercial	$\geq 2500$
Comércio varejista (lojas comerciais)	$\geq 2.500$
Supermercado e Hipermercado	$\geq 2.500$
Entrepasto, Terminal, Armazém, Depósito.	$\geq 5.000$
Serviços Públicos, Prestação de Serviço, Escritório, Consultório e similares.	$\geq 1.500$
Estabelecimento hoteleiro	$\geq 3.500$
Motel	Qualquer área
Hotel Residência	Qualquer área
Serviço de atendimento hospitalar	$\geq 3.500$
Serviços de atendimento de urgência e emergência, de atenção ambulatorial e de complementação diagnóstica ou terapêutica	$\geq 1.500$
Educação superior.	$\geq 2.500$
Educação média, de formação geral, profissionalizante ou técnica e supletiva.	$\geq 2.500$
Educação pré-escolar e fundamental.	$\geq 2.500$
Educação continuada ou permanente e aprendizagem profissional.	$\geq 1.500$
Restaurante e outros estabelecimentos de serviços de alimentação.	$\geq 1.500$
Indústria.	$\geq 2.500$
Projeção de filme e de vídeo e outros serviços artísticos e de espetáculos.	$\geq 300$ pessoas
Serviço de organização religiosa.	Qualquer área
Habitação coletiva.	Qualquer área
Serviços desportivos e outros relacionados ao lazer.	$\geq 3.000$
Pavilhão para Feiras, Exposições e similares.	$\geq 3.000$
Zoológicos, parques de diversões, parques temáticos e similares.	Qualquer área
Serviços de jardins botânicos, parques multifuncionais, parques ecológicos e similares.	Qualquer área

Fonte: (DISTRITO FEDERAL, 2005)

## 2.4 - METODOLOGIAS DE ANÁLISE

De forma a sistematizar a análise dos impactos gerados pelos Pólos Geradores de Viagens, foram desenvolvidas diversas metodologias, com o objetivo de, segundo CET-SP (2000, *apud* Portugal e Goldner, 2003):

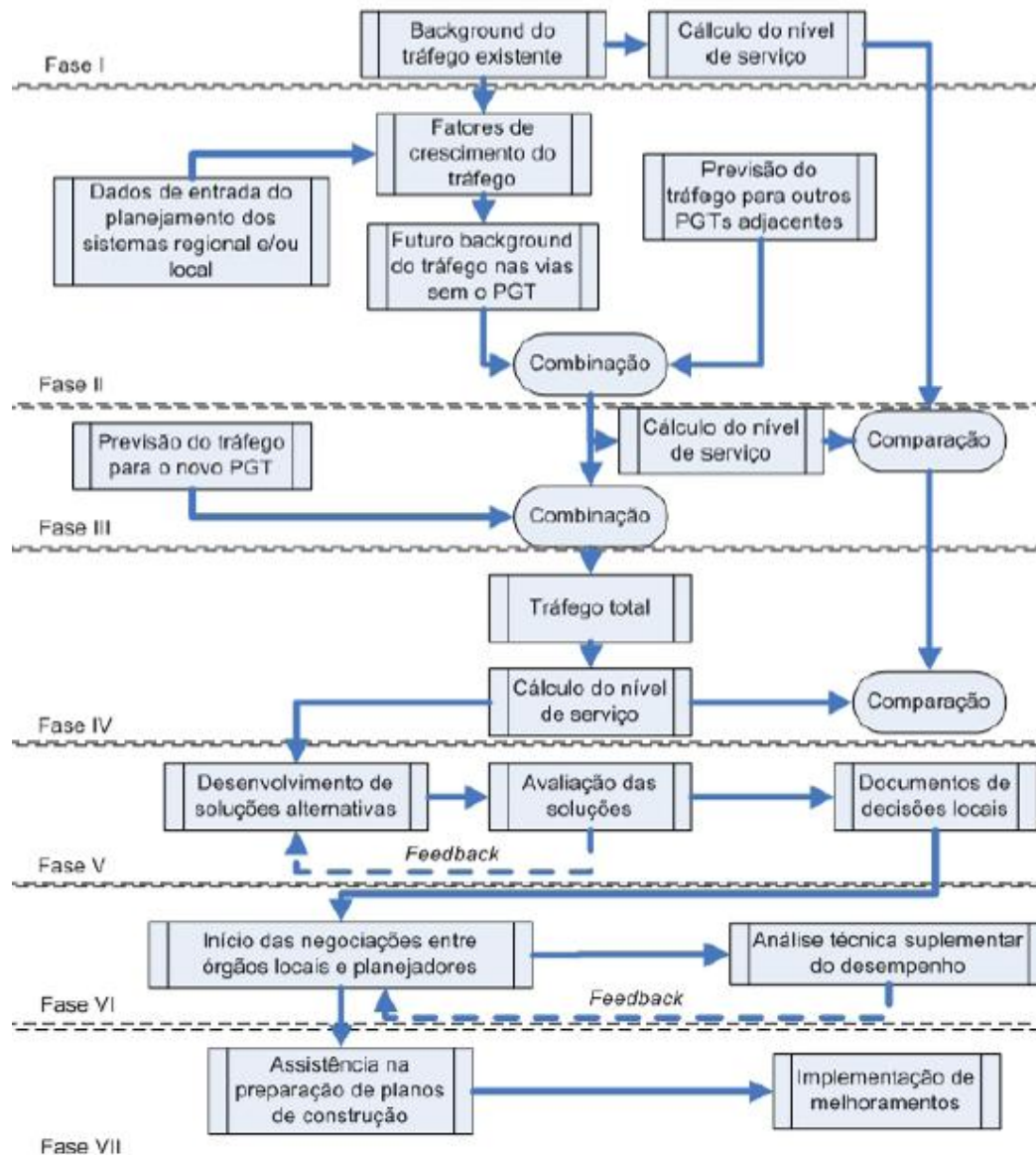
- garantir a melhor inserção possível do empreendimento proposto na malha viária;

- diminuir ao máximo a perturbação do tráfego de passagem em virtude do tráfego gerado pelo empreendimento;
- viabilizar a absorção pela edificação de toda demanda por estacionamento gerada pelo empreendimento;
- assegurar que as operações de carga e descarga ocorram nas áreas internas da edificação;
- reservar espaços seguros para circulação e travessia de pedestres;
- assegurar a existência de vagas de estacionamento específicas para deficientes físicos e motocicletas.

Portugal e Goldner (2003) realizaram o levantamento de diversas metodologias nacionais e internacionais, descritas nas seções a seguir.

#### **2.4.1 - Metodologia do Departamento de Transportes dos EUA**

Essa metodologia, desenvolvida em 1985 pelo *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration* e pelo *Institute of Transportation Engineers* dos EUA, apresenta sete fases principais conforme o fluxograma apresentado na Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Metodologia do *U.S. Department of Transportation*. Fonte: Silva (2006).

Na Fase I, realiza-se a caracterização do empreendimento, estabelecem-se os parâmetros do projeto de estudo que serão utilizados nos cenários referentes aos anos 0, 5, 10 e 20 anos após abertura do PGV, define-se a área de estudo e avalia-se a situação atual do tráfego da região.

Na Fase II, estima-se a situação futura do tráfego local sem o pólo gerador, estabelecendo as taxas de crescimento, identificando as mudanças na rede viária e nas condições de uso e ocupação do solo. Com isso, projeta-se o volume na hora pico para o horizonte de projeto e calcula-se o nível de serviço das vias da área de estudo, a fim de se identificar as mudanças ali ocorridas em relação à situação existente.



Na Fase III, estima-se o volume de tráfego gerado pelo PGV a partir da seleção e aplicação das taxas de geração de viagens, bem como dos modelos de distribuição e alocação de viagens para a rede viária.

Combinando os resultados obtidos na Fase II com os obtidos na Fase III, realiza-se na Fase IV a análise da área de estudo no cenário futuro, depois do desenvolvimento do PGT. Mais uma vez, calcula-se o nível de serviço para essa situação final e compara-o com os resultados das Fases I e II, identificando as mudanças ocorridas.

Na Fase V, são desenvolvidas as propostas de soluções como alternativas para encontrar os níveis de serviço aceitáveis no sistema viário em análise, selecionando as soluções preferenciais.

Em seguida, na Fase VI, submete-se o estudo ao órgão gestor para a aprovação do projeto para o desenvolvimento proposto, devendo o mesmo ser implantado na Fase VII.

#### **2.4.2 - Metodologia do Institute of Transportation Engineers – ITE**

A metodologia do ITE baseia-se em dois pontos principais para o estudo de impacto de PGV, o estudo do tráfego não relacionado ao PGV e o estudo do tráfego gerado pelo PGV.

##### **2.4.2.1 - Estudo do tráfego não relacionado ao PGV**

O tráfego não relacionado ao PGV é aquele que compõe o tráfego da área de estudo mas que não é gerado pelo PGV. O ITE apresenta três métodos de projeção do tráfego não relacionado ao PGV. São eles:

- Método *Build-Up* ou método da agregação: consiste em estimar o horário de pico a ser gerado pelos desenvolvimentos aprovados para construção e antecipá-los para a área de estudo, a partir do seguinte procedimento:
  1. avaliam-se os impactos dos melhoramentos do sistema, considerados durante o período de previsão;
  2. identifica-se o desenvolvimento da área de estudo durante o período de previsão (incluindo a instalação de outros PGVs);
  3. estima-se a geração de viagens a partir dos desenvolvimentos previstos;
  4. estima-se a distribuição das viagens;

5. aloca-se o tráfego;
  6. estima-se o crescimento do tráfego de passagem;
  7. soma-se o tráfego resultante da estimação do desenvolvimento da área de estudo com a estimação do tráfego de passagem;
  8. checa-se a lógica dos resultados e os ajustam se necessário.
- Uso da área ou subárea do plano de transportes: consiste em projetar os volumes dos estudos de planejamento de transporte para grandes projetos ou de impactos regionais.
  - Taxa de crescimento: consiste na aplicação das taxas observadas nos 5 anos anteriores, caso estas se apresentem estáveis. Utilizado para projetos pequenos.

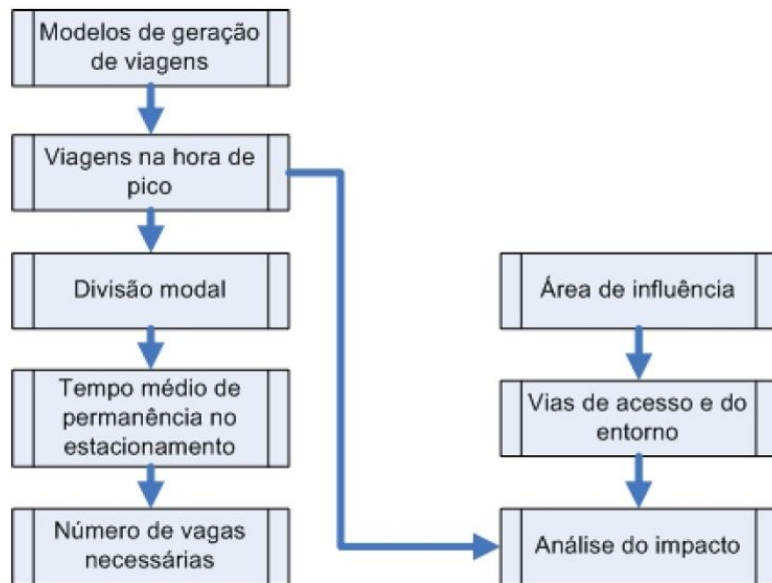
#### 2.4.2.2 - Estudo da geração do tráfego local

Nesta etapa é feita a previsão de viagens geradas pelo PGV em estudo, baseada nas taxas e equações apresentadas na publicação *Trip Generation* do próprio ITE. Além disso, devem ser observadas as peculiaridades locais, a escolha modal e as categorias de viagem, bem como ser escolhido o horário de pico adequado e evitar dados muito antigos para as previsões.

Após os estudos do tráfego sem considerar o PGV e do tráfego gerado pelo PGV, deve-se estudar a distribuição de viagens e alocação do tráfego local, possibilitando a análise dos pontos críticos ( SILVA, 2006)

#### 2.4.3 - Metodologia da CET-SP

A metodologia da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo pode ser descrita conforme o fluxograma da Figura 2.3.



**Figura 2.3:** Metodologia da CET-SP. Fonte: Silva (2006).

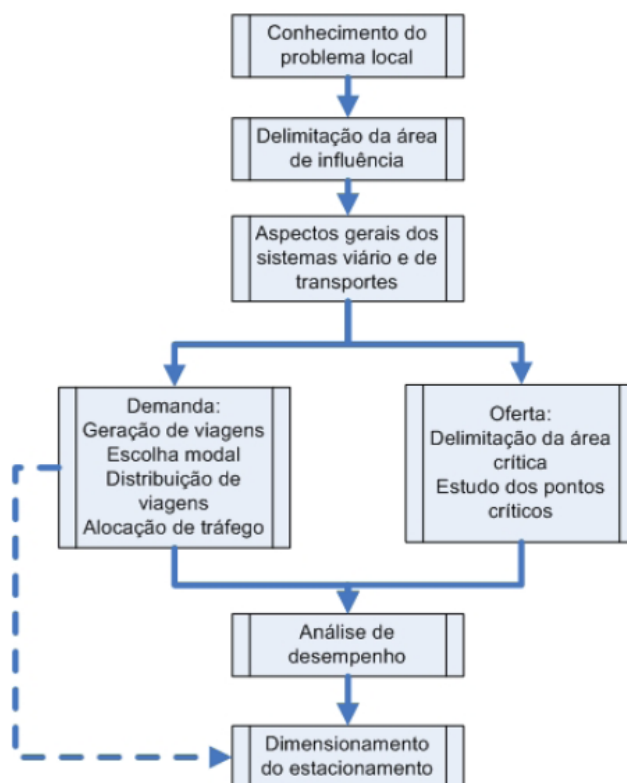
Basicamente, a metodologia consiste na aplicação do modelo clássico de quatro etapas, com o foco de determinar o número de vagas de estacionamento necessárias para o Pólo Gerador de Viagens.

Assim parte-se de modelos econométricos de geração de viagens, alguns elaborados pela própria CET-SP, baseados em variáveis explicativas quanto à capacidade de produção de viagens ao longo do dia. Determina-se o volume na hora de pico, avaliando o impacto nas vias definidas na área de influência do empreendimento.

As proposições são apresentadas de forma qualitativa, exigindo um conhecimento prévio do usuário quanto ao assunto, já que não há o detalhamento e sistematização das etapas (Portugal e Goldner, 2003).

#### **2.4.4 - Metodologia de Grandó**

A Figura 2.4, a seguir, esquematiza as sete etapas da metodologia de Grandó.



**Figura 2.4:** Metodologia de Grandó. Fonte: Silva (2006).

O processo inicia-se no conhecimento do problema local, a partir da caracterização do PGV quanto a sua localização, especificidades urbanas, tamanho, número de vagas de estacionamento, etc. Em seguida, delimita-se a área de influência do empreendimento a partir do traçado de isócronas e isócotas, associadas ao levantamento do mercado competitivo, obtido do estudo de viabilidade econômica.

Na sequência faz-se a classificação do sistema viário e a análise do sistema de transportes que serve ao PGT.

A próxima etapa consiste na caracterização da demanda do empreendimento, aplicando-se a modelo clássico de quatro etapas para a geração de viagens, escolha modal, distribuição de viagens e alocação do tráfego.

Nesta etapa, a geração de viagens é realizada a partir de modelos econométricos para o dia típico considerado e a escolha modal é desempenhada a partir de uma análise qualitativa dos diferentes meios de transporte que servem o PGV. A distribuição de viagens é realizada por meio de modelos empíricos, com a subdivisão da área de influência em quadrantes e definição das porcentagens das viagens por zona de tráfego, baseado em

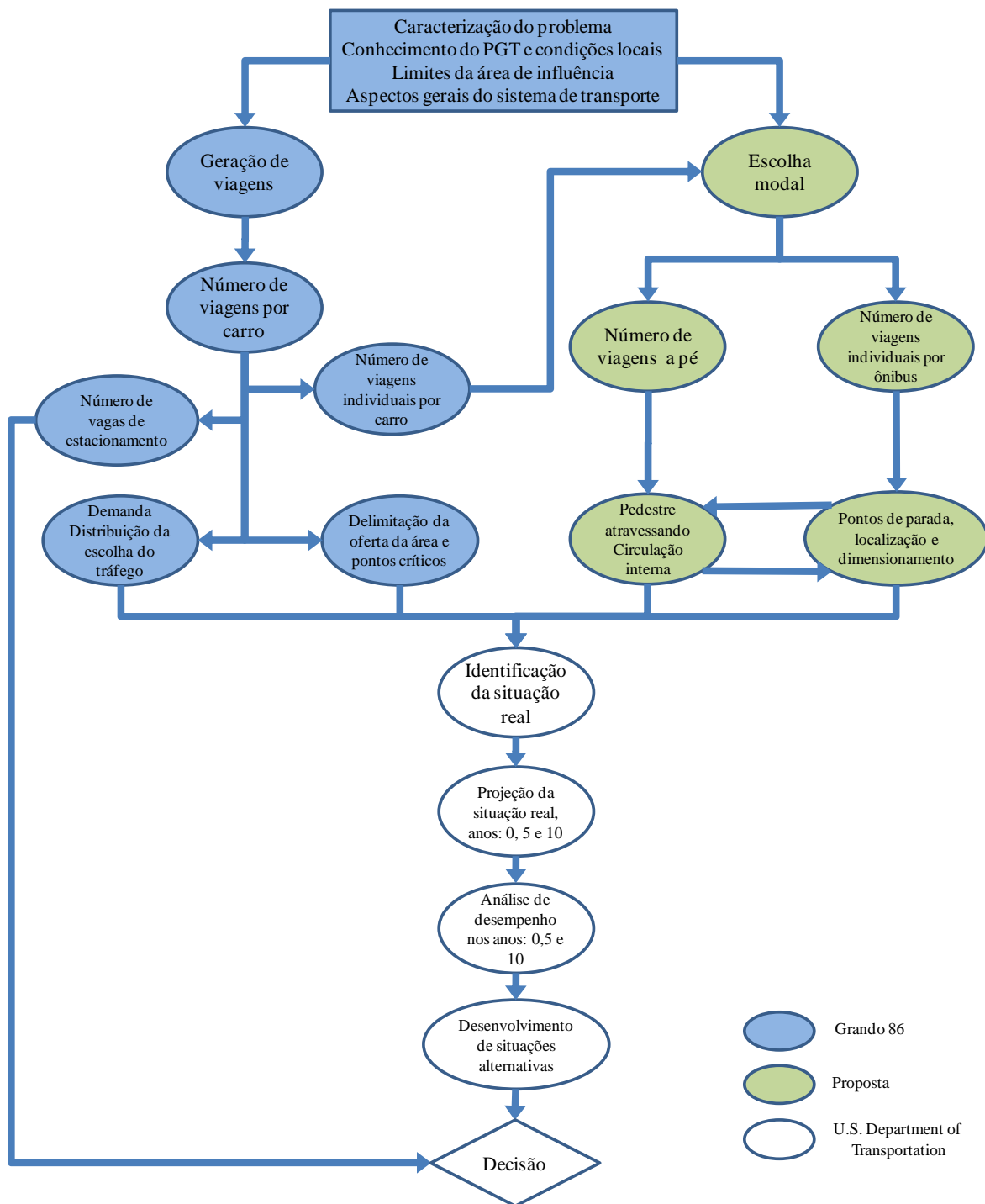
dados de população, frota de veículos, etc. Já a alocação de tráfego baseia-se no modelo de “tudo ou nada”, considerando a relação entre o tráfego de entrada e o de saída do PGV.

A etapa de alocação representa uma interface entre a etapa de caracterização da demanda e a 5ª etapa, de caracterização da oferta, definida pela delimitação da área crítica, onde se realizam os movimentos de acesso ao pólo, e o estudo dos pontos críticos, que são os locais do sistema viário que sofrem impacto direto das viagens geradas pelo PGV.

As etapas seguintes consistem na análise de desempenho da situação existente e da situação com a implantação do empreendimento, a partir do cálculo de capacidade nos trechos de vias e interseções.

Por fim, dimensiona-se o estacionamento, definindo-se o número mínimo de vagas como produto entre o volume horário de projeto e o tempo médio de permanência dos veículos no estacionamento.

Posteriormente a autora apresentou um aperfeiçoamento de sua metodologia incorporando uma nova proposta para a etapa de escolha modal e agregando alguns conceitos da metodologia do *U.S. Department of Transportation*, conforme fluxograma mostrado na Figura 2.5.



**Figura 2.5:** Metodologia de Grando aperfeiçoada. Fonte: Portugal e Goldner (2003).

De acordo com Silva (2006), os principais aprimoramentos incorporados são:

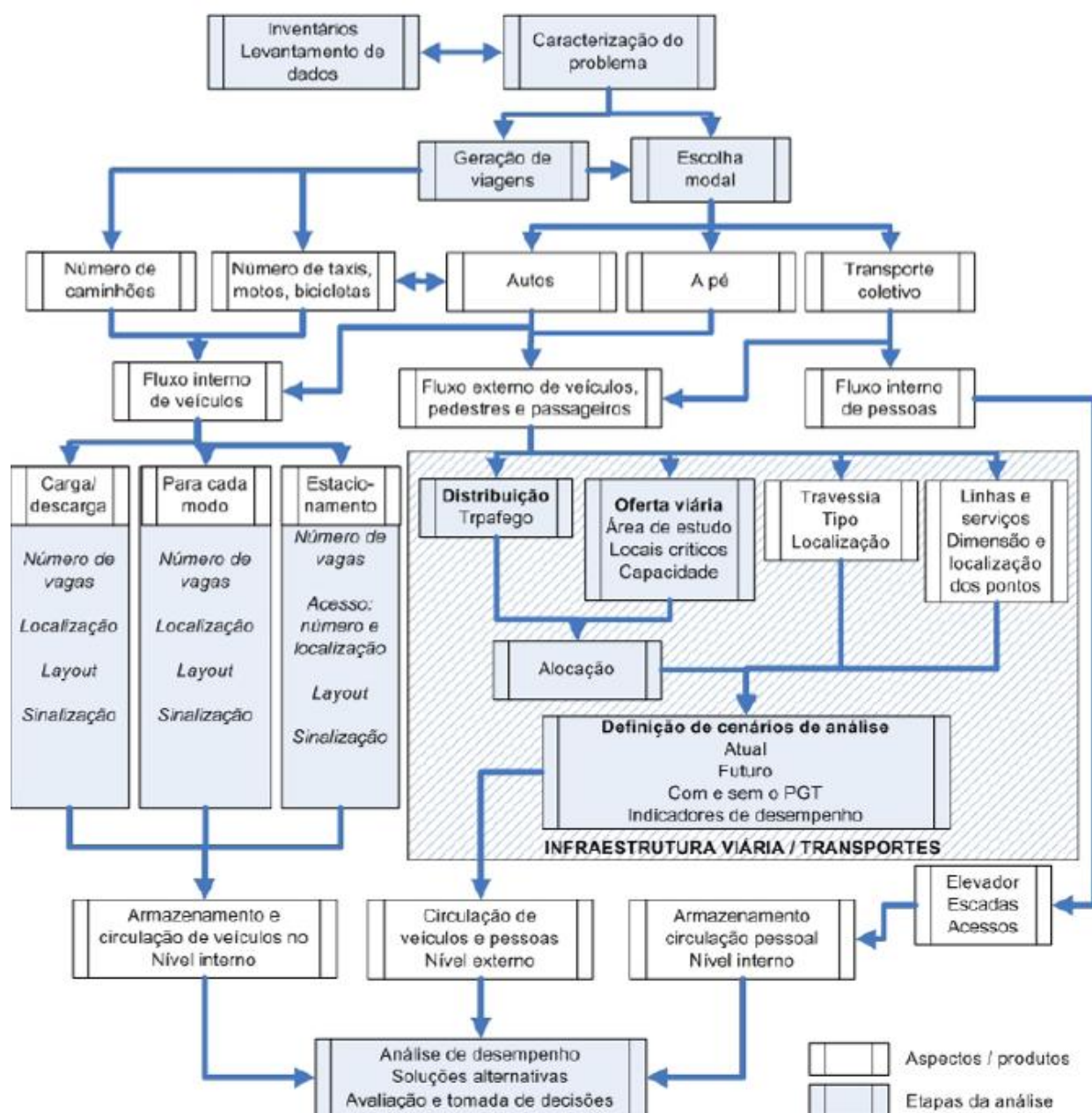
- um amplo estudo da escolha modal dos shopping centers brasileiros, segundo abordagens agregada e desagregada com aplicação do modelo LOGIT Multimodal;
- estudo do valor do tempo de viagem para compras, utilizando-se das técnicas de preferência revelada e preferência declarada;

- aperfeiçoamentos nos modelos de geração de viagens;
- aperfeiçoamentos na porcentagem de pico horário;
- aperfeiçoamentos no estudo da categoria de viagens;
- aperfeiçoamentos na etapa de distribuição de viagens.

#### **2.4.5 - Metodologia de PORTUGAL e GOLDNER**

A partir das diversas metodologias estudadas, PORTUGAL e GOLDNER (2003) propõem uma estrutura global para a análise de impactos de pólos geradores de viagem.

A estrutura apresentada na Figura 2.6 leva em consideração não apenas o impacto provocado nas vias de acesso do empreendimento como revela a preocupação com as necessidades internas de armazenamento (parada e/ou estacionamento) dos veículos de transporte e de circulação de veículos e pessoas dentro do PGV.



**Figura 2.6:** Metodologia de Portugal e Goldner. Fonte: Silva (2006).

A análise de desempenho deve considerar ainda a qualidade de serviço do tráfego e os efeitos ambientais. Deve, ainda, garantir os interesses da comunidade, preservando sua qualidade de vida.

#### 2.4.6 - Metodologia do DENATRAN

DENATRAN (2001) apresenta uma estrutura geral para a elaboração de estudos de impacto de pólos geradores de viagem calcados em dois planos básicos:



- análise dos impactos sobre as vias de acesso e adjacentes ao empreendimento em função das prováveis ocorrências de congestionamentos e de pontos críticos de circulação e segurança viárias, pela redução ou esgotamento de sua capacidade de tráfego e assimetria entre oferta e demanda de vagas de estacionamento;
- análise do projeto arquitetônico do empreendimento no que diz respeito às características geométricas e de localização dos acessos, vias internas de circulação, raios horizontais e declividades em rampas e acessos, bem como ao dimensionamento, arranjo funcional e suficiência das vagas de estacionamento e de carga e descarga de veículos, entre outros aspectos.

Dessa forma, o roteiro consiste em:

- i. apresentar as informações gerais do empreendimento: nome do empreendimento, localização, responsáveis legais e técnicos pelo projeto;
- ii. realizar a caracterização do empreendimento: características físicas e operacionais do empreendimento, delimitação da área de influência direta e indireta, caracterização atual do uso e ocupação do solo no entorno do empreendimento, memorial descritivo do projeto arquitetônico;
- iii. desempenhar a avaliação prévia dos impactos do pólo gerador de viagem: análise da circulação da área de influência sem o empreendimento, previsão da demanda futura e avaliação de desempenho e identificação dos impactos na circulação na situação com o empreendimento e revisão do empreendimento sob a ótica viária;
- iv. recomendar as medidas mitigadoras e compensatórias capazes de reparar, atenuar, controlar ou eliminar os efeitos indesejáveis sobre a circulação viária.

#### **2.4.7 - Metodologia de Cybis et al (1999)**

Cybis *et al* (1999) apresenta uma metodologia para avaliar o impacto de um complexo formado por diversos estabelecimentos em uma rede viária abrangente e em cenários futuros caracterizados pelo adensamento urbano em bairros periféricos ao empreendimento, localizado na cidade de Porto Alegre – RS.

O estudo desenvolvido para esse empreendimento envolveu a realização das seguintes etapas:

1. Caracterização da área de abrangência do estudo;

2. Caracterização dos padrões atuais de viagens;
3. Geração de viagens;
4. Distribuição das viagens geradas pelo complexo;
5. Prognóstico do crescimento do tráfego;
6. Alocação de viagens à rede viária;
7. Avaliação de cenários compostos pelo adensamento do uso do solo e modificações no sistema viário.

A área de abrangência do estudo consiste na região interna a uma isócrona que delimita em 30 minutos o tempo de acesso ao empreendimento. Posteriormente, subdividiu-se essa área de abrangência em duas partes: uma mais próxima, sujeita a grande influência do PGV, denominada área de influência ou área interna; e outra mais distante denominada área externa ou área de contribuição. A primeira teve um tratamento mais detalhado com relação à segunda, com a representação mais densa da rede viária e maior desagregação do zoneamento.

Utilizando-se os zoneamentos definidos nas pesquisas de origem-destino, subdividiu-se a área de estudo em zonas de tráfego, com uma maior dicretização para a área de influência em função de seu maior detalhamento, enquanto que para a área de contribuição foram definidas de forma agregada grandes zonas de tráfego.

Na sequência, caracterizou-se os padrões atuais de viagens a partir da construção da matriz de viagem pelo modo automóvel. Essa matriz foi elaborada utilizando modelos de maximização de entropia ME2 incluído no modelo de alocação de tráfego da ferramenta computacional SATURN. O ME2 atualiza as matrizes de viagens a partir da configuração da rede e de contagens volumétricas de tráfego.

A etapa de geração de viagens foi realizada utilizando as taxas e modelos de geração de viagens estabelecidos na literatura técnica brasileira e internacional. A distribuição das viagens geradas pelo PGV foi realizada utilizando um modelo gravitacional em que foram consideradas apenas as viagens primárias, ou seja, aquelas em que a parada no empreendimento consiste o principal motivo da viagem.

A quinta etapa foi realizada a partir de dados provenientes de um cenário de adensamento de uso do solo, descrito por Turkienicz (1998 *apud* Cybis *et al.*, 1999) previsto para a área

localizada no entorno do empreendimento, para uma projeção de 10 anos após a implantação completa do empreendimento. No estudo, foram utilizadas duas matrizes futuras, uma para a projeção da matriz de viagens até a data de abertura do empreendimento e outra para dez anos após a sua implantação.

Considerando os objetivos e horizontes temporais do estudo, a alocação de tráfego foi realizada empregando técnicas de modelagem de tráfego recomendadas para estudos em nível estratégico, uma vez que para um horizonte de dez anos não há precisão quanto às características operacionais do sistema viário que possibilitasse uma modelagem a nível tático. Assim, os parâmetros utilizados na análise comparativa dos diversos cenários avaliados são de natureza agregada, tais como o volume e a relação volume/capacidade em cada segmento viário.

Assim, na definição das rotas utilizadas para os deslocamentos na área de estudo utilizou-se o *software* SATURN em que se realizou a caracterização da demanda por viagens utilizando as matrizes de viagens definidas para os cenários sem projeto e com projeto, além do cenário do horizonte futuro.

Além disso, caracterizou-se no SATURN o sistema viário a partir da modelagem das vias da área de estudo com importância estratégica na circulação veicular, selecionando aquelas que carregam volume considerável de veículos, conduzem tráfego de passagem além de apresentarem segmentos viários com altos índices de acessibilidade. Os dados de insumo utilizados para o modelo da rede viária são: velocidade em fluxo livre, velocidade na capacidade, capacidade e comprimento de cada segmento viário. As capacidades dos arcos da rede foram definidas em função do número de faixas na aproximação à jusante e de uma relação entre as hierarquias das vias que compõe a interseção de forma a garantir uma coerência entre as condições operacionais das redes nos diversos cenários. Para o estudo, foram desenvolvidas quatro configurações para o sistema viário, sendo uma para a rede viária atual e as outras três com alterações neste sistema viário original.

Por fim, foram simulados seis cenários no modelo SATURN com as diversas configurações viárias e de demanda, analisando em cada um os resultados gerados para o indicador volume/capacidade (V/C) em cada segmento viário.

A aplicação da metodologia de Cybis *et al* (1999) possibilitou verificar que, para o estudo em questão, os problemas de tráfego tenderão a se intensificar no futuro tanto em trechos próximos como em trechos distantes do empreendimento, de forma que se faz necessário a

adoção de intervenções em pontos localizados fora do entorno imediato ao PGV, algo excluído da abrangência de estudos convencionais de pólos geradores de viagens.

## 2.5 - ÁREA DE INFLUÊNCIA

Pelas metodologias apresentadas no item anterior, percebe-se que um aspecto fundamental a ser abordado no estudo de pólos geradores de viagem consiste na definição da área de influência do empreendimento. Esta etapa torna-se importante, uma vez que possibilita identificar as áreas com possíveis focos de congestionamento, além de permitir o estudo de viabilidade econômica do empreendimento, a partir do planejamento adequado do uso do solo e da determinação das características socioeconômicas da população residente nos diversos locais afetados pelo PGV (PORTUGAL e GOLDNER, 2003).

A área de influência de um empreendimento representa a delimitação física do alcance do atendimento da maior parte de sua demanda (SILVEIRA 1991, *apud* SILVA *et al*, 2007).

Alguns outros conceitos de área de influência podem ser verificados na Tabela 2.3. Ainda que amplamente estudada em função dos *shopping centers*, o conceito de área de influência é perfeitamente aplicável no que concerne outros tipos de PGV.

**Tabela 2.3:** Conceitos de área de influência

Referência	Conceito
<b>Hirschfeldt (<i>apud</i> Carvalho, 1994)</b>	É um fator que permite avaliar o potencial mercadológico da área geográfica onde residem os consumidores do empreendimento.
<b>Mussi <i>et al.</i> (1988)</b>	Espaço geográfico sobre o qual o empreendimento exercerá a atração da população para fazer suas compras ou atender suas necessidades de lazer e serviços.
<b>Marco (1994)</b>	Região geográfica onde o poder de atração é responsável por grande parte das vendas do <i>shopping center</i> . Esse poder de atração é função inversa da distância necessária para alcançar o empreendimento.
<b>Urban Land Institute (1971)</b>	Área em que se obtém a maior proporção de clientela contínua necessária para a manutenção constante do empreendimento.
<b>Chasco Yrigoyen e Uceta (1998)</b>	Área que possui uma forte dependência comercial sobre o local de estudo.
<b>Grando (1986)</b>	Área geográfica no qual o conjunto varejista atrai a maior parte de seus consumidores.

Fontes: CORRÊA (1998) *apud* ANDRADE (2005) e SILVA (2006)

Apesar das definições serem semelhantes, os critérios para a delimitação da área de influência variam de acordo com o autor. De forma geral, a área de influência divide-se em área primária, área secundária e área terciária (PORTUGAL e GOLDNER, 2003), cujos

limites são determinados por fatores como natureza e tamanho do empreendimento, acessibilidade, densidade e características socioeconômicas da população, barreiras físicas, limitações de tempo e distância de viagem, poder de atração e competição do empreendimento, distância do centro da cidade e dos principais concorrentes. A Tabela 2.4 a seguir apresenta os parâmetros considerados em diversos estudos para a definição das subdivisões da área de influência.

**Tabela 2.4:** Parâmetros para a definição de área de influência.

<b>Autores</b>	<b>Área primária</b>	<b>Área secundária</b>	<b>Área terciária</b>	<b>Variáveis utilizadas</b>
<b>CET (1983)</b>	60% das viagens estendem-se a uma distância de até 5 Km 80% das viagens estendem-se a até 8 Km do <i>shopping center</i>			Distância de viagem
<b>Grando (1986)</b>	Atrai 45% das viagens de até 10 min	Atrai 40% das viagens de 10 a 20 min	Atrai 8,3% das viagens de 20 a 30 min	Atratividade, tempo e distância de viagem
<b>Mussi et al. (1988)</b>	Forte polarização comercial numa área distante até 10 min de viagem	Polarização moderada numa área entre 10 a 15 min de viagem	De 15 a 20 min a atração vai se reduzindo sensivelmente até se esvaír	Distância e tempo de viagem, competitividade e barreiras físicas
<b>Silveira (1991)</b>	Atrai 37,7% das viagens de até 10 min	Atrai 24,5% das viagens de 10 a 20 min	Atrai 20,8% das viagens de 20 a 30 min	Atratividade, tempo e distância de viagem
<b>Cox Consultores (1984)</b>	Atrai 45% das viagens	Atrai 40% das viagens	Atrai 8,3% das viagens	Atratividade
<b>Soares (1990)</b>	De 4 a 8 Km; até 10 min de viagem	De 8 a 11 Km; De 10 a 20 min de viagem	Até 24 Km; De 20 a 30 min de viagem	Distância de viagem, tempo de viagem
<b>Goldner (1994)</b>	*Atrai 48,3% das viagens de até 10 min	*Atrai 20,1% das viagens de 10 a 20 min	*Atrai 18,3% das viagens de 20 a 30 min	Atratividade, tempo e distância de viagem
	**Atrai 55,4% das viagens de até 10 min	**Atrai 36,2% das viagens de 10 a 20 min	**Atrai 7,2% das viagens de 20 a 30 min	
<b>Marco (1994)</b>	Área imediata: até 5 min de viagem Área primária: de 5 a 10 min de viagem Área expansão: fora dos limites da área de influência (mais de 10 min de viagem)			Renda familiar, segmento populacional, comércio concorrente
<b>Martins (1996)</b>	***83% das viagens estende-se a até 2 Km ****34% das viagens são de até 1 Km; 17% de 1 a 3 Km; 18% de 3 a 5 Km e 29% de 5 a 17 Km *****25% das viagens são de até 1 Km; 20% de 1 a 3 Km; 16% de 3 a 5 Km e 34% de 5 a 17 Km			Padrão construtivo do pólo e do bairro de origem do usuário e distância de viagem

Legenda:

Fonte: Portugal e Goldner (2003)

\* *shopping center* fora da área urbana (periférico)

\*\* *shopping center* dentro da área urbana (central);

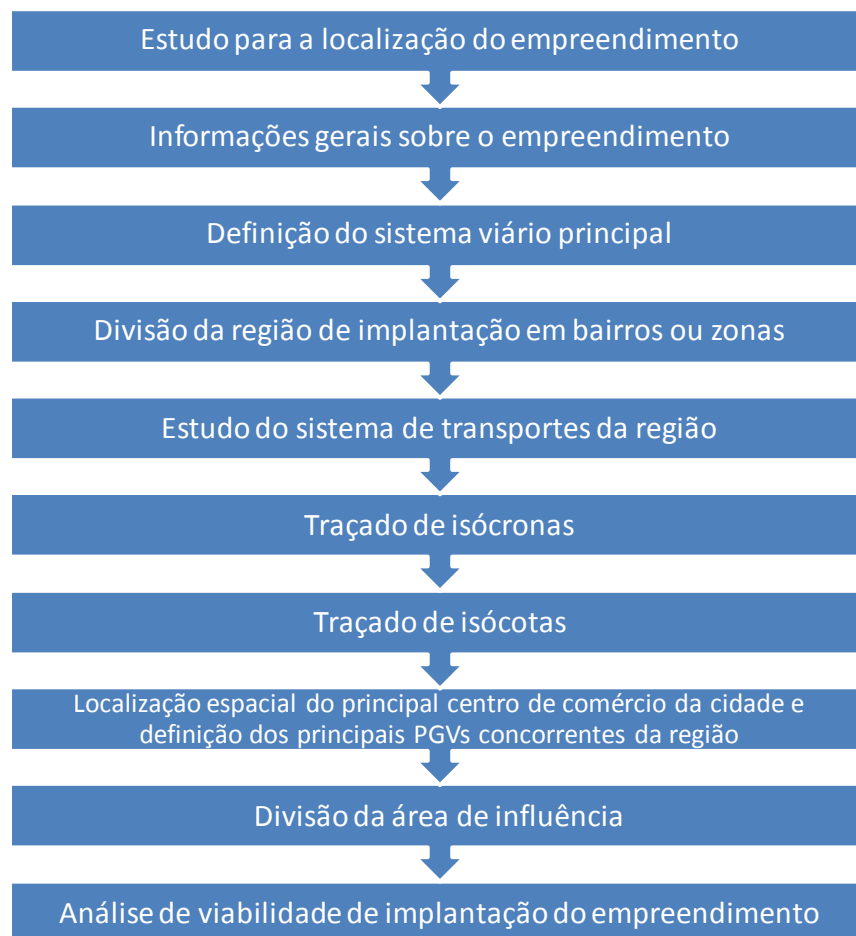
\*\*\* *shopping center* com torre de escritórios em bairro residencial nobre;

\*\*\*\* *shopping center* com torre de escritórios em centro de comércio e serviços;

\*\*\*\*\* *shopping center* com centro de comércio e serviços.

A delimitação da área de influência baseia-se no traçado de isócronas e isócotas. As isócronas são linhas de tempos iguais, traçadas de 5 em 5 minutos e as isócotas são linhas de distâncias iguais, marcadas de 1 em 1 quilômetro. Usualmente, as isócronas são traçadas até a marca de 30 minutos enquanto as isócotas podem atingir a marca de 8 km, de acordo com o tipo de empreendimento.

No contexto do traçado da área de influência, PORTUGAL e GOLDNER (2003) apresentam a metodologia desenvolvida por CORREA (1998), cuja estrutura metodológica é apresentada na Figura 2.7 abaixo.



**Figura 2.7:** Metodologia para a análise da área de influência (Correa, 1998).  
Fonte (Portugal e Goldner, 2003, adaptado)

A metodologia consiste em, inicialmente, localizar o empreendimento em um mapa em escala adequada e obter as informações que caracterizam o empreendimento (área bruta locável, área total construída, área do terreno, número de vagas de estacionamento, áreas de circulação de pedestres, local de carga e descarga de mercadorias, etc.). Em seguida, deve-se identificar as principais rotas de acesso ao empreendimento e as zonas ou bairros

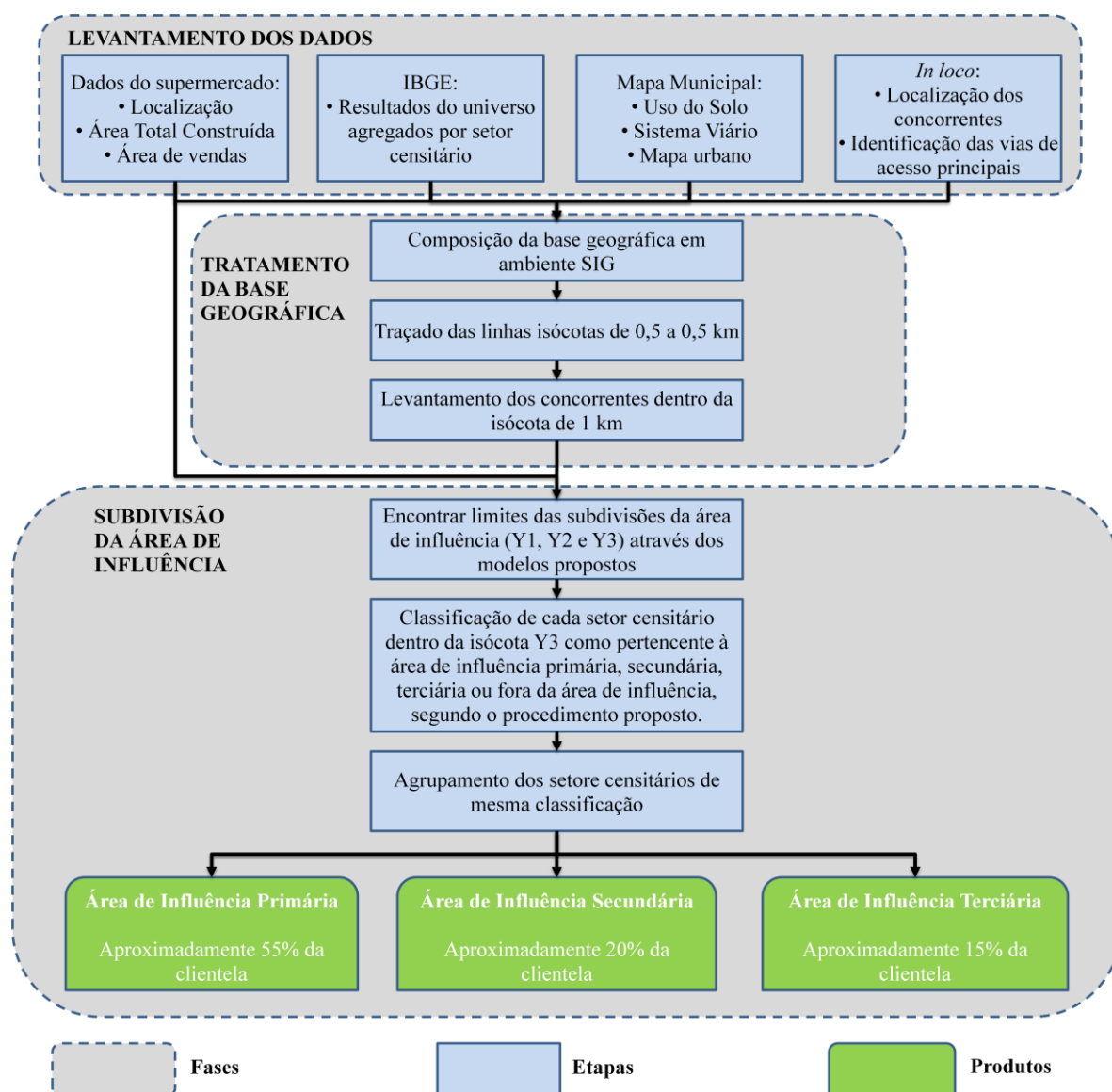
da envoltória do empreendimento. Além disso, deve-se realizar um estudo do sistema de transporte da região, identificando o sistema de transporte coletivo da região (ônibus, metrô, barca, trem), pontos de embarque e desembarque e locais de estacionamento público ao redor do PGV.

Em seguida traçam-se as isócronas de 5 em 5 minutos, até o tempo de 30 minutos, a partir das viagens realizadas por automóvel, em horário de fluxo normal, dentro dos limites de velocidade da via. Também se traçam as isócotas em linhas concêntricas a partir do empreendimento na escala de proporção de 1 em 1 quilômetro, até atingir a linha da isócrona de 30 minutos.

A próxima etapa consiste na identificação dos principais pólos geradores existentes nas zonas próximas da do empreendimento em estudo e na divisão da área de influência em suas áreas de influência: primária, em que o usuário atinge o empreendimento em um tempo que varia de 5 a 10 minutos, secundária, para o período de 10 a 20 minutos, e terciária, para o período entre 20 e 30 minutos.

Por fim, faz-se sugestões quanto a distribuição dos setores inerentes ao empreendimento e procede-se com a análise de viabilidade do empreendimento a partir do estudo de tráfego da região, analisando a viabilidade em termos de circulação, acessos e estacionamento.

A metodologia de CORREA (1998) foi desenvolvida para *shopping centers*. Contudo, pode ser aplicada a outros tipos de PGV, fazendo os devidos ajustes. SILVA (2005) apresenta uma outra metodologia para a análise da área de influência para supermercados, conforme ilustra a Figura 2.8.



**Figura 2.8:** Metodologia para delimitação da área de influência de supermercado  
(Fonte: SILVA, 2006, adaptado)

Essa metodologia está calcada em três fases. A primeira fase consiste no levantamento dos dados que subsidiará o restante do processo, obtendo-se os dados referentes à caracterização do empreendimento, os dados censitários e geográficos do município e as informações levantadas *in loco* quanto ao entorno do pólo.

Na fase seguinte, desempenha-se o tratamento da base geográfica, compondo-se o sistema de informações geográficas a ser analisado utilizando um sistema de informação georreferenciada – SIG. Em seguida, traçam-se as isócoras a partir de linhas concêntricas ao local do empreendimento, traçadas de 500 em 500 metros até a distância de 6,5 km,



além de proceder com o levantamento do número de concorrentes que se localizam dentro da isógota de 1 km. Essa informação será importante na determinação dos limites das subdivisões da área de influência.

Na terceira fase, realiza-se a subdivisão da área de influência a partir dos modelos que determinam as dimensões máximas das isógotas que limitam as áreas de influência primária (Y1), secundária (Y2) e terciária (Y3). Na sequência, faz-se a classificação dos setores censitários como pertencentes às áreas de influência, a partir da aplicação de um questionário e realiza-se o agrupamento desses setores, definindo as áreas de influência primária, secundária e terciária.

A metodologia, ainda que concebida para análise de supermercados, pode ser adotada para outros contextos, desde que a área construída do PGV estudado se enquadre dentro dos limites estabelecidos da amostra utilizada, entre 2.400 e 15.173 m<sup>2</sup> (SILVA, 2006).

## **2.6 - VIAGENS GERADAS PELOS PÓLOS GERADORES DE VIAGENS**

O impacto causado por um empreendimento nas vias de seu entorno deriva substancialmente em função do número de viagens geradas ou atraídas por ele. Nesse sentido é essencial para a análise de um PGV conceituar essas viagens, além de estimá-las em razão do uso ao qual o pólo se destina.

A previsão da demanda gerada pelo PGV é fundamental para estabelecer a sua viabilidade financeira, além de dimensionar suas instalações e definir as necessidades de espaço viário e serviço de transporte, indispensáveis para os deslocamento e viagens adicionais para o local (Portugal e Goldner, 2003).

A estimativa dessa geração de viagens está calcada em diversos fatores, conforme apresentado na Figura 2.9 a seguir.



**Figura 2.9:** Fatores relevantes à geração de viagens por PGV. Fonte: (adaptado de Portugal e Goldner, 2003)

Esses fatores serão detalhados nas seções a seguir apresentadas.

### 2.6.1 - Modelos de Geração

A estimativa de geração de viagens pode ser definida com base nas condições vigentes do tráfego ou através de previsão, a partir do dia e horário de projeto, utilizando-se, entre outros métodos, as taxas de geração de viagens (REDPGV, 2005).

Para o ITE (1994 *apud* Portugal e Goldner, 2003), a previsão de viagens pode ser realizada a partir da comparação das taxas de geração de viagem com a de outros empreendimentos com características semelhantes, ou da obtenção das taxas sugeridas pela publicação *Trip Generation* (ITE, 2008).

A REDPGV (2005) complementa essa análise, a partir de outras etapas que podem ser consideradas na geração de viagens. A decisão final será função do uso do solo projetado e da sua complexidade, de acordo com o conhecimento e experiência da equipe técnica. Dessa forma, a estimativa de viagens pode ser realizada das seguintes formas:

- Levantar as taxas de geração de viagens locais disponíveis, isto é, viagens de veículos por PGV por dia (útil e de final de semana), por horário de pico da manhã e da tarde, do empreendimento e proporção de entradas e saídas para o local.
- Desenvolver uma taxa geração de viagens se as taxas locais não estão disponíveis ou se as disponíveis não são compatíveis com as especificidades, pesquisando o local projetado para o horário de pico (tráfego e PGV) e o volume diário de tráfego num dia útil e de final de semana em uma semana típica.
- Selecionar a taxa de geração de viagens mais apropriada e aplicar para as unidades propostas para encontrar a quantidade de viagens a ser gerada pelo empreendimento.

Esse processo de previsão de viagens tem sido realizado por estudos cada vez mais específicos sobre PGVs para a obtenção de resultados mais precisos nas taxas e modelos de geração de viagens. Quanto mais exatos e compatíveis com a realidade de um determinado uso do solo forem os modelos e as taxas de geração de viagens, mais realista será a estimativa dos impactos e mais satisfatório será o tratamento do mesmo (REDEPGV, 2005).

Os diversos modelos e taxas existentes foram obtidos para as situações locais estudadas, de forma que sempre que possível, devem ser ajustados para refletir as condições locais (Portugal e Goldner, 2003)

Os modelos de geração de viagens existentes baseiam-se em equações de regressão que procuram explicar o fenômeno de geração de viagens a partir de variáveis explicativas independentes para cada tipo de empreendimento.

O ITE (2008) desenvolveu, a partir de pesquisas e estudos de pólos geradores, diversas taxas e modelos de geração de viagens para diversos tipos de uso e ocupação do solo. A Tabela 2.5 a seguir apresenta algumas desses modelos bem como a variável que procura explicar o fenômeno. Além dos dados mostrados na Tabela 2.5, o ITE define a proporção das viagens geradas que são atraídas e produzidas para cada uso de solo nas diferentes unidades de tempo.

**Tabela 2.5a - Modelos de geração de viagem ITE (2008)**

<b>Categoria</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Variável explicativa (X)</b>	<b>Taxa média de viagens geradas por unidade de tempo</b>	<b>Equação</b>
Terminal	Porto/Marina	Nº de berços	171,52/dia útil da semana	298,556X-417,398
		Nº de acres	11,93/dia útil da semana	18,005X-287,056
	Aeroporto Comercial	Nº de empregados	13,40 /dia útil da semana	-
		Nº médio de vôos/dia útil	104,73/dia útil da semana	-
	De caminhão	Nº de empregados	0,66/hora do pico da manhã	-
		Nº de acres	81,90/dia útil da semana	-
	Estacionamento periférico com serviço de ônibus	Nº de vagas	4,50/dia útil da semana	4,037X + 117,327
		Nº de acres	372,32/dia útil da semana	-
Indústria	Leve	Nº de empregados	0,51/ hora do pico da tarde	0,358X+68,814
		1.000 ft <sup>2</sup> área bruta construída	1,08/ hora do pico da tarde	1,422X-125,200
	Pesada	Nº de empregados	0,88/ hora do pico do tráfego	-
		1.000 ft <sup>2</sup> área bruta construída	0,68 / hora do pico da tarde	-
	Manufatureira	Nº de empregados	0,40/ hora do pico da tarde	0,822LnX + 0,309
		1.000 ft <sup>2</sup> área bruta construída	0,78/ hora do pico da manhã	0,829X – 17,713
Residencial	Unifamiliar	Nº de unidades domiciliares	1,02/hora de pico da tarde	0,887 LnX + 0,605
		Nº de pessoas	0,28/hora de pico do tráfego	0,856 LnX – 0,358
	Apartamento	Nº de unidades domiciliares	0,67/hora de pico da tarde	0,599 X + 16,500
		Nº de pessoas	0,40/hora de pico da tarde	0,392X+3,845
	Pequenas edificações (uma a dois andares)	Nº de unidades domiciliares	0,62/hora de pico da tarde	0,857 LnX+0,339
		Nº de pessoas	0,28/hora de pico da manhã	0,247X+13,864
	Grandes edificações (mais que 10 andares e um ou mais elevadores)	Nº de unidades domiciliares	0,40/hora de pico da tarde	0,345X+20,107
		Nº de pessoas	0,22/hora de pico da manhã	-
	Edificações médias (entre 3 e 10 andares)	Nº de unidades domiciliares	0,44/hora de pico da tarde	0,534X-11,267
	Casas recreacionais	Nº de unidades domiciliares	0,31/hora de pico da tarde	0,261X+14,874

**Tabela 2.5b - Modelos de geração de viagem ITE (2008) (continuação)**

<b>Categoria</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>Variável explicativa (X)</b>	<b>Taxa média de viagens geradas por unidade de tempo</b>	<b>Equação</b>
Alojamento	Hotel	Nº de quartos ocupados	0,87/hora de pico do sábado	-
		Nº de quartos ocupados	0,71/hora de pico do tráfego dia útil	$1,150\text{Ln}X - 1,255$
		Nº de empregados	1,10/hora de pico de sábado	$0,690X + 55,734$
	Motel	Nº de empregados	1,24/hora de pico da tarde	$0,552\text{Ln}X + 2,320$
Institucional	Colégios	Nº de estudantes	0,11 – 0,71/hora de pico da manhã 0,14-1,29/hora do pico do tráfego	-
	Universidade	Nº de estudantes	0,24/hora de pico da tarde	$0,195X + 100,481$

As taxas e modelos apresentados por ITE (2008) baseiam-se em estudos desenvolvidos para a realidade norte-americana. A aplicação destes modelos deve, portanto, ser cuidadosamente analisada para situações díspares da que foi estudada, devendo ser realizadas as adaptações necessárias para a realidade a ser estudada.

Para o caso brasileiro o DENATRAN (2001) apresenta outros modelos de geração de viagens, baseados nos estudos desempenhados por CET-SP (1983), conforme apresentados na Tabela 2.6.

**Tabela 2.6a: Modelos de geração de viagem (DENATRAN, 2001)**

<b>Pólo Gerador</b>	<b>Equação</b>	<b>Variável Dependente</b>	<b>Variável Independente</b>
Escola	$V = 22,066 \text{ NS} + 102,186$ $V = 0,432 \text{ NA} - 106,303$ $V = 0,343 \text{ AS} + 434,251$	V = número médio de viagens atraídas na hora de pico	NS = número de salas de aula NA = número de alunos AS = área total de salas (m <sup>2</sup> )
Hospital	$V = 0,483 \text{ NF} + 36,269$ $V = 0,023 \text{ AC} + 28,834$ $V = 36,065 (1,5)\text{NL} \times 10^{-2} + 141,793$	V = número médio de viagens atraídas na hora de pico	NF = número total de funcionários AC = área construída (m <sup>2</sup> ) NL = número de leitos
Indústria	$V = 0,545 \text{ NF} - 12,178$ $V = 0,031 \text{ AC} - 23,653$ $V = 0,021 \text{ AT} - 4,135$	V = número médio de viagens atraídas na hora de pico	NF = número total de funcionários AC = área construída (m <sup>2</sup> ) AT = área total do terreno (m <sup>2</sup> )

**Tabela 2.6b:** Modelos de geração de viagem (DENATRAN, 2001) (continuação)

Pólo gerador	Equação	Variável Dependente	Variável Independente
Loja de Departamento Especializada	$V = 10,76 \text{ NFC} - 257,42$ $V = 4,71 \text{ NF} + 49,42$ $V = 1,79 \text{ NFC} - 18,85$	V = número médio de viagens atraídas na hora de pico	NFC = número de funcionários da área comercial NF = número total de funcionários
Prédio de Escritórios	$V = 257,5 + 0,0387 \text{ ACp}$ $V = \text{ACp} / 16$ $V = \text{ACp} / 22$	V = número médio de viagens atraídas por dia (apenas para “população” fixa)	ACp = área construída computável (= ACtotal – AC de garagem – área de ático e de caixas d’água)
Shopping center	$\text{VA}_6 = 0,28 \text{ ACp} - 1366,12$ $\text{VA}_7 = 0,33 \text{ ACp} - 2347,55$ $\text{VA}_6 = 433,1448 + 0,2597 \text{ ABL}$ $\text{VA}_7 = 2057,3977 + 0,308 \text{ ABL}$ $\text{VA}_7 = 1732,7276 + 0,3054 \text{ ABL}$ $\text{VA}_7 = -2066 + 0,3969 \text{ ABL}$	$\text{VA}_6$ = número médio de viagens por automóvel atraídas na sexta-feira $\text{VA}_7$ = número médio de viagens por automóvel atraídas no sábado Obs.: em geral $\text{VA}_6 / \text{VA}_7 = 0,74$	ACp = área construída computável (= AC total – AC de garagem – área de ático e de caixas d’água)  ABL = área bruta locável
Supermercados	$V = (0,4 \text{ ACo} + 600) \text{ Ph}$ $\text{VA}_6 = 16,53 / 100 \text{ m}^2 \text{ de AC}$ $\text{VA}_6 = 54,68 / 100 \text{ m}^2 \text{ de AV}$	V = número médio de viagens atraídas na hora de pico $\text{VA}_6$ = número médio de viagens por automóvel atraídas na sexta-feira	ACo = área comercial (m <sup>2</sup> ) Ph = percentual do volume diário correspondente à hora de pico AC = área total construída (m <sup>2</sup> ) AV = área de vendas (m <sup>2</sup> )

### 2.6.2 - Dimensão Temporal

Outro fator relacionado com a geração de viagens em PGV consiste na sua caracterização temporal, ou seja, no comportamento da demanda ao longo do dia ou ao longo dos anos.

Nesse sentido, Portugal e Goldner (2003) estabelecem dois pontos a serem definidos: os horizontes de referência para o estudo dos impactos e na previsão da demanda, e o intervalo de tempo que represente a demanda típica de viagens que ocorre ao longo do ano para fins de projeto.

Com relação aos horizontes de estudo, estes devem ser estabelecidos em função da vida útil, do porte e da natureza do empreendimento, uma vez que os impactos ocorrem não apenas no momento da entrada em operação do empreendimento, como também ao longo dos anos. A

Tabela 2.7 apresenta as sugestões de horizontes de estudos realizadas pelo ITE (1987 *apud* Portugal e Goldner, 2003).

**Tabela 2.7:** Horizontes de Estudo sugeridos pelo ITE

<b>Tipo de empreendimento</b>	<b>Horizonte sugerido</b>
Empreendimento de pequeno porte (menos de 500 viagens na hora de pico)	Ano de abertura antecipada, assumindo construção e ocupação completas do empreendimento
Empreendimento de porte moderado (mais de 500 viagens na hora de pico)	Ano de abertura antecipada, assumindo construção e ocupação completas do empreendimento
	Cinco anos após a data de abertura ao público
Empreendimento de grande porte (mais de 1.000 viagens na hora de pico)	Ano de abertura antecipada, assumindo construção e ocupação completas do empreendimento
	Cinco anos após a data de abertura ao público
	Mesmo ano de horizonte do plano de transporte, se o empreendimento for significativamente maior do que o considerado no plano ou nas previsões de viagem para a área
Empreendimento de porte moderado ou grande de múltiplos usos	Ano de abertura antecipada para cada fase importante de implementação, assumindo a construção e ocupação completas em cada uma das fases
	Ano antecipado da construção e ocupação completas
	Cinco anos após a data de abertura e se até lá não existir nenhum aumento de geração de viagem significativo das previsões de transporte da área ou no plano adotado
	Mesmo ano de horizonte do plano de transporte, se o empreendimento for significativamente maior do que o considerado no plano ou nas previsões de viagem para a área

Fonte: ITE, 1987 *apud* Portugal e Goldner, 2003

Já em relação à definição do intervalo típico para análise, este está geralmente ligado com a hora de pico das viagens relacionadas ao empreendimento e ao sistema de transporte da área de influência, sendo determinado por meio de pesquisas de contagem de tráfego (Portugal e Goldner, 2003). A Tabela 2.8 a seguir apresenta alguns horários de pico para diversos usos do solo tipicamente utilizados na análise de PGV, bem como os dias da semana em que eles normalmente ocorrem.

**Tabela 2.8:** Horários de pico típicos

Uso do Solo	Horas de pico típicas
Residencial	7h às 9h – dias da semana 16h às 18h – dias da semana
<i>Shopping Center</i>	17h às 18h – dias da semana 12h30 às 13h30 – sábados 14h30 às 15h30 - sábados
Escritório	7h às 9h – dias da semana 16h às 18h – dias da semana
Industrial	Varia com a escala dos empregados
Recreativo	Varia com o tipo de atividade

Fonte: Portugal e Goldner, 2003

### 2.6.3 - Categorias de Viagens

As viagens podem ser caracterizadas de três formas: viagens existentes, desviadas e geradas, estas subdivididas ainda em induzidas, transferidas e ajustadas (Portugal e Goldner, 2003).

As viagens desviadas são caracterizadas por ocorrerem independentemente da implementação de novas vias ou empreendimentos, mas envolvem desvios de itinerário em relação às rotas originais. As viagens induzidas só ocorrem em função de alterações nas vias e no uso do solo, enquanto que as transferidas resultam de mudanças de modos de transporte e as ajustadas de alterações nos destinos das viagens (Portugal e Goldner, 2003).

O ITE (2001, *apud* Portugal e Goldner, 2003) classifica as viagens em duas categorias: as viagens de passagem e as que não são de passagens, subdivididas em viagens primárias e viagens desviadas.

As viagens de passagem são feitas ao empreendimento como paradas intermediárias no caminho entre a origem e o destino principal da viagem sem desvio de rota.

As viagens primárias possuem o propósito específico de acessar o empreendimento e as viagens desviadas são aquelas atraídas do volume de tráfego de vias do entorno do pólo, mas que exigem um desvio para a outra via com a intenção de chegar ao local.

A classificação das viagens geradas em categorias mostra mais claramente o verdadeiro impacto gerado pelo PGV, uma vez que quando se for avaliar o impacto no sistema viário, não se deve acrescentar o percentual relativo às viagens não desviadas ao fluxo existente (Andrade, 2005).



#### **2.6.4 - Distribuição de Viagens**

Após a estimativa das viagens geradas, elas devem ser distribuídas espacialmente e alocadas na rede de transportes buscando, dessa forma, estabelecer os seus destinos ou origens (Portugal e Goldner, 2003).

Verifica-se que, em áreas urbanas, o processo de distribuição de viagens é algo complexo que requer uma análise cuidadosa, cujo propósito é identificar os fatores determinantes neste processo, adotar a demanda e fornecer as variáveis que possam prever a maneira pela qual as viagens são distribuídas das origens para os destinos (Kanafani, 1983).

A REDPGV (2005) sugere alguns procedimentos que podem ser adotados para a realização da distribuição de viagens:

- distribuição de viagens baseada em estudos prévios, isto é, a percentagem de viagens locais geradas, usando cada corredor de aproximação, como documentado em estudos prévios para os locais próximos;
- julgamento pela experiência e conhecimento das condições locais;
- análise do código postal para um representativo uso do solo;
- resultados do modelo com relação ao padrão de viagens na área de estudo mais abrangente, incluindo tabelas de viagens por propósito de viagens;
- modelo gravitacional, conforme descrição da referência do TRB.

Segundo Beimborn (2006), o procedimento mais comum para a distribuição de viagens é o definido pelo modelo gravitacional, que obtém as viagens produzidas em uma determinada área e as distribui para as demais áreas de forma proporcional ao potencial atrativo das mesmas e de forma inversamente proporcional às suas distâncias. Assim, uma zona com um número maior de viagens atraídas receberá uma distribuição maior de viagens, enquanto que o número de viagens distribuídas decresce com o aumento da distância à zona de destino.

#### **2.6.5 - Divisão Modal**

Outro aspecto relevante no processo de geração de viagens consiste na determinação dos meios de transporte a serem utilizados pela demanda gerada pelo empreendimento no intuito de percorrer as rotas estabelecidas a partir da distribuição das viagens.

Para Andrade (2005), a distribuição modal das viagens produzidas/atraídas por um empreendimento traz como resultado a porcentagem das viagens distribuídas nos diversos meios de transporte, incluindo os não motorizados, como bicicleta e a pé, que servem o local de estudo.

Um dos índices mais analisados nesta etapa é a relação entre o carro particular e os vários transportes públicos alternativos. A percentagem de escolha modal é usada para reduzir o número de viagens por automóvel geradas pelo projeto (REDPGV, 2005).

Goldner (1994, *apud* Tolfo, 2006), apresentou uma distribuição da escolha modal das viagens, utilizando como base os *shopping centers* brasileiros da seguinte forma, em média: 52,3% por automóvel, 37% por ônibus, 7,4% a pé e 3,6% por outros modais. Entretanto, pesquisas devem ser feitas no sentido de melhor expressar as especificidades locais no processo de escolha modal.

## **2.7 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO**

- A literatura consultada apresenta diversas nomenclaturas para denominar os Pólos Geradores de Viagem. Neste trabalho, optou-se por utilizar essa denominação uma vez que o termo é mais abrangente, envolvendo o tráfego automotor e o tráfego não motorizado, além dos impactos na acessibilidade, circulação e no sistema viário.
- Verificou-se que no processo de análise de PGV, é essencial determinar o impacto causado pelo empreendimento a partir do tipo de ocupação a que ele se destina, definindo sua área de influência e desempenhando de forma criteriosa as etapas de análise da produção de viagens.
- Os modelos de regressão utilizados no processo de quantificação das viagens geradas pelos Pólos Geradores de Viagem baseiam-se, em sua grande maioria, em estudos internacionais. Apesar de sua grande valia, nem sempre esses modelos representam a realidade local de implantação do empreendimento. Dessa forma, sempre que possível, deve-se utilizar modelos desenvolvidos para situações similares ou, realizar a crítica necessária com a finalidade de realizar as devidas adaptações aos modelos propostos.

- Percebe-se na análise de PGVs uma série de evoluções metodológicas quanto ao assunto. Porém, são poucas as que apresentam um procedimento para análise do impacto desses empreendimentos a partir de técnicas apuradas de simulação, foco deste trabalho. Cabe, portanto, aprofundar essa análise a fim de verificar os pontos relevantes à análise de PGV por meio de ferramentas de simulação.

### 3 - FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE TRÁFEGO

A busca por soluções para resolver os problemas encontrados nas cidades brasileiras referentes à circulação, que envolve o deslocamento de pessoas e mercadorias, passa necessariamente por uma melhoria no processo de planejamento urbano. Uma análise mais criteriosa e aprofundada das questões que envolvem a implantação de um Pólo Gerador de Viagens também se encaixa nessa ação, visando o aperfeiçoamento das metodologias de análise não apenas em um plano local como também em um plano maior, abrangendo uma determinada zona ou toda a cidade.

Nesse sentido, o desenvolvimento de modelos matemáticos em conjunto com ferramentas de simulação auxilia a tomada de decisões no processo de planejamento urbano. Assim, uma gama vasta de ferramentas de análise de tráfego vem sendo largamente difundida para auxiliar os técnicos da área de transporte.

Segundo FHWA (2004a), as ferramentas de análise de tráfego são pacotes de *softwares*, metodologias e procedimentos utilizados tipicamente para realizar as seguintes tarefas:

- avaliar, simular ou otimizar a operação de facilidades e sistemas de transporte;
- modelar operações existentes e prever prováveis resultados para propostas de alternativas de projeto;
- avaliar vários contextos analíticos, incluindo planejamento, desenho geométrico, operação e implantação de projetos.

As funções dessas ferramentas são:

- melhorar o processo de tomada de decisão;
- avaliar e priorizar alternativas de planejamento e operação;
- melhorar projetos e avaliar tempos e custos;
- reduzir distúrbios no tráfego;
- apresentar e convencer o público ou partes interessadas a respeito das estratégias adotadas;
- operar e gerenciar as capacidades das vias existentes;
- monitorar a performance.

### 3.1 - TIPOS DE FERRAMENTAS

FHWA (2004b) classifica as ferramentas de análise de tráfego em diversas categorias. São elas: (i) ferramentas preliminares de planejamento, (ii) modelos de demanda de viagens, (iii) ferramentas analíticas/determinísticas (baseado no HCM), (iv) ferramentas de otimização de tempos semaforicos, (v) modelo de simulação macroscópico, (vi) modelo de simulação microscópico, (vii) modelo de simulação mesoscópico.

As ferramentas preliminares de planejamento fornecem uma estimativa geral da ordem de grandeza da demanda de viagens e operação de tráfego em função das melhorias efetuadas na área de transporte. Direciona-se a análise de projetos específicos, ou de alternativas de projetos, sem conduzir uma avaliação aprofundada de engenharia, com o objetivo primário de preparar orçamentos e propostas preliminares. Esse modelo analítico não substitui as análises de engenharia mais detalhadas necessárias no processo de implantação de projetos. Sua abordagem é a mais simples e a de menor custo dentre as técnicas de análise de tráfego existentes. Apesar de desempenhar parte ou todas as funções de outros tipos de ferramentas de análise, essas técnicas são limitadas quanto ao seu escopo, robustez analítica e capacidade de apresentação, uma vez que utilizam técnicas simplificadas de análise e dados altamente agregados.

Os modelos de demanda de viagens são modelos matemáticos que fazem a previsão da demanda futura baseada nas condições atuais e nas projeções futuras de habitação e emprego. A utilização dessas ferramentas possibilita considerar diversos tipos de modos de transporte, variados destinos, períodos do dia e rotas, possibilitando a representação do tráfego em uma rede viária. Originalmente foram desenvolvidos para determinar os benefícios e impactos quanto à melhoria das principais vias em área urbana. Não foram desenvolvidos para avaliar estratégias operacionais e de gerenciamento de viagens. São capazes apenas de estimar as alterações nas características operacionais (como velocidade, atrasos, e filas) decorrentes da implantação dessas estratégias. Isso decorre da fraca representação da natureza dinâmica do tráfego nesses tipos de modelo.

As ferramentas analíticas/determinísticas são ferramentas que, baseadas nos procedimentos contidos no *Highway Capacity Manual* – HCM, determinam de maneira rápida as capacidades, densidades, velocidades, atrasos, e filas em uma variedade de facilidades de transporte. São modelos validados por dados de campo, testes laboratoriais e experimentos em pequena escala, com boa utilidade para avaliar o desempenho de locais isolados ou de

pequenas áreas. Contudo, são limitados quanto à análise de redes ou de efeitos em sistemas maiores.

As ferramentas para otimização de tempos semaforicos são essencialmente desenvolvidas para obter os ciclos ótimos e os planos semaforicos para interseções isoladas, vias arteriais e redes semaforicas. Incluem cálculos de capacidade, comprimento de ciclo, otimização de fases e coordenação de planos e defasagens.

De acordo com SILVA (2007), os modelos de simulação macroscópicos constituem uma abordagem que se preocupa em descrever o comportamento das correntes de tráfego, baseados nas suas relações determinísticas de fluxo, velocidade e densidade do tráfego. Considera a corrente de tráfego como um meio contínuo, de forma análoga às leis da hidrodinâmica. Permite ao engenheiro projetista uma melhor compreensão das limitações de capacidade dos sistemas viários e a avaliação de consequências de ocorrências que provoquem pontos de estrangulamento nos mesmos. Possuem menor demanda computacional do que os modelos microscópicos, porém não são capazes de analisar as melhorias de transporte tão detalhadamente quanto aqueles modelos (FHWA, 2004b).

Os modelos microscópicos simulam o movimento de veículos individuais baseados nas teorias de *car-following* e de mudança de faixa e procuram descrever o comportamento do elemento veículo-motorista como resposta a um estímulo recebido (FHWA, 2004b; SILVA, 2007). É uma abordagem que possui um elevado nível de detalhamento e permite o estudo de fluxos não necessariamente homogêneos ou ininterruptos (SILVA, 2007). Fundamentalmente, os veículos adentram uma rede de transporte a partir de uma distribuição estatística de chegadas (processo estocástico) e são guiados por ela em pequenos intervalos de tempo. Ao entrarem na rede, a cada elemento é atribuído um destino, um tipo de veículo e um tipo de motorista. Os tempos de simulação e os tamanhos dos arquivos gerados por esses modelos são grandes, o que geralmente limita o tamanho da rede e o número de rodadas que podem ser completadas.

Os modelos de simulação mesoscópicos combinam as propriedades tanto dos modelos de simulação macroscópicos quanto dos microscópicos. Constituem uma abordagem cujas unidades analisadas são agrupamento de veículos que se formam nos sistemas viários (pelotões) (SILVA, 2007). Ocorrem em nível agregado e não consideram as relações dinâmicas de volume/velocidade. Dessa forma, possuem menor fidelidade do que as ferramentas de microssimulação, mas são superiores às técnicas usuais de análise de

planejamento. A análise dos pelotões é útil, por exemplo, no estabelecimento de políticas de coordenação semafórica.

A Tabela 3.1 a seguir apresenta um resumo das especificidades de cada ferramenta de análise de tráfego.

**Tabela 3.1a:** Ferramentas para análise de tráfego

<b>Categoria</b>	<b>Função</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Limitações</b>
<b>Ferramentas Preliminares de Planejamento</b>	Fornecer uma estimativa geral da ordem de grandeza da demanda de viagens e operação do tráfego em função das melhorias efetuadas na área de transporte.	Abordagem simples e de menor custo.	Técnicas limitadas quanto ao seu escopo, robustez analítica e capacidade de apresentação.  Técnicas simplificadas de análise e dados altamente agregados.
<b>Modelos de Demanda de Viagens</b>	Realizar a previsão da demanda futura a partir das condições atuais e nas projeções futuras de habitação e emprego.  Determinar os benefícios e impactos decorrentes de melhoria de vias	Consideram diversos modos, destinos e rotas.  Possibilitam a representação do tráfego em uma rede viária.	Não avaliam estratégias operacionais e de gerenciamento de viagens.  Fracamente representação da natureza dinâmica do tráfego
<b>Ferramentas analíticas/determinísticas (baseadas no HCM)</b>	Determinar as capacidades, densidades, velocidades, atrasos, e filas em uma variedade de facilidades de transporte.	Ótimo para avaliar o desempenho de locais isolados ou de pequenas áreas	Análise de redes ou de efeitos em sistemas maiores
<b>Ferramentas para otimização de tempos semafóricos</b>	Obter os ciclos ótimos e os planos semafóricos para interseções isoladas, vias arteriais e redes semafóricas.	Incluem cálculos de capacidade, comprimento de ciclo, otimização de fases e coordenação de planos e defasagens	Aplicabilidade bastante reduzida

**Tabela 3.1b:** Ferramentas para análise de tráfego (continuação).

<b>Categoria</b>	<b>Função</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Limitações</b>
<b>Modelos de Simulação Macroscópicos</b>	Descrever o comportamento das correntes de tráfego, baseados nas suas relações determinísticas do fluxo, velocidade e densidade do tráfego.	<p>Permitem uma melhor compreensão das limitações de capacidade dos sistemas viários</p> <p>Permitem a avaliação de consequências de ocorrências que provoquem pontos de estrangulamento nos sistemas viários.</p> <p>Possuem pequena demanda computacional.</p>	Não são capazes de analisar as melhorias de transporte tão detalhadamente quanto outros modelos de simulação
<b>Modelos Microscópicos</b>	Descrever o comportamento do elemento veículo-motorista como resposta a um estímulo recebido baseados nas teorias de <i>car-following</i> e de mudança de faixa	<p>Possuem elevado nível de detalhamento.</p> <p>Permitem o estudo de fluxos não homogêneos ou ininterruptos</p>	<p>Tempos de simulação elevados</p> <p>Arquivos de tamanhos grandes</p> <p>Limites de tamanho da rede e do número de rodadas.</p>
<b>Modelos Mesoscópicos</b>	Analisar os agrupamentos de veículos que se formam nos sistemas viários (pelotões)	<p>Combinam as propriedades dos modelos macroscópicos e microscópicos.</p> <p>São úteis no estabelecimento de políticas de coordenação semafórica.</p>	<p>Ocorrem em nível agregado e não consideram as relações dinâmicas de volume/velocidade.</p> <p>Possuem menor fidelidade do que as ferramentas de microssimulação.</p>

Esforços recentes, como os trabalhos de ARCHER, J. E KOSONEN, I. (2000) e NI, D. (2003) procuram estabelecer uma desagregação ainda maior do elemento fundamental da



análise relativas ao binômio motorista-veículo, tratando-os como objetos independentes de análise que se relacionam entre si. São os chamados modelos de simulação nanoscópicos.

### **3.2 - METODOLOGIA PARA A SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE TRÁFEGO**

Como pode ser observado, há diversas técnicas e procedimentos que podem ser adotados para analisar determinada situação envolvendo questões de transporte e tráfego. É, pois, fundamental saber definir a ferramenta mais adequada para desempenhar a análise pretendida de forma completa e consistente, a fim de evitar retrabalhos desnecessários e o conseqüente aumento do custo e do tempo do estudo ou projeto.

Dessa forma, FHWA (2004b) propõe uma metodologia para a seleção da ferramenta de análise de tráfego mais adequada em função do tipo de estudo ou projeto que se deseja realizar. Inicialmente, são definidos alguns critérios que o usuário deve considerar ao selecionar um determinado tipo de ferramenta de análise de tráfego. O primeiro passo é identificar o contexto analítico do estudo: planejamento, projeto ou operação/execução. Além disso, outros sete critérios devem ser observados para auxiliar a identificação das ferramentas analíticas mais apropriadas para realizar determinado projeto. Dependendo do contexto analítico e dos objetivos e metas do projeto, a relevância de cada critério pode diferir. Assim, os critérios incluem:

- a habilidade para analisar o escopo geográfico ou a área de estudo apropriada, incluindo interseções isoladas, uma única rodovia, um corredor ou uma rede;
- capacidade de modelar diversos tipos de facilidades de transporte, como rodovias expressas, faixas para veículos de alta ocupação, rampas, vias arteriais, praças de pedágio, etc;
- habilidade para analisar vários modos de viagem, como veículos de baixa e alta ocupação, ônibus, trem, caminhão, bicicletas e tráfego de pedestres;
- habilidade para analisar diversas aplicações e estratégias de gestão de tráfego, tais como operação em rampas de acesso , coordenação semafórica, gerenciamento de incidentes, etc;

- capacidade de estimar a reação do usuário às estratégias de gerenciamento de tráfego, incluindo desvios de rota, escolha de horário de partida, mudança de modo de transporte, escolha do destino e demanda induzida e reprimida;
- habilidade de produzir diretamente as medidas de desempenho, tais como medidas de segurança (número de colisões e fatalidades), eficiência, saídas do sistema, volumes, veículos por quilômetro de viagem), mobilidade (tempo de viagem, velocidade, veículos por hora de viagem), produtividade (economia de custos), e medidas ambientais (emissões de poluentes, consumo de combustível, ruído);
- custo benefício da ferramenta para o desempenho do projeto, principalmente a partir de uma perspectiva de gestão ou operacional. Parâmetros que influenciam a relação custo/benefício abrangem o custo de capital da ferramenta, o nível de esforço exigido para lidar com a ferramenta, o grau de facilidade em sua utilização, os requisitos computacionais e de dados, animações, etc.

A Figura 3.1 a seguir apresenta de forma esquemática os critérios a serem considerados na escolha de uma ferramenta de análise de tráfego.



**Figura 3.1:** Critérios para a escolha de ferramenta de análise de tráfego.

Fonte: FHWA (2004b – adaptado)

A metodologia para a escolha da ferramenta adequada ao escopo do trabalho parte de uma análise da relevância de cada um desses critérios para cada uma das categorias de ferramentas de análise de tráfego estabelecidos pela FHWA (2004b), ou seja, é verificado

se cada categoria de ferramenta de análise de tráfego é capaz de desempenhar a análise para os critérios a serem utilizados em um projeto específico.

O primeiro passo da metodologia consiste em definir o contexto analítico do estudo a ser desenvolvido, verificando se ele é voltado ao planejamento, projeto ou operação/execução de determinada facilidade. Verificado essa situação com base nas metas e objetivos a serem atingidos no processo, cabe desempenhar uma análise minuciosa em função de cada critério de seleção verificando o grau de adequabilidade ao estudo em questão.

Em seguida, o usuário deverá ponderar o grau de relevância dos demais critérios de seleção da ferramenta, atribuindo a cada um deles pontuações que variam de 0 a 5, sendo 0 um fator pouco relevante e 5 muito relevante.

Dessa forma, permite-se ao analista verificar qual a melhor ferramenta para o seu projeto específico acrescentando aos valores internos pré-concebidos da metodologia a sua percepção quanto à relevância de cada critério em função dos diversos tipos de ferramentas e em função do projeto específico a ser desempenhado.

Por ser um assunto que merece destaque no contexto desta dissertação, a metodologia da FHWA (2004b) e sua aplicação a este trabalho são detalhados no Apêndice A.

A partir da aplicação dessa metodologia no presente estudo, verificou-se que a melhor ferramenta a ser utilizada, no que tange a avaliação de Pólos Geradores de Viagens, é a ferramenta de microsimulação. Dessa forma, tratar-se-á o tema dos modelos de microsimulação em um tópico separado, onde se abordará com maior nível de detalhe esse tipo de ferramenta.

### **3.3 - FERRAMENTAS DE MICROSIMULAÇÃO**

Pelo grau de detalhamento que se faz necessário obter na avaliação dos impactos ocasionados pela implantação de um PGV, conforme indicado pela aplicação da metodologia do FHWA (2004b), a ferramenta que fornece os melhores resultados são aquelas baseadas nos modelos microscópicos.

Inicialmente cabe definir que um modelo é uma representação da realidade, uma abstração que se utiliza para alcançar maior clareza conceitual acerca da mesma, reduzindo sua variedade e complexidade a níveis que permitam compreendê-la e especificá-la de forma adequada para a análise (ORTÚZAR, 2000).

A simulação de tráfego elimina a necessidade de testes de campo, caros, que demandam tempo, apresentam riscos e são, muitas vezes, de impossível realização. A simulação fornece a oportunidade de testar novas estratégias ou alternativas de gerenciamento de viagens, antes da sua implementação de fato, e pode representar tanto ambientes de tráfego que mudam com o tempo, como volumes de tráfego e incidentes que causam congestionamento (TAORI, S., RATHI, A.K., 1996, *apud* PORTUGAL, L., GOLDNER, L., 2003).

Por meio da técnica de simulação, procura-se replicar em um computador a sequência de eventos hipotéticos do sistema estudado, ao longo do tempo, tratando-se as entidades que percorrem o modelo de forma agregada ou individualizada (Portugal, 2005).

Os modelos de simulação microscópicos constituem uma abordagem em que os veículos são tratados de forma individualizada, sendo os modelos tão detalhados quanto for o seu propósito (Portugal, 2005).

Cada veículo é rastreado na rede e os seus movimentos são determinados por suas características físicas e pelas características do condutor, além das interações com os demais veículos e com a geometria da rede (Turley, 2007). A lógica do processo inclui uma série de regras e algoritmos que descrevem a forma como os veículos se locomovem e interagem, incluindo suas acelerações, desacelerações, mudanças de faixa e manobras de ultrapassagem (FHWA, 2004c).

O processo de microssimulação emprega diversos submodelos, relações analíticas e lógicas utilizadas para (FHWA, 2004c):

- gerar os veículos no sistema a ser simulado;
- mover os veículos neste sistema;
- modelar as interações veiculares.

As características do condutor e do veículo, as interações com a geometria da rede e as interações entre veículos formam os fatores que determinam os movimentos. Esses modelos são orientados por modelos de perseguição (*car-following*), mudança de faixa e aceitação de brechas (Turley, 2007).

No processo de geração dos veículos na corrente de tráfego, parte-se de um sistema inicialmente vazio, em que os veículos são gerados nos nós de entradas da rede analítica,

com base no volume de tráfego de entrada e nas distribuições de *headways* estipulados (FHWA,2004c). Quando um veículo é gerado, lhe são atribuídas as seguintes características:

- atributos do veículo: tipo de veículo (automóvel, ônibus, caminhão, etc.), comprimento, largura, aceleração e desaceleração máximas, velocidade máxima, máximo raio de giro, etc.;
- atributos do condutor: agressividade, tempo de reação, velocidade desejada, brechas críticas (para mudança de faixa, entrelaçamentos, cruzamento), destino (rota), etc.;

Cada atributo pode ser representado no modelo por meio de uma constante, por uma relação funcional, ou por uma distribuição de probabilidade. A maior parte dos modelos microscópicos utiliza-se de distribuições estatísticas para representar os atributos do veículo-condutor, devendo sua variabilidade e seus parâmetros ser calibrados para refletir as condições locais de análise.

A atribuição desses parâmetros para cada veículo é comumente realizado por meio de processos estocásticos, onde as especificações das características do veículo-condutor obedece a distribuições estatísticas utilizando números aleatórios. A sequência de geração dos números aleatórios depende de método particular e do valor inicial do número aleatório (semente). Alterações nessa semente provocam uma sequência diferente de números aleatórios que, por sua vez, produz características diferentes dos elementos veículo-motorista.

Os modelos estocásticos necessitam que elementos adicionais sejam informados, por exemplo, a forma e parâmetros das distribuições estatísticas que representam as características particulares de um veículo. Mais importante, a análise dos resultados da simulação deve considerar que, para dados idênticos de entrada, os resultados de cada rodada do modelo variam de acordo com o número de semente aleatório estipulado.

O processo de simulação da maneira como o veículo percorre a rede é impactado pelo ambiente físico, a rede de transporte em estudo, tipicamente representada por arcos e nós. Os arcos são vias de sentido único com características fixas de desenho e nós que representam as interseções ou pontos onde há mudança com relação às características do arco.

Os veículos, na falta de alguma impedância em relação aos demais veículos, viajam pelos arcos da rede em sua velocidade desejada. Contudo, essa velocidade pode ser afetada pelas especificidades da geometria do arco (alinhamento vertical e horizontal), pelas condições do pavimento, e por outros fatores. Os veículos percorrem a rede até saírem do sistema ao atingir o seu destino. Tipicamente, há dois tipos de modelos de simulação: aqueles baseados em frações de conversões e aqueles baseados em matrizes de origem-destino. Nos modelos baseado em matrizes O-D, a matriz é um dado de entrada, e quando um veículo é gerado na entrada, lhe é atribuído um destino. O veículo, então, sai da rede no local de destino estipulado. Nos modelos baseados em frações de conversão, a destinação do veículo é atribuída randomicamente na entrada do arco, baseado nos volumes específicos de conversão (ou frações) no final do arco à jusante.

Os modelos de simulação empregam outras abordagens para guiar os veículos pela rede. Tipicamente, utiliza-se de sinais de aviso para advertir o veículos simulado a mudar de faixa porque ele necessita sair em uma rampa de saída a jusante, porque a faixa está se encerrando, ou porque há um bloqueio na pista.

Além disso, com relação à interação veicular os modelos de microsimulação baseiam-se nas teorias de perseguição de veículo (*car following*) e de mudança de faixa. Cada um desses modelos é detalhado a seguir.

### 3.3.1 - Teoria de perseguição de veículo

A lógica usada para determinar quando e quanto um veículo deve acelerar ou desacelerar é crucial para a acurácia do modelo de simulação microscópico (Turley,2007).

A interação entre o par de veículos líder e seguidor viajando em uma mesma faixa assume geralmente a forma do mecanismo de estímulo-resposta (FHWA, 2004c).

Os algoritmos de perseguição usualmente implementados na maior parte dos modelos de simulação consiste nos seguintes componentes:

- Uma equação que calcula a aceleração (ou desaceleração) do veículo seguidor, em resposta ao movimento do veículo líder a fim de manter o *headway* alvo (espaçamento), dependendo das características do veículo-condutor. A equação é tipicamente da forma:

$$a_f = F(v_l, v_s, s, T, X_i) \quad \text{Equação (3.1)}$$

em que:

$a_f$  = aceleração do veículo seguidor após um tempo de reação  $T$ ;

$v_l$  e  $v_s$  = velocidade do veículo líder e do veículo seguidor, respectivamente;

$s$  = distância entre veículos;

$X_i$  = parâmetro específico do modelo de perseguição em particular

- A taxa de aceleração calculada pela Equação 3.1 não pode exceder a taxa de aceleração máxima para o tipo de veículo específico e este não pode atingir uma velocidade maior do que a velocidade desejada.
- Além disso, a aceleração calculada para o veículo seguidor deve satisfazer a regra de segurança, ou seja, este deve sempre manter uma separação mínima do veículo líder. Se o valor da aceleração de segurança do seguidor for menor do que a aceleração de perseguição calculada pela Equação 3.1, implementa-se a primeira regra.

Dentre os modelos de perseguição existentes, o pioneiro foi o modelo desenvolvido pela General Motors, no final dos anos 1950. Além desse, outros merecem destaque, como os modelos de Gipps e de Wiedermann. A seguir, será tratado cada um deles.

#### 3.3.1.1 - Modelo da General Motors

O primeiro modelo de perseguição da GM consistia em um processo de resposta a um estímulo em que o veículo seguidor tenta manter o *headway* espacial. Quando a velocidade do líder decresce em relação à velocidade do veículo seguidor, este reage desacelerando. Da mesma forma, o veículo acelera quando a velocidade relativa do veículo líder aumenta (Turley, 2007).

O processo é representado pelo primeiro modelo de perseguição da GM, dada pela Equação 3.2 (Kikuchi *et al*, 2003; May, 1990, *apud* Turley, 2007):

$$a_s = \alpha_s (v_l(t) - v_s(t)) \quad \text{Equação (3.2)}$$

em que:

$a_s$  = aceleração do veículo seguidor;

$v_s$  = velocidade do veículo seguidor;

$v_l$  = velocidade do veículo líder;

$\alpha_s$  = sensibilidade do veículo seguidor;

$t$  = tempo.

Um outro modelo, conhecido como o quinto modelo da GM, é apresentado na Equação 3.3 e estabelece a forma geral do modelo de perseguição desenvolvido por essa empresa (Kikuchi et al, 2003; May, 1990, *apud* Turley, 2007):

$$a_s(t+T) = \lambda \frac{[v_s(t+T)]^m}{[x_l(t) - x_s(t)]^l} [v_l(t) - v_s]$$

Equação (3.3)

em que:

$a_s$  = aceleração do veículo seguidor;

$v_s$  = velocidade do veículo seguidor;

$v_l$  = velocidade do veículo líder;

$x_s$  = posição do veículo seguidor;

$x_l$  = posição do veículo líder;

$t$  = tempo;

$T$  = tempo de percepção-reação do condutor do veículo seguidor;

$l, m, \lambda$  = constantes relacionadas à sensibilidade do condutor.

### 3.3.1.2 - Modelo de Gipps

Este modelo é formado basicamente por um componente de aceleração e outro de desaceleração. O primeiro componente representa a intenção do veículo em atingir uma certa velocidade desejada, enquanto que o segundo reproduz as limitações impostas pelo veículo a sua frente ao desejar trafegar nessa velocidade (TSS, 2008).

A Equação 3.4 estabelece a velocidade máxima em que um veículo  $n$  pode acelerar durante um período  $(t, t+T)$ :

$$V_a(n, t+T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left( 1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

Equação (3.4)

em que:

$V_a(n, t+T)$  = velocidade máxima em que um veículo  $n$  pode acelerar durante um período de tempo  $(t, t+T)$ ;

$V(n, t)$  = velocidade do veículo  $n$  no tempo  $t$ ;



$V^*(n)$  = velocidade desejada do veículo  $n$  para a seção atual;

$a(n)$  = máxima aceleração para o veículo  $n$ ;

$T$  = tempo de reação.

Por outro lado, a velocidade máxima que o mesmo veículo  $n$  pode atingir durante o mesmo intervalo de tempo  $(t, t+T)$ , de acordo com as suas próprias características e com os limites impostos pela presença de um veículo líder (veículo  $n-1$ ) é dada pela Equação 3.5 (TSS, 2008):

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[ 2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

Equação (3.5)

em que:

$d(n)$  = desaceleração máxima desejada para o veículo  $n$ , sendo menor do que 0;

$x(n, t)$  = posição do veículo  $n$  no instante  $t$ ;

$x(n-1, t)$  = posição do veículo predecessor ( $n-1$ ) no instante  $t$ ;

$s(n-1)$  = comprimento efetivo do veículo ( $n-1$ );

$d'(n-1)$  = estimativa da desaceleração desejada do veículo ( $n-1$ ).

A velocidade definitiva do veículo  $n$  no instante  $(t, t+T)$  é dada pelo mínimo valor obtido nas Equações 3.4 e 3.5.

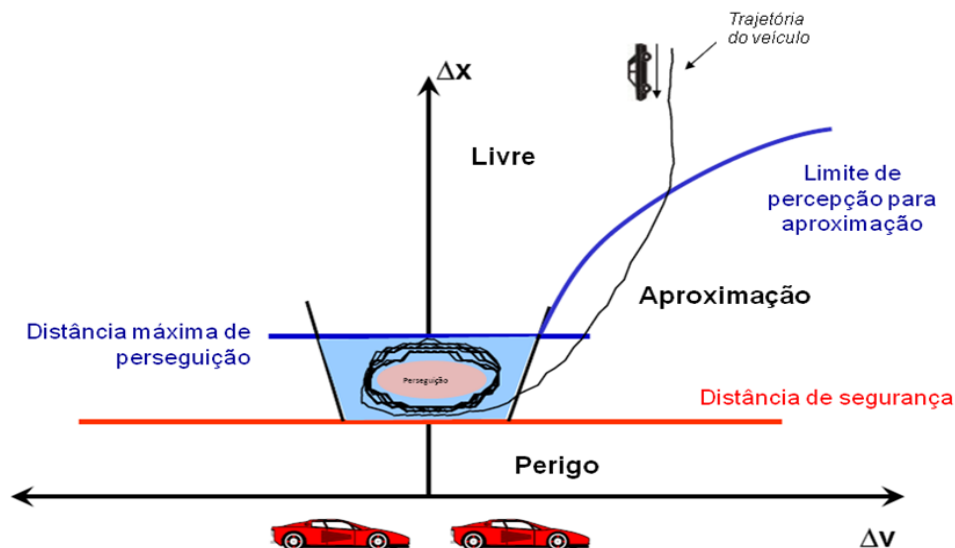
### 3.3.1.3 - Modelo de Wiedemann

A idéia básica da abordagem de Wiedemann assume que o motorista pode se encontrar em um dos quatro modos de direção a seguir (PTV, 2009):

- Direção livre: não há influência de nenhum veículo predecessor. Neste modo, o motorista procura atingir e manter a sua velocidade desejada, que não se mantém constante, em virtude da oscilação no controle imperfeito do acelerador.
- Aproximação: o processo de adaptação da própria velocidade do condutor à baixa velocidade do veículo predecessor. Enquanto se aproxima de um veículo a sua frente, o condutor desacelera seu veículo de forma que a diferença de velocidades entre os dois veículos é nula no momento em que se atinge a distância de segurança desejada.

- Perseguição: O motorista persegue o veículo predecessor sem nenhuma forma de aceleração ou desaceleração consciente. Ele mantém a distância de segurança mais ou menos constante, mas novamente em função de imperfeições no controle do acelerador ou de estimativas imperfeitas, a diferença de velocidade entre os veículos gira em torno de zero.
- Frenagem: Aplicação de taxas médias a altas de desaceleração se a distância entre os veículos reduzir a patamares abaixo da distância de segurança desejada. Isso pode ocorrer se o veículo predecessor mudar abruptamente de velocidade ou se um terceiro veículo mudar de faixa a frente do veículo observado.

A Figura 3.2 a seguir apresenta de forma esquemática os limites entre os modos de direção estabelecidos pelo modelo de Wiedemann.



**Figura 3.2:** Modelo de perseguição de Wiedemann. Fonte: PTV (2009)

A habilidade em perceber as diferenças de velocidades e estimar as distâncias varia dentro a população de condutores, assim como a velocidade desejada e a distância de segurança. Dessa forma, por combinar aspectos psicológicos à percepção do motorista, o modelo de Wiedemann é chamado de modelo psico-físico de perseguição.

### 3.3.2 - Modelo de mudança de faixa

A modelagem de mudança de faixa consiste em um processo de aceitação de brechas. Um veículo poderá mudar de faixa se a brecha na faixa de trânsito para a qual ele deseja ir for maior do que a sua brecha crítica (FHWA, 2004c).

De acordo com FHWA (2004c), a mudança de faixa poderá ocorrer de maneira obrigatória, discricionária ou antecipada.

A mudança de faixa obrigatória ocorre quando é exigido que um veículo saia da faixa de trânsito em que está devido a algum motivo específico como o término dessa faixa, ou a necessidade de deixar uma via expressa por uma rampa de saída, ou interdição da faixa pela ocorrência de algum incidente.

Já a mudança discricionária de faixa ocorre quando um veículo muda de faixa para permanecer em sua velocidade desejada. Se um veículo é atrapalhado por um veículo mais lento em sua faixa de percurso, o motorista pode considerar mudar de faixa para continuar na sua velocidade desejada. A lógica desse processo, determinada por meio da disponibilidade de brechas na corrente de tráfego das faixas adjacentes e pela aceitação dessas brechas por parte do motorista, permite avaliar qual a melhor faixa para se realizar a mudança.

Uma mudança antecipada de faixa ocorre quando um veículo necessita mudar de faixa em antecipação às reduções de velocidade ocasionadas em um ponto mais a jusante devido à existência de zonas de entrelaçamento ou de junção de vias. A decisão para a mudança de faixa baseia-se na diferença de velocidades no ponto onde ocorrerá o entrelaçamento, ou a junção, entre os veículos na faixa de tráfego em questão e os das faixas adjacentes, que não estão envolvidos diretamente com esses eventos. A lógica da mudança de faixa reconhece que o motorista deverá acelerar ou desacelerar o veículo para criar brechas aceitáveis para a mudança de faixa.

Essas considerações estão comumente relacionadas a medidas de risco. Condutores mais agressivos irão aceitar riscos maiores para mudar de faixa, ou seja, irão aceitar brechas menores e taxas de aceleração ou desaceleração maiores.

### **3.3.3 - Processo de modelagem e simulação microscópica**

O processo de modelagem e simulação na abordagem microscópica consiste em sete etapas principais (FHWA,2003c):

- 1) Identificação do propósito do estudo, seu escopo e sua abordagem;
- 2) Preparação e Coleta de Dados;
- 3) Desenvolvimento de um modelo base;
- 4) Verificação de erros;

- 5) Calibração;
- 6) Análise de alternativas;
- 7) Relatório Final e Documentação Técnica.

Inicialmente, determina-se as questões chaves para a gestão de um estudo de microssimulação, assegurando o conhecimento necessário, além de fornecer tempo e recursos suficientes para o desempenho do processo de desenvolvimento e calibração do modelo.

Em seguida, faz-se o levantamento dos dados necessários à construção do modelo de microssimulação. Os modelos microscópicos necessitam de um vasto número de dados de entrada, incluindo as características de geometria da via (comprimento, número de faixas, curvaturas, etc.), os tipos de controle (semáforos, ciclos semaforicos), as demandas existentes (volume de conversão, matrizes O-D), dados para calibração (capacidades, tempos de viagem, filas) e dados do sistema de transporte, número de ciclistas e pedestres.

Na etapa 3 é elaborado um modelo de base para a realização das simulações. O objetivo dessa etapa é desenvolver um modelo acurado que possa ser verificado e reproduzido. É um processo bastante dispendioso e que depende das particularidades de cada simulador. Basicamente, nesta etapa desenvolve-se a rede de simulação com a inserção dos nós e arcos, além dos dados de controle e operação desses elementos. Adiciona-se também os dados relativos à demanda de viagem e ao comportamento do viajante. Por fim, insere-se os dados referente ao controle de execução da simulação.

A quarta etapa se faz necessária para identificar e corrigir erros de codificação do modelo que criem distorções que possam levar o analista a utilizar valores incorretos nos parâmetros de calibração. Esse processo envolve diversos testes na codificação da rede e verificações dos dados de demanda inseridos no modelo.

A quinta etapa refere-se ao processo de calibração do modelo. No processo de modelagem e confecção de uma rede de microssimulação, o ponto vital está nesta etapa. Calibração é o processo iterativo pelo qual os parâmetros do modelo do simulador são otimizados o máximo possível para obter uma relação próxima entre as medidas das condições de tráfego simuladas e as observadas em estudos de campo (Hourdakakis et al, 2003).

O processo de calibração não é uma tarefa simples. É uma etapa que consome tempo, uma vez que é geralmente realizada por tentativa e erro, embora técnicas de inteligência

artificial e outros procedimentos já venham sendo utilizados para a sua execução. Essa utilização, porém, ainda não ocorre de forma sistemática. Além disso, os simuladores requerem uma vasta gama de parâmetros a serem calibrados, já que o nível de detalhes de um modelo microscópico é elevado. A validação do modelo também é algo peculiar e se dá principalmente por comparação entre os dados observados em campo com aqueles gerados pelo modelo. Dentre esses dados pode-se citar volume de tráfego, velocidades, formação de filas, entre outros. Outro aspecto a se destacar consiste no conhecimento por parte do técnico operador da ferramenta em relação à situação a ser modelada e em relação à familiaridade com o *software*.

Conforme exposto, em geral não é utilizado procedimento sistemático para a execução de calibração de redes de simulação. No entanto, Hourdakis *et al* (2003) apresenta uma metodologia de calibração e validação. Segundo o seu trabalho, o comportamento real do sistema simulado é geralmente definido em termos de variáveis de tráfego mensuráveis, cujos valores, para fins práticos, são medidos por detectores ou observados e registrados manualmente. Essas variáveis podem ser volume de tráfego, velocidade veicular, comprimento de filas e outros.

Na etapa 6 apresentada por FHWA (2003c), realiza-se a primeira aplicação do modelo, em que o modelo calibrado é executado diversas vezes para testar diversas alternativas de projeto. As atividades-chave nesta etapa consistem na previsão de demandas futuras, na seleção de parâmetros de desempenho apropriados para a avaliação das alternativas, e na contabilidade precisa dos indicadores de redução de congestionamento de cada alternativa.

Por fim, na etapa 7 consolida-se os resultados obtidos das diversas simulações em relatórios, de forma a municiar os técnicos responsáveis pelo processo de tomada de decisão.

### **3.4 - DESAFIOS E LIMITAÇÕES NO USO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE DO TRÁFEGO**

As ferramentas de análise de tráfego são grandes contribuintes no processo de tomada de decisão. Contudo, essas ferramentas possuem algumas limitações que devem ser verificadas pelo analista a fim de que ele se cerque das devidas precauções quanto à decisão e escolha da ferramenta.

Dessa forma, pode-se citar como desafios e limitações no uso dessas ferramentas (FHWA, 2004a):

- **Disponibilidade de dados confiáveis:** se não há dados com boa qualidade, o usuário deve considerar uma categoria de ferramenta que demande menor qualidade e intensidade de dados, como ferramentas de planejamento. No entanto, os resultados dessas ferramentas mais simples são mais generalistas, devendo o usuário balancear cuidadosamente a necessidade de uma análise mais detalhada com a quantidade de dados necessários.
- **Dados empíricos limitados:** a obtenção de dados geralmente pode ser o componente mais caro de um estudo. A melhor técnica é saber quais são os objetivos principais da tarefa e focar na obtenção apenas dos dados essenciais ao estudo.
- **Orçamento limitado:** orçamento apertado para a condução do estudo, aquisição de ferramentas, simulações de cenários analíticos e treinamento do usuário são considerações constantes em estudos de transporte. As ferramentas de análise de tráfego podem requerer um investimento significativo, com licenças de *softwares* e custos de treinamento, consumindo uma grande parte do orçamento. Além disso, análises de um maior número de cenários custam dinheiro.
- **Limitações de treinamento:** as ferramentas de simulação geralmente demandam um certo tempo de aprendizagem e, como resultado, alguns profissionais de transporte não recebem treinamentos adequados de modelagem e simulação.
- **Recursos limitados:** deve-se considerar as limitações quanto a equipe, potencialidades e orçamento para a construção da rede e condução da análise. A implementação da maioria das ferramentas de análise de tráfego é um processo dispendioso, principalmente na construção do modelo e nas fases de calibração para análise da simulação. Um cronograma cuidadoso e critérios para aceitação são necessários para manter o projeto no foco e em dia.
- **Dados de entrada e a diversidade e inconsistência dos dados:** cada ferramenta utiliza metodologias próprias de análise fazendo com que os dados variem muito de ferramenta para ferramenta. Em muitos casos, dados de projetos anteriores

contribuem muito pouco para um novo esforço analítico. Recursos adequados devem ser orçados para a obtenção dos dados.

- **Falta de compreensão dos limites da ferramenta:** Constantemente, problemas e limitações só são descobertos quando o projeto já está em andamento. É importante aprender com experiências de projetos passados ou se comunicar com os demais usuários de uma determinada ferramenta para conhecer suas potencialidades e limitações. Pesquisando a respeito da experiência de terceiros, o usuário pode obter um melhor entendimento do que ele pode encontrar conforme o projeto progride.
- **A ferramenta pode não ter sido desenvolvida para avaliar todos os tipos de impactos produzidos pelas estratégias e ações de transporte:** os resultados produzidos por cada ferramenta variam. Portanto, o processo de combinar os indicadores de desempenho desejados para o projeto com os dados gerados pela ferramenta é muito importante.
- **Ausência de determinada característica:** algumas ferramentas não foram desenvolvidas para analisar certas estratégias específicas que o usuário gostaria de implementar. Constantemente, “enganar” a ferramenta através de adaptações torna-se uma solução de curto prazo. Porém, deve haver flexibilidade para que usuários com maior grau de conhecimento possam personalizar a ferramenta.
- **Desejo de simular soluções em tempo real** – muitas ferramentas necessitam de uma quantidade significativa de tempo para realizar a configuração, modelagem e análise. Entretanto, há ferramentas capazes de se conectarem com Centros de Gerenciamento de Tráfego e detectores fazendo com que a análise seja implementada diretamente e em tempo real. Isso possibilita aos profissionais de transporte responder a situações recorrentes ou não recorrentes de congestionamento usando soluções em tempo real
- **Tendência de utilizar ferramentas mais simplificadas ou aquelas já adquiridas pela empresa mesmo que elas não sejam as melhores para o trabalho:** devido a falta de recursos, experiências passadas ou falta de familiaridade com outras ferramentas disponíveis, muitas instituições preferem utilizar as ferramentas que já possuem, mesmo não sendo estas as mais apropriadas para o trabalho.

- **Críticas aos modelos e ferramentas de análise de tráfego:** essas críticas ocorrem não apenas pelas limitações listadas acima, mas também pelo fato dos modelos nem sempre serem confiáveis e serem constantemente considerados como “caixas pretas”. Alguns profissionais preferem utilizar cálculos, planilhas e gráficos para estimar resultados. Isso pode ser adequado para tarefas simples. Contudo, para projetos mais complexos são necessárias ferramentas mais avançadas.
- **Tempos longos do computador para realizar as rodadas:** dependendo do *hardware* do computador e do escopo do estudo (i.e. tamanho da área, dados necessários, duração, períodos de análise, etc.) uma rodada de um modelo analítico pode durar de poucos segundos a muitas horas. A melhor forma de tratar esse aspecto é utilizar o melhor equipamento de informática disponível e/ou cuidadosamente limitar o escopo do estudo para adequar às necessidades analíticas.

### 3.5 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO

- O processo de análise de sistemas de transporte e de circulação pode ser melhorado por meio da utilização de ferramentas de análise de tráfego, que auxiliam o analista na tomada de decisão.
- Devido à vasta variabilidade de ferramentas, o seu processo de seleção deve ser algo bastante criterioso a fim de não gerar análises equivocadas e retrabalhos desnecessários, com o subsequente aumento dos custos e dos prazos de um projeto.
- Na análise de pólos geradores de viagem, a ferramenta de análise de tráfego que se mostrou a mais eficaz e eficiente no estudo dos impactos causados por esses empreendimentos nas vias de seu entorno foram as ferramentas de microsimulação.
- Calçadas nos modelos de perseguição e de mudança de faixa, esses modelos possuem um alto grau de detalhamento da situação em estudo. Por isso, a fim de criar um ambiente de análise fidedigno à situação real, são necessários diversos insumos e dados de entrada, além de ajustes em seus parâmetros de modelo, o que torna o processo de simulação algo bastante complexo.
- Apesar das diversas limitações relacionadas à aplicação dos modelos microscópicos, essas ferramentas são bastante úteis na avaliação de diversas situações envolvendo o impacto causado pelos PGVs em sua área de abrangência.



- Dentre as diversas ferramentas de microsimulação existentes no mercado, optou-se por utilizar neste trabalho o *software* de simulação AIMSUN, já que é uma ferramenta com bom potencial para a análise de PGV, pois engloba diversas características que permitem a construção, calibração e validação do modelo, além de possuir extensa lista de indicadores de desempenho para a verificação dos resultados das simulações.

## **4 - INDICADORES DE DESEMPENHO**

Um dos aspectos fundamentais na avaliação de impactos é a análise de indicadores quantitativos que permitam uma análise objetiva e comparativa do impacto causado pela implantação de um Pólo Gerador de Viagens.

Segundo MAGALHÃES (2004), os indicadores podem ser utilizados para abordar os mais diversos aspectos, tanto questões econômicas, quanto sociais, políticas, ambientais, e muitas outras. Apesar dessa multiplicidade de temas, o conceito geral de indicador, suas características e aplicações, ultrapassam, no entanto, estas especificidades temáticas. Desta forma, não importa se são econômicos, sociais, políticos, de saúde, ambientais, de desenvolvimento sustentável ou qualquer outro tema: se um dado elemento é considerado um indicador, independente de seu tema, significa que ele possui características e funções fundamentais que o distinguem de qualquer outra coisa.

Dessa forma, o presente capítulo abordará o conceito de indicadores de desempenho, apresentando os diversos parâmetros existentes na Engenharia de Tráfego e que possam ser retirados diretamente dos simuladores ou a partir deles calculados. Pretende-se, ainda, obter um indicador que vise exprimir melhor a relação entre o Pólo Gerador de Viagens e o impacto advindo de sua implantação.

Os indicadores de desempenho são medidas de fatores de produção, processos, produtos, resultados e impactos relacionados com projetos, programas ou estratégias de desenvolvimento (BANCO MUNDIAL, 2005). Os indicadores permitem que os gestores detectem o progresso registrado, demonstrem os resultados e tomem medidas corretivas para melhorar a prestação do serviço.

Um indicador de desempenho é um número, percentagem ou razão que mede um aspecto do desempenho, com o objetivo de comparar esta medida com metas preestabelecidas (TCU, 2000).

Para a FHWA (2007) o propósito de se calcular os indicadores de desempenho é quantificar o alcance dos objetivos em um projeto de operação de tráfego.

Segundo Magalhães (2004), os indicadores constituem os principais elementos de informação, permitindo a construção do conhecimento sobre diversos temas pelos tomadores de decisão. Desta forma, determina-se o modo e a forma como determinado objeto é percebido, afetando diretamente as decisões.

No processo de construção do conhecimento, há a presença de outros elementos que fazem parte do contexto de caracterização do indicador, quer sejam: dado, índice e informação.

Antes de mais nada, um indicador é composto por um dado ou conjunto de dados que, de acordo com Correia (2004), consiste na representação de valores selecionados a partir de um domínio de atributos pertencentes a uma entidade.

Correia (2004) define entidade, atributo e valor do atributo como sendo:

- Entidade: fenômeno do mundo real que possui um significado bem definido;
- Atributo: característica definida de uma entidade, ou ainda, uma propriedade descritiva que é associada a uma entidade;
- Valor do Atributo: qualidade ou quantidade específica atribuída a um atributo.

A partir de um conjunto de dados, obtêm-se os indicadores. A combinação de alguns indicadores origina um índice, que também é um indicador, porém, geralmente utilizado em níveis mais agregados de análise (Magalhães, 2004).

A análise do indicador, sob determinado contexto e enfoque e orientada a um determinado fim, gera a informação que, segundo Segnestam (2002, *apud* Magalhães, 2004), é a base do processo de tomada de decisão. A informação é, portanto, o resultado da análise de indicadores e índices. Da extração da informação sistematizada dos indicadores, produz-se o conhecimento (Magalhães, 2004).

A Figura 4.1 a seguir apresenta a relação entre os elementos que compõem o processo de formação do conhecimento a partir da utilização de indicadores.



**Figura 4.1:** Relação entre dados, indicadores, índices e informação.

Fonte: Magalhães (2004, adaptado)

A utilização de indicadores torna-se vantajosa na análise de determinado evento no sentido de que constituem um meio eficaz para medir o progresso alcançado na consecução dos objetivos e facilita as comparações entre os pontos de referência das várias unidades organizacionais, distritos e ao longo do tempo (Banco Mundial, 2005). Entretanto, os indicadores inadequadamente definidos não formam boas medidas para avaliação do

sucesso de determinado processo. Além disso, a definição de vários indicadores ou de indicadores que não disponham de fontes de dados acessíveis, tornam o sistema oneroso, impraticável e pouco utilizado. Assim, é comum a necessidade de se selecionar os indicadores ótimos ou desejáveis, ou então aceitar os indicadores que podem ser medidos utilizando os dados existentes.

#### **4.1 - CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS EM UM INDICADOR**

Como mencionado anteriormente, nem todo indicador apresenta-se como uma boa medida para a avaliação do progresso de um determinado evento. Assim, faz-se mister identificar as características desejáveis em um indicador de forma que ele se apresente relevante para a avaliação de determinado fenômeno.

Para TCU (2000) na análise ou na criação de indicadores de desempenho devem ser observados os seguintes aspectos:

- Representatividade: o indicador deve ser a expressão dos produtos essenciais de uma atividade ou função;
- Homogeneidade: na construção de indicadores devem ser consideradas apenas variáveis homogêneas;
- Praticidade: o indicador funciona na prática e permite a tomada de decisões gerenciais;
- Validade: o indicador deve refletir o fenômeno a ser monitorado;
- Independência: o indicador deve medir os resultados atribuíveis às ações que se quer monitorar, devendo ser evitados indicadores que possam ser influenciados por fatores externos.
- Confiabilidade: a fonte de dados deve ser confiável, possibilitando que diferentes avaliadores cheguem aos mesmos resultados;
- Seletividade: deve-se estabelecer um número equilibrado de indicadores que enfoquem os aspectos essenciais do que se quer monitorar;
- Simplicidade: o indicador deve ser de fácil compreensão;

- Cobertura: os indicadores devem representar adequadamente a amplitude e a diversidade de características do fenômeno monitorado, resguardado o princípio da seletividade e da simplicidade.
- Economicidade: a coleta das informações necessárias ao cálculo do indicador deve ser realizada a um custo razoável.
- Acessibilidade: deve haver facilidade de acesso às informações primárias bem como de registro e manutenção para o cálculo dos indicadores.
- Estabilidade: a estabilidade conceitual das variáveis componentes e do próprio indicador bem como a estabilidade dos procedimentos para sua elaboração são condições necessárias ao emprego de indicadores para avaliar o desempenho ao longo do tempo.

Royuela (2001) destaca que os indicadores devem ser:

- Relevantes em função da escala de análise;
- Pertinentes frente aos objetivos de planejamento;
- Compreensíveis, claros, simples e não ambíguos;
- Viáveis em razão dos custos e disponibilidade dos dados;
- Limitados em quantidade;
- Representativos.

Durango *et al* (2006) cita ainda as seguintes características:

- Validade científica: o indicador deve estar embasado em um conhecimento bem fundamentado do sistema descrito;
- Ser sensível a mudanças: deve apontar as mudanças de tendência da descrição do fenômeno;
- Preditivo: deve ter a capacidade de prever tendências futuras, sejam elas positivas ou negativas;
- Comparável: a informação transmitida deve proporcionar a comparação com outra informação;
- Relação com os objetivos ao qual será aplicado;

- Integrada: deve ter uma resposta conjunta a diferentes fatores.

## 4.2 - TIPOS DE INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho são instrumentos aplicáveis a diferentes situações e contextos, de forma que podem ser classificados em função do nível de análise a que se prestam, como também pela sua função ou dimensão de representação, conforme apresentado por Magalhães (2004) com base nos trabalhos desenvolvidos por EEA (1999) e *Federation of Canadian Municipalities* (2002).

Dessa forma, em relação a sua função, os indicadores podem ser classificados como (EEA, 1999 *apud* Magalhães, 2004):

- Descritivo: descrevem, caracterizam um determinado tópico. Refletem como está a situação, sem referência de como deveria ser;
- Desempenho ou Eficácia: comparam as condições atuais com uma série de valores de referência, a exemplo de metas ou resultados esperados;
- Eficiência: possibilitam a avaliação da eficiência das ações, refletindo qual a relação, quantitativa e qualitativa, entre meios empregados e resultados obtidos;
- Global: são os mais abstratos e sintéticos dos indicadores. São, em geral, índices, agregações de diversos indicadores transmitindo uma visão geral sobre o tópico tratado.

Com relação ao nível de análise os indicadores podem ser classificados como (*Federation of Canadian Municipalities*, 2002 *apud* Magalhães, 2004):

- Operacionais: são em geral dados desagregados sobre determinado objeto que é usado nas decisões do dia-a-dia;
- Táticos ou Funcionais: são resultados da análise de indicadores operacionais diversos, mas relacionados, a fim de se obter uma visão geral sobre determinado tópico, utilizado em níveis intermediários de decisão;
- Estratégicos: permitem avaliações globais de objetivos e/ou ideais mais amplos, utilizados nos níveis mais altos de decisão.

Na análise das condições de tráfego, FHWA (2007) classifica os indicadores de desempenho em dois grupos: medidas de desempenho básicas e medidas de desempenho derivadas.

As medidas de desempenho básicas são aquelas que não derivam de outras medidas de desempenho e que servem de insumo para o cômputo das medidas de desempenho derivadas. Enquadra-se como medidas de desempenho básicas, dentro da engenharia de tráfego, indicadores como capacidade, velocidade, tempo de viagem e número de paradas. Já nas medidas de desempenho derivadas destaca-se: tempo de atraso, densidade, número de veículos em fila, distância de viagem, relação volume/capacidade, nível de serviço, tempo de congestionamento, mudança modal, colisões, consumo de combustível, emissão de poluentes, entre outros.

A Tabela 4.1 a seguir apresenta alguns dos indicadores comumente utilizados na Engenharia de Tráfego e suas definições:

**Tabela 4.1:** Indicadores de desempenho na Engenharia de Tráfego (FHWA, 2007)

<b>Medida de desempenho</b>	<b>Definição</b>
Nível de Serviço	Medida de eficácia baseada nos modelos do HCM.
Tempo de viagem	Distância percorrida dividida pela velocidade
Velocidade	Distância percorrida dividida pela pelo tempo de viagem
Incidente	Interrupção no tráfego causado por uma colisão ou outro evento não previsto.
Tempo de congestionamento	Período de congestionamento
Ocupação veicular	Pessoas por veículo
Atraso causado por incidente	Aumento do tempo de viagem ocasionado por um incidente
Densidade	Número de veículos por faixa por período de tempo *

\* Difere da definição apresentada em TRB (2000)

TRB (2000) também apresenta as seguintes medidas de desempenho, conforme verificado na .

**Tabela 4.2a:** Indicadores de desempenho apresentados pelo HCM-2000 (TRB, 2000)

<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>
Atraso	O tempo adicional de viagem experimentado por um motorista, passageiro ou pedestre.
Capacidade	A vazão máxima sustentável esperada para que veículos e/ou pessoas atravessem um ponto ou um segmento uniforme de uma faixa de tráfego ou via durante um período específico, dada certas condições da via, da geometria, do tráfego, do ambiente e das formas de controle. É usualmente expressa em veículos/hora, pessoas/hora, etc.
Densidade	O número de veículos em um segmento de via calculado sobre o espaço, usualmente expresso em veículos/km/faixa.
Densidade de Congestionamento	Densidade na qual o congestionamento interrompe todos os movimentos de pessoas ou veículos, usualmente expresso em veículos/km/faixa ou pedestre/m <sup>2</sup> .
Fila	Alinhamento de veículos (ou pessoas) esperando para serem atendidos pelo sistema no qual a taxa de fluxo do início da fila determina a sua velocidade média. Veículos a baixa movimentação ou pessoas que ingressam no final da fila são usualmente considerados parte da fila. A dinâmica interna da fila pode envolver paradas e reinícios do movimento.
Fluxo de congestionamento	Condição de fluxo de tráfego causado por um gargalo a jusante.
Intensidade de Congestionamento	Medida do número total de pessoas por hora de atraso e a velocidade média de viagem ou o atraso médio por pessoa por viagem.
Nível de Serviço	Medida qualitativa que descreve as condições operacionais de uma corrente de tráfego baseado em medidas de serviço tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade para realização de manobras, interrupções de tráfego, conforto e conveniência.
Relação Volume/Capacidade	A relação entre a taxa de fluxo e a capacidade de uma determinada facilidade de transporte.
Taxa de Fluxo	A taxa horária equivalente na qual os veículos (ou pessoas) passam por um determinado ponto de uma faixa ou via, expresso em veículo(ou pessoas)/hora.
Taxa de Fluxo de Saturação	A taxa horária equivalente na qual veículos em fila podem atravessar uma aproximação de uma interseção sob condições prevalentes, assumindo que o sinal verde está disponível todo o tempo e não se vivencia tempos perdidos. É expresso em veículo/hora ou veículo/hora/faixa.



**Tabela 4.2b:** Indicadores de desempenho apresentados pelo HCM (TRB, 2000)  
(continuação)

<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>
Tempo de Circulação	Porção do tempo de viagem durante o qual o veículo está em movimento.
Tempo de Parada	Porção do tempo de atraso do controle em que os veículos estão completamente parados.
Tempo de Viagem	Tempo médio gasto por veículos que percorrem um segmento de uma via, incluindo os tempos de atraso.
Tempo perdido	Tempo, em segundos, durante o qual uma interseção não é utilizada efetivamente por nenhum movimento.
Velocidade	Taxa de movimento expresso como a distância percorrida pela unidade de tempo.
Velocidade Média de Viagem	Comprimento do segmento de via dividido pelo tempo médio de viagem de todos os veículos percorrendo esse segmento, inclusive com todos os tempos de atraso por parada.
Velocidade Média no Espaço	A média harmônica das velocidades em uma seção da via. A velocidade média baseada no tempo médio de viagem dos veículos que atravessam um segmento de via, em km/h.
Velocidade Média no Tempo	Média aritmética das velocidades individuais dos veículos que passam por determinada seção da via, em km/h.
Volume	Número de pessoas ou veículos que passam por uma determinada seção de uma faixa ou via durante um determinado intervalo de tempo.

A utilização de simuladores visa, em última análise, a obtenção desses indicadores de desempenho de forma a propiciar uma análise comparativa entre diversas situações em estudo. Nesse sentido, TSS (2008) apresenta alguns tipos de indicadores que podem ser obtidos por meio do software Aimsun, utilizado no desenvolvimento desta dissertação, apresentados na Tabela 4.3 a seguir.

**Tabela 4.3** : Indicadores de desempenho fornecidos pelo simulador Aimsun (TSS, 2008)

<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>
Fluxo Médio	Número médio de veículos por hora que passou pela rede ou por uma seção durante o período de simulação. Os veículos são computados quando deixam a rede por uma seção existente.
Densidade	Número médio de veículos por quilômetro em uma seção ou em toda a rede.
Velocidade Média	Velocidade média para todos os veículos que tenham deixado a seção ou o sistema. É calculado utilizando a velocidade média de percurso para cada veículo.
Velocidade Média Harmônica	Velocidade Média Harmônica para todos os veículos que deixam uma seção ou o sistema.
Tempo de Viagem	Tempo médio que um veículo precisa para percorrer uma seção ou um quilômetro dentro da rede. Consiste na média de todos os tempos de viagens individuais (tempo de saída – tempo de entrada) de cada veículo que cruza a seção ou a rede.
Tempo de Atraso	Tempo médio de atraso por veículo. Consiste na diferença entre o tempo de viagem esperado (o tempo que levaria para atravessar o sistema sob condições ideais) e o tempo de viagem efetivo. É calculado como a média de todos os veículos.
Tempo de Parada	Tempo médio de paralisação por veículo ao percorrer uma seção.
Número de Paradas	Número médio de paradas por veículo ao percorrer uma seção.
Comprimento de Fila Média	Comprimento médio da fila formada em uma seção, expresso pelo número de veículos por faixa. É calculado como um tempo médio.
Comprimento de Fila Máximo	Máximo comprimento da fila formada em uma seção, expresso pelo número de veículos por faixa.
Viagem Total	Número total de quilômetros percorridos por todos os veículos que passaram por uma seção ou pela rede.
Tempo Total de Viagem	Tempo total de viagem experimentado por todos os veículos que passaram por uma seção ou pela rede.
Consumo de Combustível	Total de litros de combustível consumido por todos os veículos que passaram por uma seção ou pela rede.
Emissão de Poluentes	Total de quilogramas de poluição, para cada tipo de poluente, emitido por todos os veículos que passaram por uma seção ou pela rede.
Número de Veículos Perdidos	Número total dos veículos que se perderam no percurso da viagem entre a origem e o destino, e que posteriormente não conseguiram atingir o destino correto.

### 4.3 - APLICAÇÃO DOS INDICADORES NA AVALIAÇÃO DE PÓLOS GERADORES DE VIAGEM

O item 4.2 apresentou diversos tipos de indicadores que podem ser obtidos para análises de tráfego. Ocorre que nem todos esses indicadores apresentam-se como os melhores para a avaliação de Pólos Geradores de Viagem. Além disso, muitos não são coerentes quanto à avaliação por meio de microsimuladores, objeto deste trabalho.

Assim, cabe neste tópico elencar os indicadores que potencialmente se apresentam como os mais adequados para a análise de PGVs.

Meneses *et al* (2003), baseado nos dados do sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza apresentou aos técnicos do CTAFOR um conjunto de dezenove indicadores obtidos da literatura especializada a fim de se verificar aqueles que melhor atendiam aos objetivos definidos quanto à gestão do tráfego urbano. Desses indicadores foram selecionados os seguintes indicadores apresentados na Tabela 4.4, com base nos objetivos gerenciais do CTAFOR.

**Tabela 4.4:** Indicadores de Desempenho referentes a gestão de tráfego em Fortaleza  
(Meneses *et al*, 2003)

Objetivo Gerencial do CTAFOR	Indicador de Desempenho
Diagnóstico espaço-temporal dos pontos de congestionamento recorrente	Atraso veicular médio; Congestionamento; Comprimento de fila de veículos.
Diagnóstico da fluidez do tráfego urbano	Índice de velocidade operacional; Velocidade operacional; Número de paradas de veículos.
Avaliar a configuração espacial de subáreas de controle de tráfego	Percentual de atraso veicular percentual por sub-área relativo ao tempo de viagem
Subsidiar a atualização da programação semafórica de tempo fixo	Desvio padrão móvel do fluxo de tráfego.

Dessa forma, sabendo que a análise de Pólos Geradores está relacionada à gestão operacional do tráfego de seu entorno, com base nos elementos apontados por Meneses *et al* (2003) e nos parâmetros usualmente utilizados pelos técnicos da área de trânsito,

considera-se que os indicadores que melhor avaliam os impactos gerados pela implantação de um PGV são aqueles estreitamente relacionados com medidas de fluidez, como a velocidade média e tempo de viagem, tempos de atraso, formação de filas, número de paradas, e outros. Essas são medidas que de certa forma procuram exprimir o grau ou a suscetibilidade a situações de congestionamento.

Indicadores como consumo de combustível, emissão de poluentes, número de veículos perdidos na rede, ocupação veicular, entre outros, ainda que se apresentem com bastante importância, não são interessantes para a presente análise pois não exprimem o objeto deste estudo.

Os indicadores elencados acima podem ser utilizados de forma absoluta para a análise das situações pré e pós implantação do PGV. Entretanto, a sua análise está suscetível ao grau de conhecimento do técnico analista com relação à interpretação desses dados. É interessante, pois, que esses indicadores não sejam avaliados de maneira individual e sim relativizados em função de outros parâmetros obtidos da análise do tráfego local.

É possível, portanto, a derivação dos indicadores comumente utilizados na engenharia para análise da operação de tráfego para possibilitar uma análise mais aprofundada das condições de fluidez do sistema. Neste estudo, propõe-se que além dos indicadores primários tais quais o tempo de viagem, tempo de atraso, número de paradas, comprimento de fila, velocidade operacional, sejam utilizados indicadores deles derivados conforme apresentado a seguir:

- O indicador “tempo de viagem”, que procura exprimir a condição de acessibilidade a um determinado empreendimento, pode ser relativizado entre a situação antes e após a implantação desse pólo, de forma a obter o percentual diferencial do tempo de viagem verificado na rede de simulação para se atingir determinado empreendimento. Adotando-se classes de variações percentuais, define-se o grau de comprometimento do sistema em função dessa variação.

$$\% \text{ TV} = \text{TVd}/\text{TVa} \times 100 \quad (\text{Equação 4.1})$$

em que:

%TV = percentual de variação quanto ao tempo de viagem;

TVd = tempo de viagem depois da implantação do PGV, em minutos;

TVa = tempo de viagem antes da implantação do PGV, em minutos;

- Da mesma forma, os indicadores primários “tempo de atraso” e “velocidade média, que representam condições de conforto para o usuário em seu deslocamento, podem ser avaliados quanto a variação entre a medida obtida antes e depois da implantação do Pólo Gerador de Viagem.

$$\%TA = TAd/TAa \times 100 \quad (\text{Equação 4.2})$$

em que:

%TA = percentual de variação quanto ao tempo de atraso;

TVd = tempo de atraso depois da implantação do PGV, em minutos;

TVa = tempo de atraso antes da implantação do PGV, em minutos;

e

$$\Delta VM = VMa - VMd \quad (\text{Equação 4.3})$$

em que:

$\Delta VM$  = Variação da velocidade média

VMa = Velocidade média na seção antes da implantação do PGV;

VMd = Velocidade média na seção depois da implantação do PGV.

- Outro indicador que pode ser derivado consiste na relação entre o comprimento de fila máxima gerada nas seções componentes das aproximações de interseções em função do comprimento máximo de estocagem existente na seção. Dessa forma, avalia-se o grau de utilização da aproximação de forma a verificar se a formação de fila prejudicará o desempenho de interseções a montante ou de outros elementos do sistema viário como, por exemplo, travessias de pedestres no meio da seção.

$$\text{Relação Fila/Estocagem} = F_i^{\text{máx}}/Le_i \quad (\text{Equação 4.4})$$

em que:

$F_i^{\text{máx}}$  = Comprimento máximo de fila observado em uma seção i;

$Le_i$  = Comprimento total de estocagem da seção i.

A Tabela 4.5 apresenta de forma sintetizada os indicadores de desempenho a serem obtidos na análise de Pólos Geradores de Viagem utilizando ferramentas de microsimulação:

**Tabela 4.5: Indicadores de desempenho propostos para análise de PGV**

4.4 - Indicador	4.5 - Forma de Obtenção
Tempo de atraso	Diretamente do simulador
Tempo de viagem	Diretamente do simulador
Número de Paradas	Diretamente do simulador
Velocidade Média	Diretamente do simulador
Percentual de Variação do Tempo de Viagem (%TV)	$\% TV = TVd/TVa \times 100$
Percentual de Variação do Tempo de Atraso (%TA)	$\% TA = TAd/TAa \times 100$
Variação da Velocidade Média ( $\Delta VM$ )	$\Delta VM = VMa - VMd$
Relação Fila/Estocagem	$Relação Fila/Estocagem = F_i^{máx}/Le_i$

Os indicadores de desempenho propostos para a verificação do impacto ocasionado pela implantação de um empreendimento em seu sistema viário não são os únicos possíveis de serem analisado. Contudo, os indicadores acima apresentam-se como de fácil verificação e obtenção por meio da utilização de *softwares* de microsimulação.

#### 4.6 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO

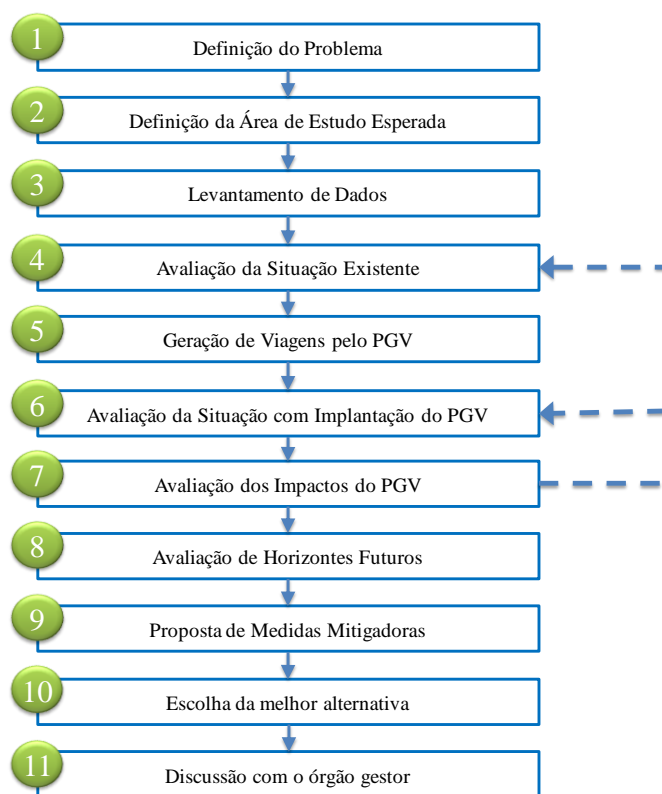
- Os indicadores de desempenho apresentam-se como um objeto fundamental para a avaliação de diversas situações que envolvem a implantação de um Pólo Gerador de Viagem.
- Esses indicadores são importantes para auxiliar o processo de tomada de decisão quanto às medidas a serem tomadas para reduzir o impacto dos PGVs no sistema viário local.
- Contudo, a escolha dos melhores indicadores não é tarefa simples. A escolha equivocada de determinados indicadores pode dificultar a análise pretendida, de forma que se faz necessário obter indicadores que sejam homogêneos, práticos, válidos, independentes, confiáveis, seletivos, simples, econômicos, acessíveis e estáveis.
- Verifica-se na Engenharia de Tráfego uma extensa gama de indicadores que buscam explicar e analisar diversos contextos relacionados tanto quanto ao trânsito quanto ao transporte.

- Na análise de PGVs buscam-se indicadores que permitam avaliar as condições de operação do sistema viário no qual o empreendimento será implantado. Dessa forma, medidas de desempenho como o tempo de atraso, tempo de viagem, formação de filas e velocidades médias operacionais se mostram como aquelas que melhor identificam os problemas de fluidez gerados pelo pólo.
- Entretanto, tais medidas individualizadas são limitadas quanto ao poder de análise, de forma que indicadores derivados destes podem auxiliar o analista na elucidação dos cenários. Assim, propôs-se a utilização de quatro diferentes indicadores no sentido de relativizar a condição de tráfego após a implantação do PGV com a sua condição anterior.

## 5 - MÉTODO PARA ANÁLISE DE PGVs POR MEIO DE FERRAMENTAS DE MICROSSIMULAÇÃO.

A partir dos conceitos apresentados no capítulo anterior, é proposto um método para a análise de Pólos Geradores de Viagem utilizando ferramentas de microsimulação de tráfego, de modo a contribuir com o processo de avaliação dos impactos causados pela implantação desses empreendimentos, auxiliando na proposição de medidas de mitigação desses efeitos e na tomada de decisão por parte dos técnicos analistas e projetistas quanto às melhores alternativas a serem consideradas.

O método proposto consiste basicamente em onze etapas fundamentais, que parte desde a identificação do problema até a sua apresentação ao órgão gestor. O fluxograma geral contendo essas etapas é mostrado na , e o detalhamento de cada uma delas é feito nas seções a seguir.



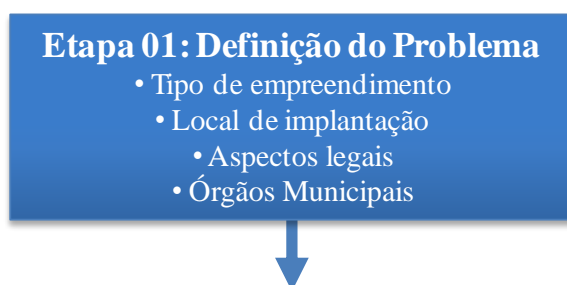
**Figura 5.1:** Fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação



### 5.1 - Etapa 01: Definição do Problema

A primeira etapa desse processo metodológico consiste em identificar qual o tipo de empreendimento alvo da análise e quais as circunstâncias locais nas quais o empreendimento está imerso. Cabe, nessa etapa, verificar os aspectos legais que possibilitam a implantação desse empreendimento no local desejado, consultando os Planos Diretores locais, Código de Edificações do município, normas do sistema viário, entre outros, e identificar quais são os atores envolvidos no processo de aprovação do empreendimento.

A Figura 5.2 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 01



**Figura 5.2:** Etapa 01 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microssimulação

### 5.2 - Etapa 02: Definição da Área de Estudo

Essa etapa consiste na verificação da área de abrangência da análise pretendida, em função das exigências legais e da área esperada de influência do empreendimento, definida com base em observações de empreendimentos similares ou na experiência do técnico responsável pela análise. A área de estudo deve ser mais ampla do que a área de influência esperada, de modo a permitir que a real área de influência seja posteriormente determinada (ver Etapa 07).

A Figura 5.3 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 02



**Figura 5.3:** Etapa 02 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microssimulação.

### **5.3 - Etapa 03: Levantamento de Dados**

Nesta etapa deve-se obter as informações necessárias para a caracterização da área de estudo e do PGV. Nesse sentido, para caracterizar a área de estudo antes da implantação do PGV, deverão ser coletadas informações com relação ao sistema viário local, ao fluxo veicular, aos modos de transporte não motorizados, ao sistema de transporte. É necessário, também, levantar as características físicas e operacionais do empreendimento (em fase de projeto) para a futura estimativa da demanda de viagens produzidas e atraídas pelo PGV nos diferentes modos.

Quanto ao sistema viário, é necessário obter bases geográficas que permitam evidenciar em detalhe a geometria viária, localizando e caracterizando as interseções e trechos de vias. Deve-se fazer o levantamento da hierarquização viária, identificando quais são as vias locais, coletoras, arteriais e expressas do sistema. Além disso, deve ser feito o levantamento quanto às formas de controle adotadas em cada interseção do sistema, se elas operam com sinalização por regra de prioridade (Pare ou Dê a Preferência) ou por sinalização semafórica, devendo-se neste último caso, obter os dados referentes aos planos semafóricos (ciclo, fases, defasagens, etc.).

Com relação ao fluxo veicular, sua caracterização passa por um levantamento do perfil volumétrico do tráfego nas vias da área de abrangência do empreendimento. A partir de pesquisas de contagem volumétrica ou com auxílio de séries históricas obtidas por instrumentos de detecção instalados nessas vias (equipamentos de fiscalização eletrônica, por exemplo), deve-se verificar os horários de pico e entropico do sistema e caracterizar a composição do tráfego, formado por diferentes veículos automotores e não motorizados. É necessário, ainda, verificar os pontos de formação de fila, medindo sua extensão e identificar as velocidades operacionais praticadas nessas vias. Estes últimos elementos são importantes na fase de calibração do microssimulador.

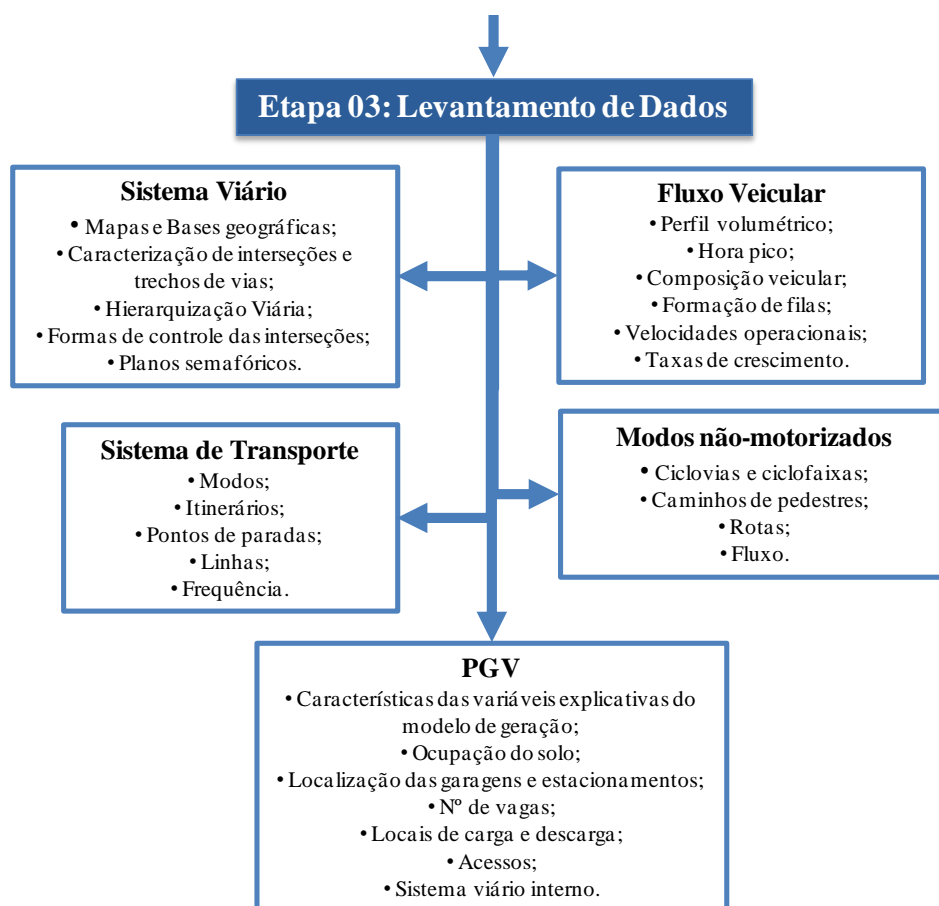
Quanto aos modos não-motorizados, deve-se verificar as facilidades de transporte que possibilitam a sua utilização, tais como a presença de ciclovias e ciclofaixas, calçadas, bicicletários, etc. Deve-se verificar também quais as rotas utilizados pelos usuários desses modos e qual o seu fluxo.

A análise do sistema de transporte passa pela verificação dos modos que atendem a região (ônibus, metrô, trem, etc.), a identificação dos pontos de embarque e desembarque

existentes, a identificação das linhas de ônibus (com o seu itinerário), bem como a frequência de operação dessas linhas.

Por fim, após caracterizar o sistema viário, deve-se fazer a caracterização do Pólo Gerador de Viagem a ser analisado. Nesse sentido, cabe levantar as características do empreendimento inerentes aos modelos de geração de viagens a serem utilizados. Conforme explicado no Capítulo 2, item 2.6.1, a geração de viagens baseia-se em diversas variáveis explicativas próprias a cada modelo. Dessa forma, deve-se verificar para o PGV em questão quais as características consideradas como variáveis explicativas no respectivo modelo de geração. Para vários PGVs, a geração de demanda é função das características físicas do empreendimento, tais como sua área total, área bruta locável, número de unidades habitacionais, etc., enquanto para outros é considerado o número previsto de usuários do empreendimento (por exemplo, número de alunos, número de empregados, etc.). Esses são os dados que devem ser levantados nesta etapa para a análise do comportamento do PGV. Também faz-se necessário obter o nível de ocupação do solo pelo PGV (por exemplo, o número de andares do edifício), localização das garagens e áreas de estacionamento, o número de vagas de estacionamento, locais de carga e descarga de veículos de serviço, além da disposição dos acessos e geometria do sistema viário interno, a fim de caracterizar a sua operação de tráfego. No caso de PGV do tipo instituição de ensino, a variável explicativa mais utilizada para a estimativa da demanda é o número de usuários regulares previstos para a instituição, sobretudo o número de alunos.

A Figura 5.4 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 03.



**Figura 5.4:** Detalhamento da Etapa 03 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

#### 5.4 - Etapa 04: Avaliação da Situação Existente

Após realizar o levantamento dos dados necessários para a execução do estudo, a próxima etapa consiste na avaliação do cenário existente, ou seja, no diagnóstico e caracterização do comportamento do tráfego nas vias componentes da área de estudo sem a presença do Pólo Gerador de Viagem.

Essa é uma etapa de suma importância, pois a rede aqui originada servirá de parâmetro para as próximas análises de cenários considerando o impacto gerado pelo PGV e para horizontes futuros.

Assim, o primeiro passo nessa etapa consiste na montagem de uma rede de simulação no *software* de microsimulação. Essa primeira rede, denominada rede base, deve refletir o comportamento existente do tráfego conforme parâmetros de desempenho verificados em campo, tais como o volume de tráfego em todos os trechos de vias, a formação de filas e o desenvolvimento das velocidades operacionais praticadas nas vias, além de outros.

A montagem dessa rede consiste em, sobre uma base cartográfica georreferenciada, desenhar no simulador todos os nós e arcos (*links*) que constituem as interseções e trechos de vias, respectivamente. O passo seguinte consiste em configurar as formas de controle em todas as interseções, estipulando as regras de prioridade ou os planos semaforicos.

Após o desenho da rede, parte-se para a configuração dos fluxos veiculares. Nesse aspecto, há duas formas de configuração, em função do *software* de simulação a ser utilizado: por meio de uma matriz de origem-destino, com a definição de zonas de tráfego que produzem e atraem viagens, ou por meio da configuração estática dos fluxos, onde em cada aproximação insere-se o volume de tráfego levantado para cada movimento possível. Dependendo da análise, o volume de tráfego pode ser inserido por unidade de veículo padrão (uvp) ou pela própria composição veicular levantada em campo, quantificando o número de automóveis, motocicletas, ônibus, caminhões e demais tipos de veículos.

No caso dos veículos de transporte coletivo, há que se destacar que estes operam sobre um esquema de itinerários pré-definidos e que possuem um comportamento distinto dos demais veículos da rede, já que o número de paradas é mais constante para embarques e desembarques nos pontos de paradas existentes. Dessa forma, deve-se configurar esse comportamento no microssimulador para uma análise mais completa da situação.

Além disso, cabe a configuração dos elementos que representam o comportamento dos modos não-motorizados, configurando os caminhos e pontos de travessia de pedestres, bem como as ciclovias e ciclofaixas, caso existam.

Após a inserção e configuração desses elementos, procede-se a uma primeira rodada de simulação a fim de verificar eventuais erros de configuração da rede. Corrigidos esses erros, parte-se para o processo de calibração e validação do modelo.

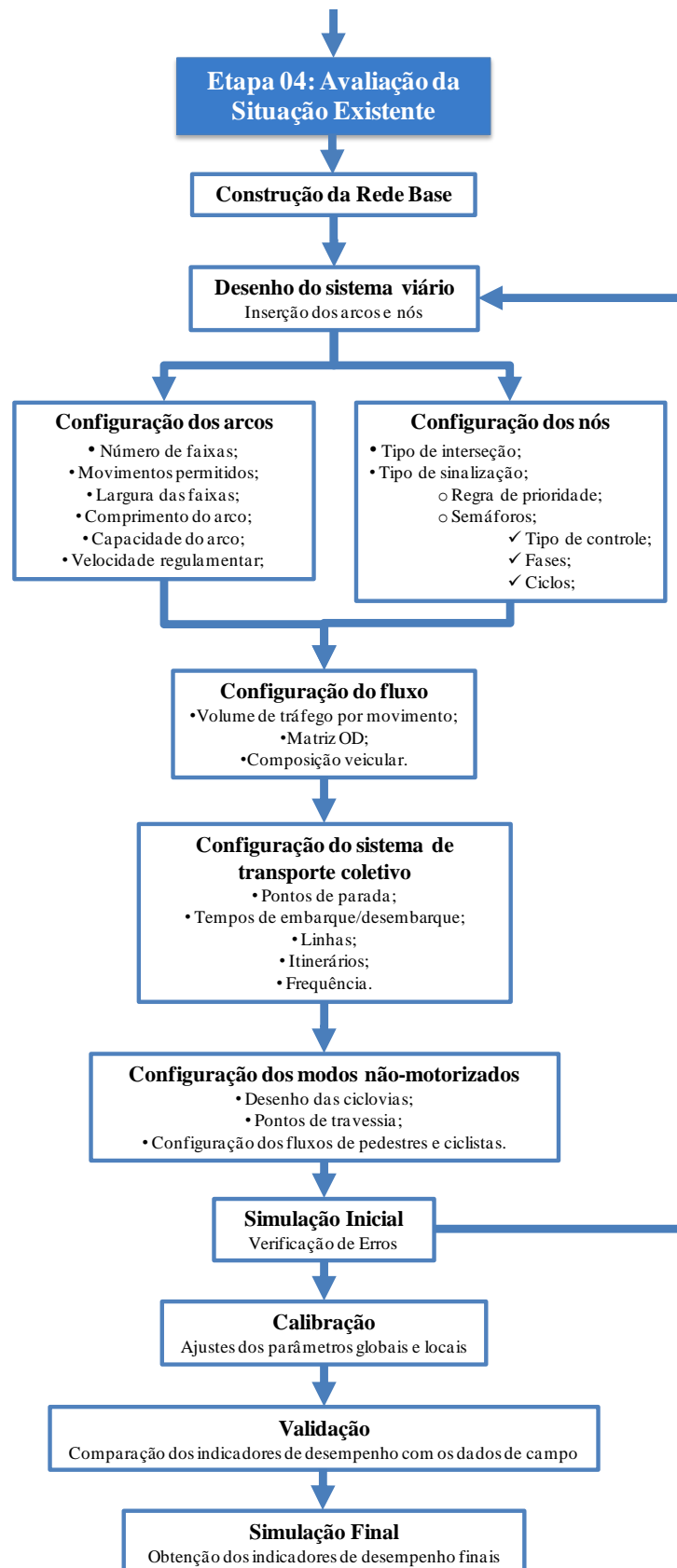
O processo de calibração e validação do modelo de simulação é realizado por meio de ajustes nos parâmetros globais e locais do simulador, de forma que a rede desenvolvida reflita a situação observada em campo. Esse processo iterativo é o que requer maior tempo no processo de simulação, de modo que procedimentos sistematizados tornam-se bastante úteis. Um desses procedimentos pode ser observado no trabalho desenvolvido por Hourdakis *et al* (2003).

Realizada a calibração do modelo e checada a sua validade com os dados verificados em campo, realiza-se a simulação final da rede base de forma a possibilitar a extração dos

indicadores de desempenho necessários para a avaliação do comportamento do tráfego local. Recomenda-se que se desenvolvam diversas rodadas de simulação a fim de uniformizar os resultados em termos de valores médios.

Os indicadores de desempenho devem ser os mesmos a serem verificados em todas redes de análise, que incluem a presença do PGV e as análises para horizontes futuros, a fim de se tornarem objetos de comparação e possibilitar a correta inferência do impacto ocasionado pelo empreendimento nas vias da área de estudo. Conforme exposto no Capítulo 4, propõe-se para a avaliação dos Pólos Geradores de Viagem a utilização de indicadores tais como tempo de atraso, tempo de viagem, número de paradas, velocidade média e relação entre a formação de fila o comprimento de estocagem do arco. Quando os resultados da simulação forem provenientes de detectores virtuais implantados na rede de simulação, os indicadores de desempenho acima referidos não poderão ser obtidos. Nesse caso, a análise deve ser baseada nas medidas de volume, velocidade e densidade disponibilizados pelos detectores virtuais.

A Figura 5.5 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 04.



**Figura 5.5:** Detalhamento da Etapa 04 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

### **5.5 - Etapa 05: Geração de Viagens pelo PGV**

A próxima etapa neste método para análise de Pólo Gerador de Viagens com o uso de ferramentas de microsimulação consiste na estimativa da geração de viagens pelo empreendimento (viagens produzidas e viagens atraídas no período de tempo considerado na análise).

Assim, aplica-se o exposto no Capítulo 2 em que a demanda gerada é calculada por meio dos diversos modelos e taxas de geração existentes, tais como os modelos propostos por ITE (2008), DENATRAN (2001), CET (1983), entre outros.

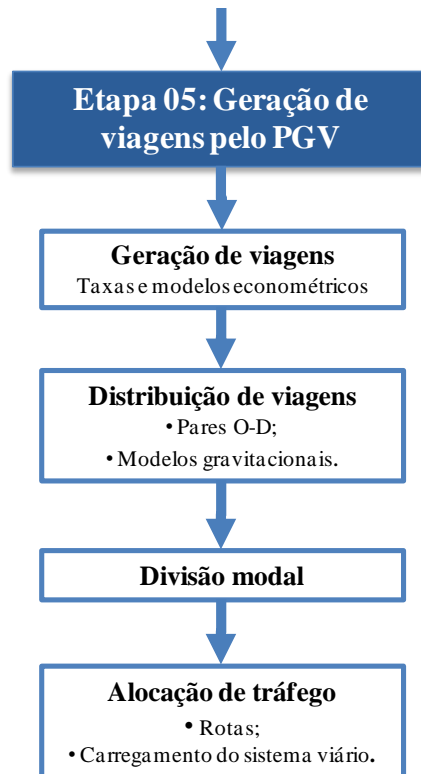
O passo seguinte consiste na distribuição dessas viagens entre pares de origem-destino (pontos representativos de zonas dentro e/ou fora da área de estudo), bem como a distribuição entre os modos de viagem existentes. O PGV será classificado como “origem” para o estudo das viagens produzidas e como “destino” no caso da análise das viagens atraídas. Para tanto, é importante obter elementos que indiquem a atratividade do empreendimento com relação às diferentes zonas, bem como a repartição modal prevista para as viagens geradas. Esses elementos podem ser obtidos: (i) da análise das origens-destinos e repartição modal das viagens realizadas para empreendimentos similares localizados na mesma área; (ii) de estudos de viabilidade econômica realizados pelo empreendedor, onde esteja presente estimativa das origens e modo de transporte referente à demanda prevista para o PGV; (iii) usando recursos computacionais presentes em modelos de simulação mesoscópica ou macroscópica, que são usualmente integrados aos microsimuladores.

Para efeito da alocação direta da demanda gerada na rede viária que serve o empreendimento, é necessário identificar as rotas principais de acesso ao PGV para que todas essas viagens possam ser alocadas nas vias componentes do sistema viário em análise, carregando-o com o volume de tráfego gerado pelo empreendimento. Uma outra alternativa para a alocação da demanda gerada pelo PGV consiste na utilização de recursos de alocação dinâmica do tráfego com o uso de modelos de simulação mesoscópica ou macroscópica, que são usualmente integrados aos microsimuladores.

Definida essa caracterização, parte-se para a análise no simulador da situação com a implantação do PGV.

A Figura 5.6 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 05.





**Figura 5.6:** Detalhamento da Etapa 05 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

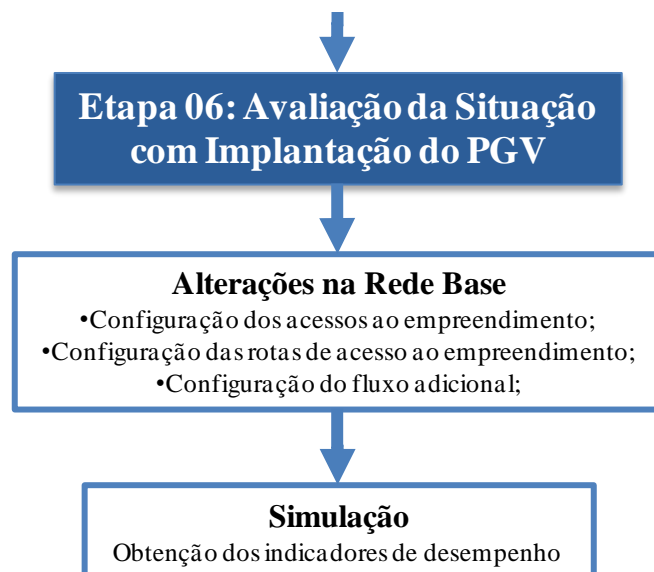
### 5.6 - Etapa 06: Avaliação da Situação com Implantação do PGV

A avaliação da rede com a implantação do pólo gerador de viagem (rede final) passa inicialmente pela complementação da rede base definida na Etapa 04, para efeito da configuração dos arcos e nós que compõem o sistema viário de acesso ao empreendimento, bem como as suas formas de controle. Com os dados de geração de viagens obtidos na Etapa 05, carrega-se a rede final com o volume de tráfego distribuído entre as diversas rotas de acesso ao empreendimento.

Antes de prosseguir com a avaliação do impacto do PGV deve-se simular a rede final carregada a fim de verificar a presença de erros. A verificação e correção de erros nessa rede devem ser realizadas com bastante atenção para não se efetuar alterações que prejudiquem a calibração já desenvolvida, de forma a manter a mesma condição de comparação entre as redes simuladas (rede base e rede final). Não é a intenção corrigir os problemas oriundos do impacto causado pelo empreendimento, e sim apenas de pequenos erros decorrentes do próprio simulador. Dessa forma, esse passo deve ser executado de maneira bastante criteriosa para que os resultados a serem analisados não sejam afetados.

Feito isso, realiza-se a rodada final de simulação e obtêm-se para a rede final os mesmos indicadores de desempenho obtidos para a rede base da Etapa 04. Esses indicadores propiciam a análise comparativa entre as redes da situação existente e com impacto do PGV, possibilitando verificar os pontos da rede que tiveram redução ou melhoria de desempenho com a implantação do empreendimento. Nesse sentido, propõe-se a utilização do percentual de variação do tempo de viagem e do tempo de atraso, a variação da velocidade média por trechos (ou seções) de via e a variação da relação entre a formação de fila e o comprimento de estocagem do arco. Contudo, tal qual exposto na Etapa 04, quando os resultados da simulação forem provenientes de detectores virtuais implantados na rede de simulação, deve-se analisar as variações relacionadas aos indicadores de desempenho referentes às medidas de volume, velocidade e densidade disponibilizados pelos detectores virtuais.

A Figura 5.7 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 06.



**Figura 5.7:** Detalhamento da Etapa 06 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

## **5.7 - Etapa 07: Avaliação do Impacto Produzido pelo PGV**

A partir dos resultados obtidos das simulações da situação existente e da situação com implantação do PGV é possível avaliar o impacto gerado pelo pólo gerador de tráfego nas vias de suas adjacências.

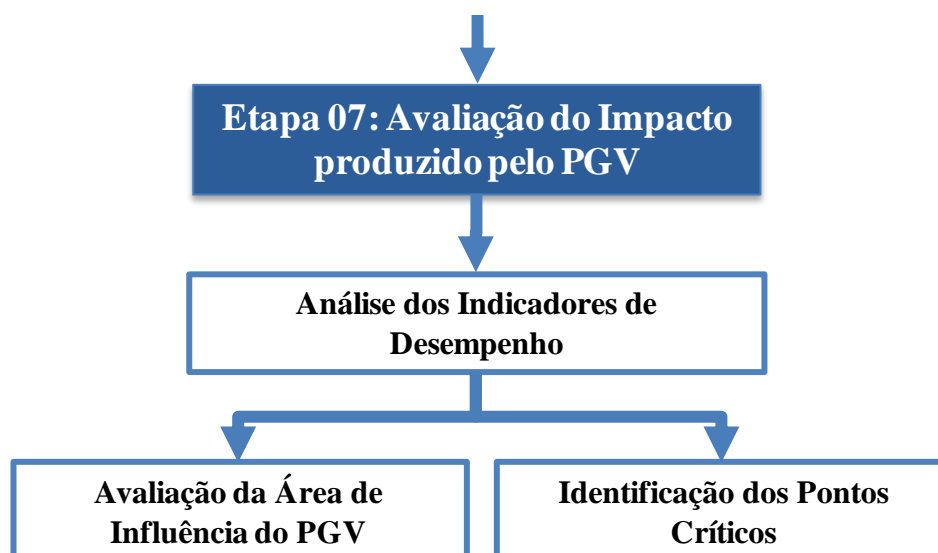
Essa análise pode ser feita a partir da verificação das animações produzidas pelo simulador em que é possível observar o desempenho dinâmico da rede de simulação, além de verificar o comportamento da rede por meio dos diversos diagramas de desempenho produzidos pelo *software*.

Outra forma de avaliar o impacto do empreendimento consiste na análise comparativa dos resultados referentes aos indicadores de desempenho possíveis de serem obtidos no simulador. Essa análise possibilita quantificar a variação desses indicadores decorrente da implantação do PGV, identificando os trechos da rede no âmbito das diferentes áreas possíveis de influência a serem testadas e que sofreram impactos positivos ou negativos. Ou seja, essa análise permitirá identificar a área de influência geral do PGV. Para tal, inicialmente deve-se predefinir raios distintos (estabelecer um valor fixo para a diferença entre raios sucessivos), concêntricos ao local de implantação do PGV, onde serão verificadas as variações dos indicadores de desempenho. Essa análise permitirá identificar os locais em que a diferença entre os resultados observados para as situações antes e depois da implantação do empreendimento se traduzem em impactos significativos à rede. A área de influência do empreendimento, portanto, se estende à medida que são observados impactos significativos nas diversas áreas testadas.

Identificadas essas áreas de influência avalia-se a necessidade ou não de ampliação da área de estudo, revendo o processo metodológico nas Etapas 04 e 06 para a nova rede ampliada.

Como última etapa da avaliação, é possível identificar a partir da comparação de diagramas de desempenho fornecidos pelo simulador a presença de pontos específicos na rede de análise que se tornam críticos em relação à fluidez do tráfego. Esses pontos podem ou não fazer parte da área de influência geral do PGV, identificada na análise anterior.

A Figura 5.8 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 07.



**Figura 5.8:** Detalhamento da Etapa 07 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

### **5.8 - Etapa 08: Avaliação de Horizontes Futuros**

A análise do impacto causado pela implantação de um pólo gerador de viagem nas vias dentro de sua área de influência não deve se restringir apenas ao horizonte de levantamento dos dados, o horizonte atual. Essa análise deve ser extrapolada para cenários futuros a fim de se verificar o comportamento do sistema viário da região com o crescimento natural do tráfego.

Nesse sentido, o primeiro passo consiste na determinação da taxa de crescimento a ser aplicada no fluxo existente, levantado pelas pesquisas de campo.

Essa taxa somente deve ser aplicada ao fluxo originado pelo PGV caso seja possível prever alterações nas características do empreendimento que afetem as variáveis explicativas utilizadas no cálculo da sua demanda. De outro modo, apenas o tráfego de passagem sofrerá alterações, seja em função do crescimento observado da frota, seja em função da implantação de outros pólos geradores de viagens nas imediações do empreendimento em estudo, ou ainda em função da perspectiva de crescimento da zona de tráfego em que o PGV está inserido. Essas são características que devem ser avaliadas em função do planejamento da cidade e das séries históricas da frota veicular.

Definida a taxa de crescimento, expande-se o volume de tráfego de passagem que, somado ao volume de tráfego gerado pelo empreendimento, possibilita a simulação da condição de tráfego futuro, avaliada em função dos indicadores de desempenho definidos nas Etapas 04 e 06.

Cabe ressaltar que o horizonte final de análise depende do tipo de empreendimento em estudo e do volume de tráfego por ele gerado, conforme descrito no Capítulo 02, item 2.6.2.

A Figura 5.9 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 07



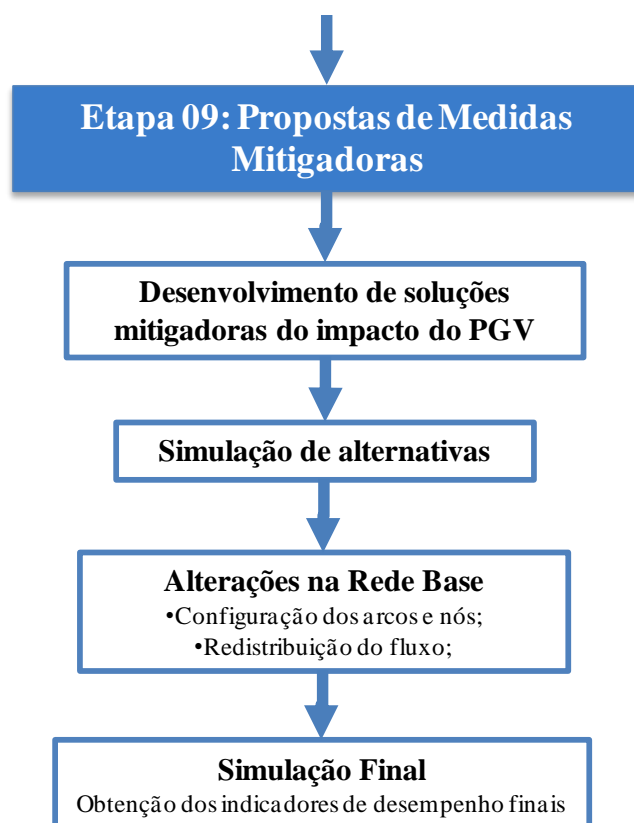
**Figura 5.9:** Detalhamento da Etapa 08 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

### 5.9 - Etapa 09: Propostas de Medidas Mitigadoras

A partir das simulações realizadas para a situação existente, para a situação com o pólo gerador de viagem e para o horizonte futuro, a animação gerada pelo *software* de simulação e os indicadores de desempenho analisados permitem identificar quais os pontos críticos do sistema viário em estudo com relação à fluidez do tráfego..

Esses locais devem ser analisados profundamente a fim de detectar quais são os fatores que ocasionam esses gargalos. Dessa forma, podem ser propostas uma série de medidas mitigadoras para solucionar os problemas advindos do aumento do fluxo veicular na região em função da implantação do empreendimento e do crescimento natural do tráfego. Essas medidas podem variar desde novos projetos geométricos, adotando soluções que afetam diretamente o sistema de circulação local, até medidas de incentivo ao uso do transporte público e de modos não-motorizados, passando por alterações de sinalização e reprogramação semafórica.

A Figura 5.10 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 07



**Figura 5.10:** Detalhamento da Etapa 09 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

#### **5.10 - Etapa 10: Escolha da melhor alternativa**

O uso do simulador permite que se testem as mais diversas alternativas, auxiliando a equipe técnica de análise na tomada de decisão.

As possibilidades de soluções para a mitigação do impacto são as mais diversas possíveis. Entretanto, é necessário que qualquer que seja a proposta de solução, esta seja replicada no simulador a fim de certificar que essa medida de fato contribui para a melhoria do sistema viário na área de influência do empreendimento.

É possível, ainda, testar mais de uma proposta de forma a identificar a que se apresenta como a melhor solução, seja do ponto de vista do tráfego, seja do ponto de vista econômico, social, ambiental, etc.

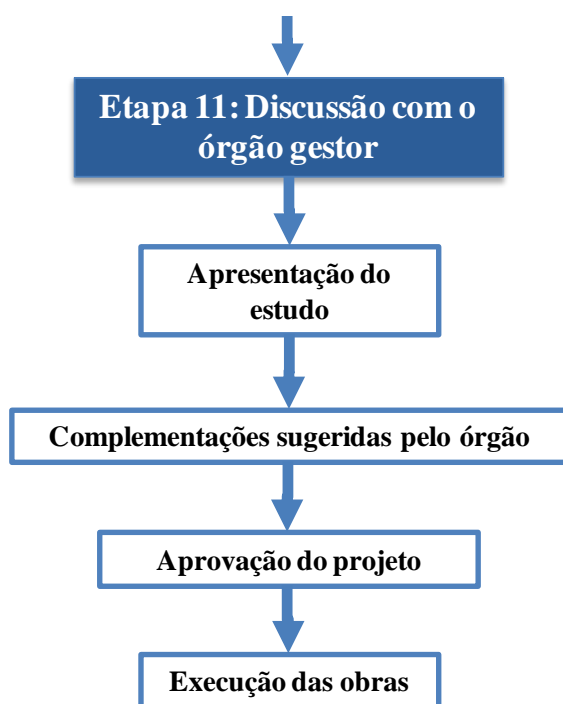
Após a definição da melhor solução deve-se detalhá-la em caráter funcional para que seja submetido à análise do órgão de trânsito local.

### 5.11 - Etapa 11: Discussão no âmbito do órgão gestor

Definida tecnicamente qual a melhor solução para mitigação do impacto gerado pelo PGV, o estudo deve ser submetido à aprovação da equipe técnica do órgão gestor responsável pelas vias da área de influência do empreendimento. Esta equipe, levando em conta o planejamento estratégico, tático e operacional do órgão gestor, poderá fazer diversas exigências e alterações nos projetos relacionados à solução inicial apresentada. Essas modificações devem ser simuladas a fim de permitir a avaliação da sua eficácia.

Após a aprovação do estudo, o órgão gestor deve conceder autorização para a execução das obras de implantação do pólo gerador de viagem, bem como a autorização para a execução dos projetos de mitigação dos impactos causados por essa implantação. Nesta etapa deve ser definido, ainda, quem arcará com os custos da execução das obras de alteração do sistema viário, podendo ser o empreendedor ou o órgão público, ou ainda os dois.

A Figura 5.11 apresenta sinteticamente as atividades a serem desempenhadas na Etapa 07.



**Figura 5.11:** Detalhamento da Etapa 11 do fluxograma do método para análise de PGV com o uso de ferramenta de microsimulação.

## **6 - APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO: ESTUDO DE CASO**

O presente capítulo refere-se ao desenvolvimento de um estudo de caso onde se fez uso do método para análise de pólos geradores utilizando ferramentas de microsimulação, proposta no Capítulo 5.

A intenção deste estudo é de verificar a objetividade do método e realizar, se for o caso, ajustes na proposta inicial de maneira a se obter um método sistematizado, passível de ser aplicado às mais diversas situações e tipos de PGVs.

As ferramentas comerciais de microsimulação existentes são muito semelhantes entre si, possuindo os mais variados recursos para a análise de redes de simulação. O estudo de caso ora apresentado foi desenvolvido utilizando a ferramenta de microsimulação denominada Aimsun, da empresa espanhola TSS, adquirida na versão 6 pelo Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília. A escolha dessa ferramenta deveu-se ao fato de que, além de sua disponibilidade no PPGT, essa ferramenta de fácil utilização possui um bom potencial para a análise de PGV, já que engloba diversas funcionalidades que permitem a construção, calibração e validação do modelo, além de possuir uma extensa lista de indicadores de desempenho para a verificação dos resultados das simulações.

O desenvolvimento do estudo utilizando esta ferramenta refere-se à análise de uma situação hipotética em que foi selecionado um terreno pertencente a uma cidade do Distrito Federal e nele foi implantado um Pólo Gerador de Viagem. A implantação deste empreendimento de fato não está realmente prevista para a área escolhida, porém constitui um exercício para a verificação da aplicabilidade do método proposto para análise de PGV. As etapas de desenvolvimento desse estudo serão detalhadas a seguir.

### **6.1 - DEFINIÇÃO DO TIPO DE PÓLO GERADOR DE VIAGEM A SER CONSIDERADO**

Inicialmente, antes de se desenvolverem as etapas do método proposto é necessário estabelecer que tipo de Pólo Gerador de Viagem será analisado neste estudo de caso. Assim, optou-se por analisar inicialmente o comportamento de uma instituição de ensino superior, uma vez que há no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília uma linha de pesquisa direcionada à análise desse tipo de empreendimento. Dessa forma, além de um interesse maior pela avaliação do



comportamento desse tipo de PGV, há uma massa de dados e informações bastante significativa que possibilita uma análise mais detalhada acerca dos impactos gerados pela implantação desses empreendimentos nas vias de sua área de influência.

Neste estudo, portanto, utilizou-se os dados referentes a uma Instituição de Ensino Superior localizada na Região Administrativa do Guará, no Distrito Federal, conforme apresentado no trabalho de Nunes(2005) e Souza (2007).

## 6.2 - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO PGV

Conforme mencionado, a presente análise trata-se do estudo de um PGV em um local onde originalmente não há a previsão de sua implantação. Dessa forma, definido o tipo de pólo gerador, cabe selecionar o terreno no qual ele será implantado.

Nesse sentido, selecionou-se o terreno apresentado na Figura 6.1 a seguir.

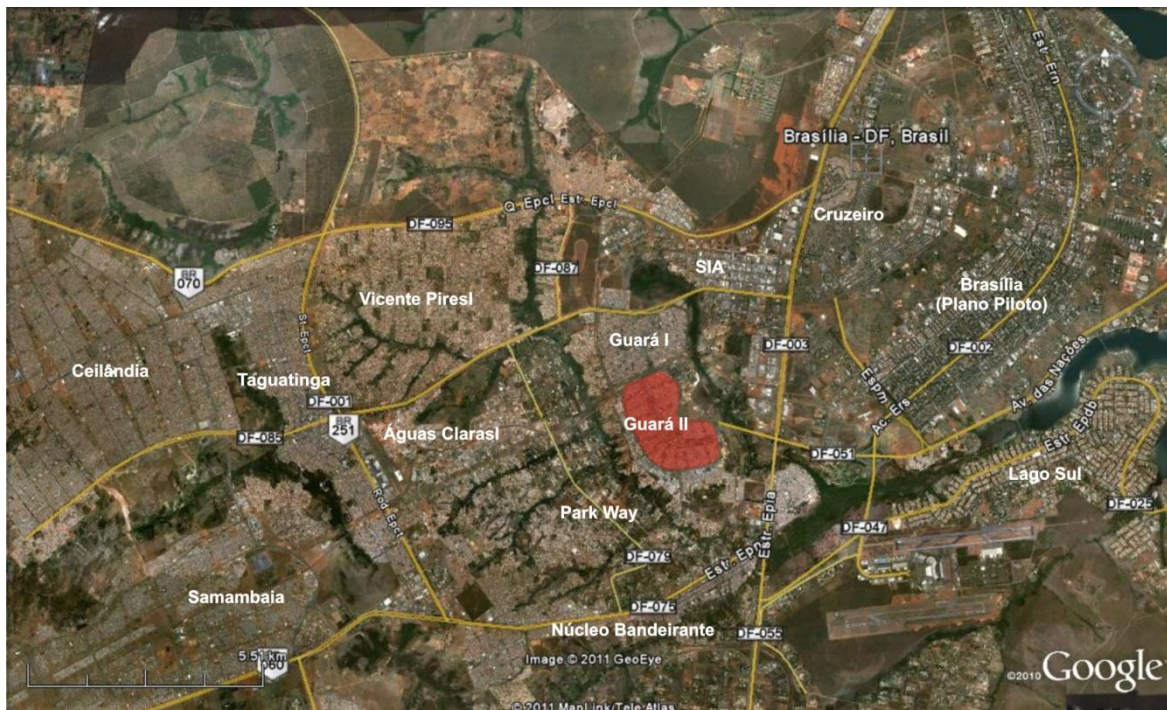


**Figura 6.1:** Terreno selecionado para implantação do PGV

A escolha desse terreno, localizado na cidade do Guará II no Distrito Federal, deve-se ao fato de que a característica singular do planejamento urbanístico de Brasília não possibilita que o tipo de análise pretendida neste trabalho possa ser replicada para situações distintas, apresentadas em outros centros urbanos. Contudo, o sistema viário do Guará possui uma semelhança maior com as malhas viárias de outras cidades brasileiras, de forma que se

acredita que a análise desenvolvida para esse local pode servir como referência para outras situações semelhantes.

A Figura 6.2 situa a cidade do Guará II em relação às demais cidades ao seu redor.



**Figura 6.2:** Localização do Guará II no Distrito Federal

## **6.3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO**

### **6.3.1 - Etapa 01: Definição do Problema**

O estudo proposto consiste na avaliação de uma Instituição de Ensino Superior a ser implantada na QE 40, lotes C e D, do Guará II, sendo considerado o comportamento do tráfego local para o período de entrada de estudantes e funcionários no turno matutino, no horário compreendido entre 07h00 e 08h00.

De acordo com o Plano Diretor Local da Região Administrativa do Guará (DISTRITO FEDERAL, 2006), o terreno de implantação do empreendimento enquadra-se, segundo o grau de restrição de atividades, na categoria de lote por uso em nível de restrição 3 (R3), em que há baixa restrição quanto ao uso comercial, industrial e coletivo ou institucional. Dessa forma, de acordo com a legislação local é permitido a implantação de uma instituição de ensino superior no lote em questão.

Quanto aos agentes envolvidos na aprovação do empreendimento, destacam-se a Administração Regional, responsável por fornecer o Alvará de Construção e o Habite-se, o

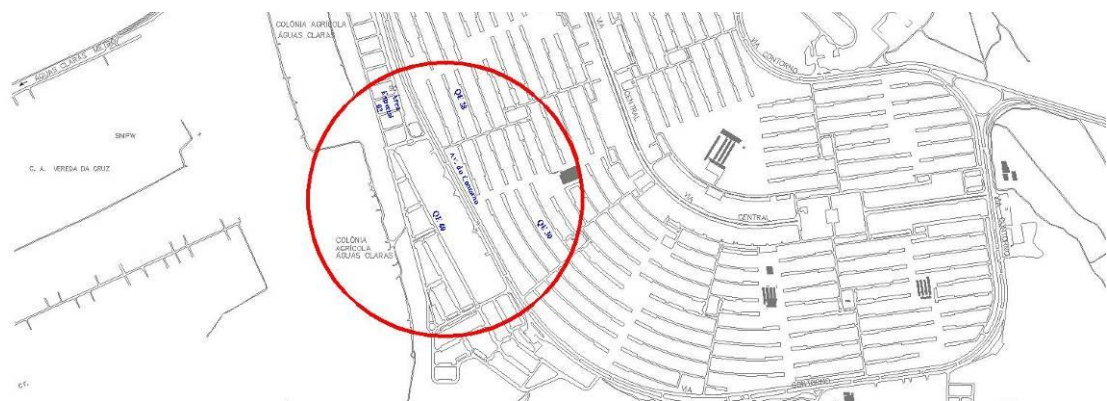


Departamento de Trânsito do Distrito Federal, responsável por aprovar o estudo de impacto de tráfego, a Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitacional, responsável por verificar as questões referentes ao ordenamento urbano e territorial e a Secretaria de Obras, responsável por autorizar e executar mudanças no sistema viário.

### 6.3.2 - Etapa 02: Definição da Área de Estudo

A definição da área de estudo está condicionada, em uma primeira análise, aos requisitos mínimos exigidos pela legislação distrital. Entretanto, apesar de existirem algumas diretrizes por parte dos órgãos de trânsito locais (DETRAN-DF e DER-DF) no que tange à avaliação de PGV, essas orientações não são normatizadas (GDF, 2010).

As vias do entorno do lote em análise estão sob a jurisdição do Departamento de Trânsito do Distrito Federal – DETRAN-DF. Em seu sítio eletrônico, o órgão estabelece que a análise de impacto de um pólo gerador de viagem deve ser realizada em uma extensão de 500 metros em todas as aproximações do local de interesse (DETRAN-DF, 2011). Nesse aspecto, a área do estudo envolve o sistema viário apresentado na Figura 6.3, composto pela Avenida do Contorno e as vias locais da QE 28, QE 30, QE 40 e Área Especial 2.



**Figura 6.3:** Área de Estudo Legal

Entretanto, a estrutura metodológica proposta e aplicada a esse estudo intenciona avaliar se essa área de estudo legalmente estabelecida constitui-se de fato na área de influência do PGV. Nesse sentido, a área de estudo será ampliada, englobando todo o sistema viário do Guará II, conforme apresentado na Figura 6.4.



**Figura 6.4:** Área de Estudo Ampliada

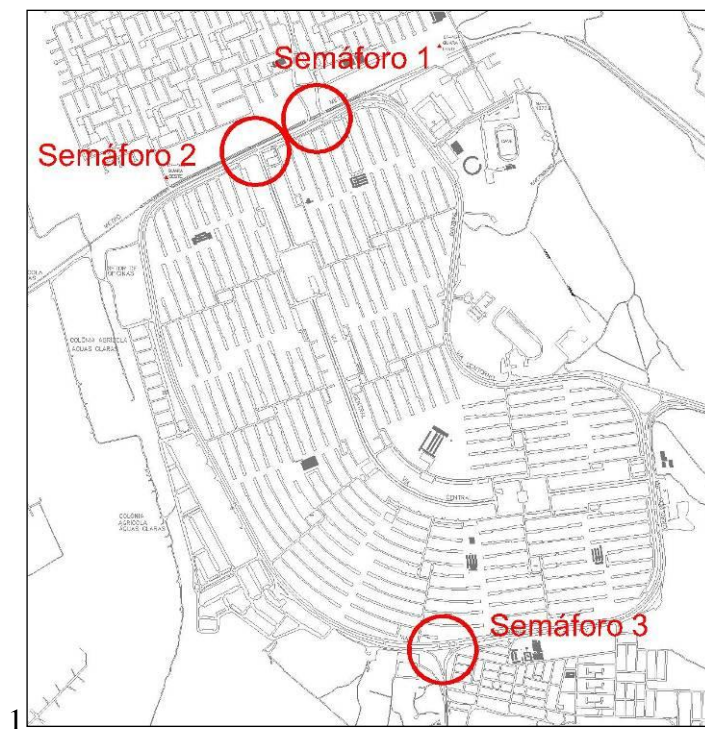
### **6.3.3 - Etapa 03: Levantamento de Dados**

Nesta etapa foram coletadas todas as informações que permitiram caracterizar a área de estudo e o pólo gerador de viagem em análise. Dessa forma, foram feitos levantamentos com relação ao sistema viário local, ao fluxo veicular e ao sistema de transporte.

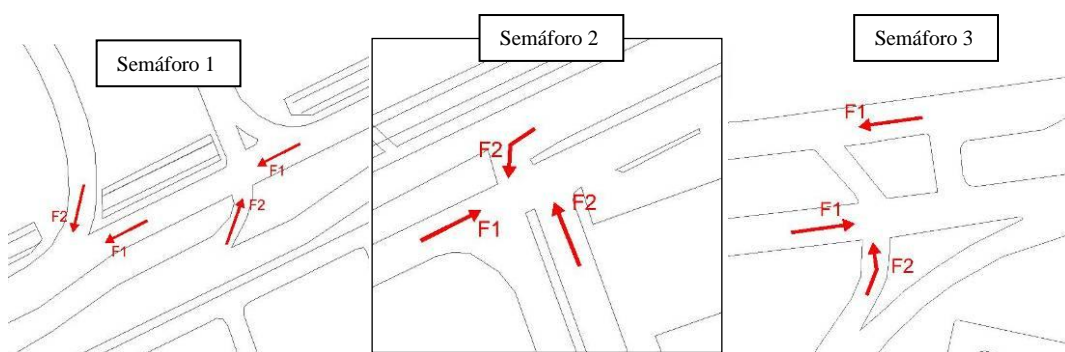
#### **6.3.3.1 - Dados do sistema viário**

Quanto ao sistema viário, obteve-se a base cartográfica da cidade do Guará II por meio do Sistema Cartográfico do Distrito Federal - SICAD, em escala 1:10.000, onde foi possível identificar a geometria viária da região, com o comprimento e largura dos trechos de vias, a localização e tipificação das interseções, além do posicionamento dos retornos junto ao canteiro central. Em visita a campo, e com auxílio de fotografias de satélite extraídos do programa *Google Earth*, verificou-se o número de faixas em cada trecho de via e os tipos de controle existentes nas interseções, quer sejam por meio de controles semafóricos, quer sejam por meio de sinalização regulamentar do tipo “Pare” ou “Dê a Preferência”.

Há no Guará II três interseções semaforizadas, cuja localização é mostrada na Figura 6.5, de forma que se fez necessária a obtenção dos planos semafóricos, com seus tempos de ciclos e distribuição de tempos de verde, amarelo e vermelho. Essas informações coletadas em campo são apresentadas na Figura 6.6 e na Tabela 6.1.



**Figura 6.5:** Localização dos semáforos



**Figura 6.6:** Fases semafóricas

**Tabela 6.1:** Ciclos e tempos semafóricos

<b>Interseção 01</b>						
<b>CICLO:</b>	<b>90 s</b>					
<b>Fase/Intervalo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>F 1</b>	V	A	R	R	R	R
<b>F 2</b>	R	R	R	V	A	R
<b>Tempo (s)</b>	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>55</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Interseção 02</b>						
<b>CICLO:</b>	<b>96 s</b>					
<b>Fase/Intervalo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>F 1</b>	V	A	R	R	R	R
<b>F 2</b>	R	R	R	V	A	R
<b>Tempo (s)</b>	<b>41</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Interseção 03</b>						
<b>CICLO:</b>	<b>90 s</b>					
<b>Fase/Intervalo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>F 1</b>	V	A	R	R	R	R
<b>F 2</b>	R	R	R	V	A	R
<b>Tempo (s)</b>	<b>53</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Na Figura 6.6 e Tabela 6.1, o termo “fase” corresponde à porção do tempo de ciclo alocada para um ou mais movimentos de tráfego, sendo formada pelos intervalos verde, amarelo e vermelho geral. A soma do tempo de duração das fases é igual ao tempo de ciclo.

#### 6.3.3.2 - Dados do fluxo veicular

A caracterização do fluxo veicular foi realizada por meio das matrizes de origem-destino apresentadas no Plano Diretor de Transporte Urbano do Distrito Federal (GDF, 2008). Além disso, foi realizada uma pesquisa de contagem volumétrica classificada no trecho da Avenida do Contorno situado em frente ao empreendimento, de modo a possibilitar a posterior validação do modelo com dados obtidos em campo.

A rigor, além do volume de tráfego, informações referentes à formação de filas, velocidades operacionais e taxas de crescimento do fluxo deveriam ter sido levantadas para a completa aplicação do método proposto. Esses elementos, além de melhor caracterizarem o comportamento do fluxo, são úteis na etapa de calibração e validação do modelo de microsimulação. Entretanto, por ser este um estudo hipotético com o intuito principal de testar a eficiência do método, a etapa de calibração foi realizada de forma menos detalhada. Assim, a identificação de pontos de formação de filas e suas extensões foi realizada por

meio de visitas a campo e do conhecimento prévio do local, as velocidades operacionais foram substituídas pelas velocidades regulamentares, e não se realizou levantamento de dados que permitissem obter a taxa de crescimento veicular local.

#### 6.3.3.3 Dados do sistema de transporte

A caracterização do fluxo veicular é complementada pela análise do sistema de transporte público da região. Inicialmente, identificou-se que a região administrativa do Guará é atendida, neste quesito, pelos modos metrô e ônibus. Entretanto, na área de estudo não há acesso às estações do sistema metroviário. Assim, quanto ao transporte coletivo por ônibus identificou-se por meio de fotografias de satélite e por visitas a campo os terminais e pontos de parada que atendem esse sistema de transporte.

Outro levantamento realizado consistiu na procura por informações acerca das linhas de ônibus. Nesse sentido, buscou-se junto aos órgãos responsáveis pelo controle da operação do sistema as informações acerca dos itinerários das linhas, suas frequências e tabelas horárias. Contudo, pelo difícil acesso a essas informações, que não estão facilmente divulgados aos usuários nos canais de comunicação do governo, recorreu-se ao banco de dados do PDTU-DF, tendo sido verificado um total aproximado de 50 linhas de ônibus que se originam ou que passam pelo Guará II. Dessa forma, foi possível identificar as linhas existentes e seus itinerários e frequências. Contudo, como não havia disponível a tabela de horários, que permitisse avaliar quais linhas operam nesta região no horário de pico estudado, optou-se por agregar as linhas em 13 itinerários principais com *headways* de dez a vinte minutos, possibilitando que seja representado o comportamento do sistema de transporte público no modelo de simulação, ainda que de maneira superficial.

#### 6.3.3.4 - Dados do Pólo Gerador de Viagem

Conforme mencionado, esse estudo de caso refere-se ao caso hipotético de implantação de uma Instituição de Ensino Superior em um local previamente definido no Guará II. Os modelos de geração de viagens propostos para esse tipo de empreendimento levam em conta variáveis explicativas tais como a área construída e/ou o número de alunos matriculados nestas instituições.

Ocorre que neste estudo optou-se por trabalhar com dados de uma faculdade real. Dessa forma, utilizando os dados apresentados por Souza (2008) e Nunes (2005) obteve-se os dados para a caracterização de um empreendimento já existente no Guará I. A idéia é

hipoteticamente aplicar no terreno identificado na QE 40 do Guará II um empreendimento com as mesmas características daquele estudado por essas autoras.

Assim, obteve-se as características para o PGV em questão, apresentadas na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2:** Características da Instituição de Ensino Superior em estudo.

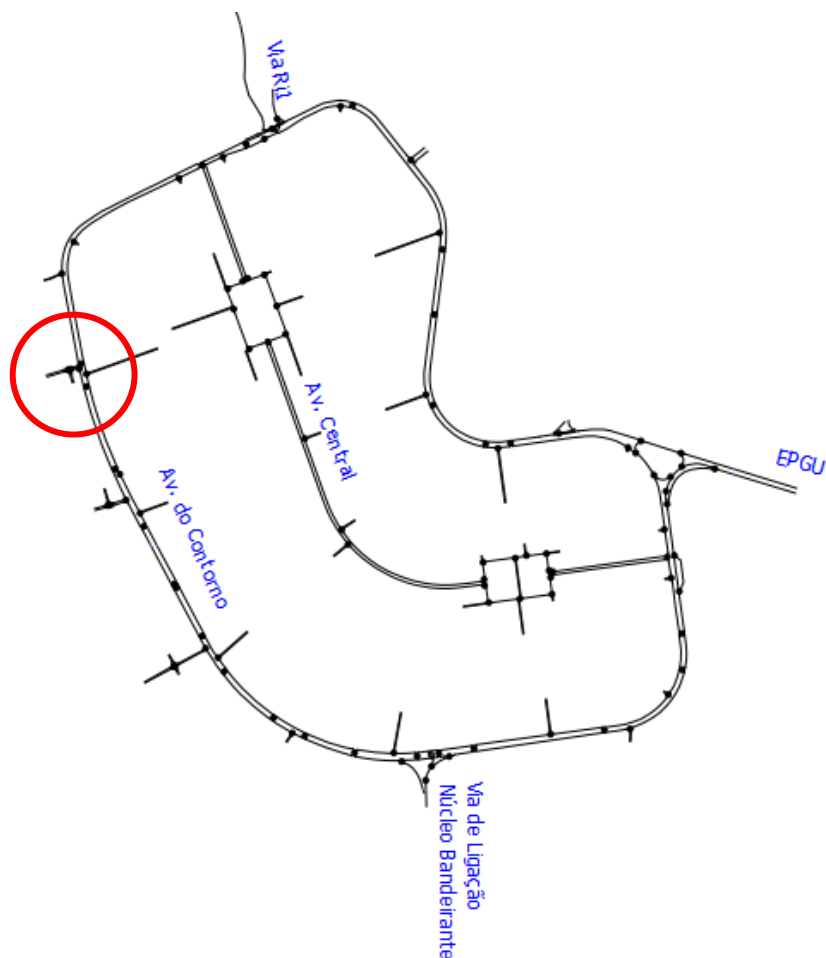
Área construída	14.536,00 m <sup>2</sup> *
Número de alunos	969*
Número de professores/funcionários	252*
Forma de acesso	1 portão de acesso *
Número de vagas de estacionamento	171**

\* Fonte: Souza (2008)    \*\* Fonte: Nunes (2005)

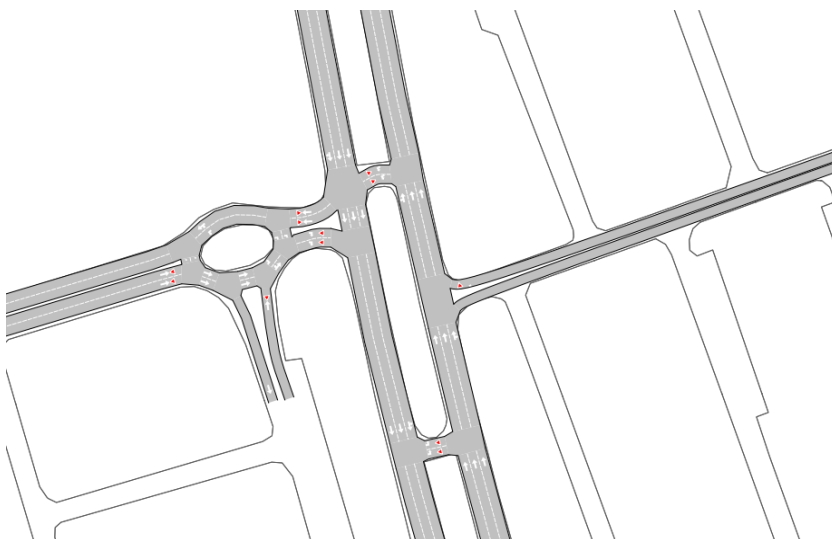
#### **6.3.4 - Etapa 04: Avaliação da Situação Existente**

Após a etapa de levantamento dos dados necessários ao desenvolvimento do estudo, partiu-se para o desenvolvimento da rede base de simulação. Dessa forma, inseriu-se no *software* de simulação a base cartográfica da região e sobre ela foram desenhados os arcos e nós que representam os trechos de vias e interseções, respectivamente. Em seguida, esses elementos foram configurados com as informações referentes ao tipo de via, número e largura das faixas, velocidade máxima permitida, etc, no caso dos arcos e, no caso dos nós, com as informações referentes à tipologia das interseções e às formas de controle utilizadas em cada uma delas. No caso das interseções semaforizadas, configurou-se ainda os ciclos e tempos semafóricos a partir das informações coletadas em campo. A Figura 6.7 a seguir apresenta de maneira geral o desenho viário da rede base e a Figura 6.8 apresenta o detalhe de uma interseção desta rede, inserida no círculo em vermelho da Figura 6.7.





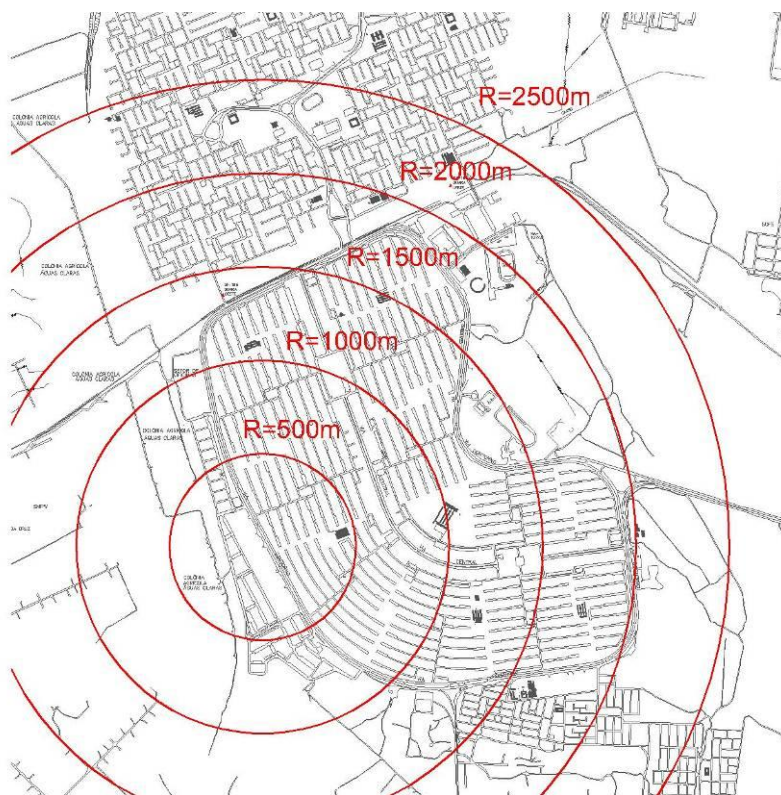
**Figura 6.7:** Desenho viário da rede base (visão geral)



**Figura 6.8:** Detalhe da rede base

Um dos objetivos do método proposto para análise de PGV com o uso de microsimulador é avaliar a área de influência do impacto ocasionado pela implantação desse tipo de empreendimento nas vias de seu entorno. Para permitir essa avaliação, definiram-se áreas

de influência do empreendimento a partir do traçado de raios concêntricos com relação ao local de implantação do PGV, variando de 500 em 500 metros, a fim de se verificar a abrangência de seu impacto, conforme apresentado na Figura 6.9.

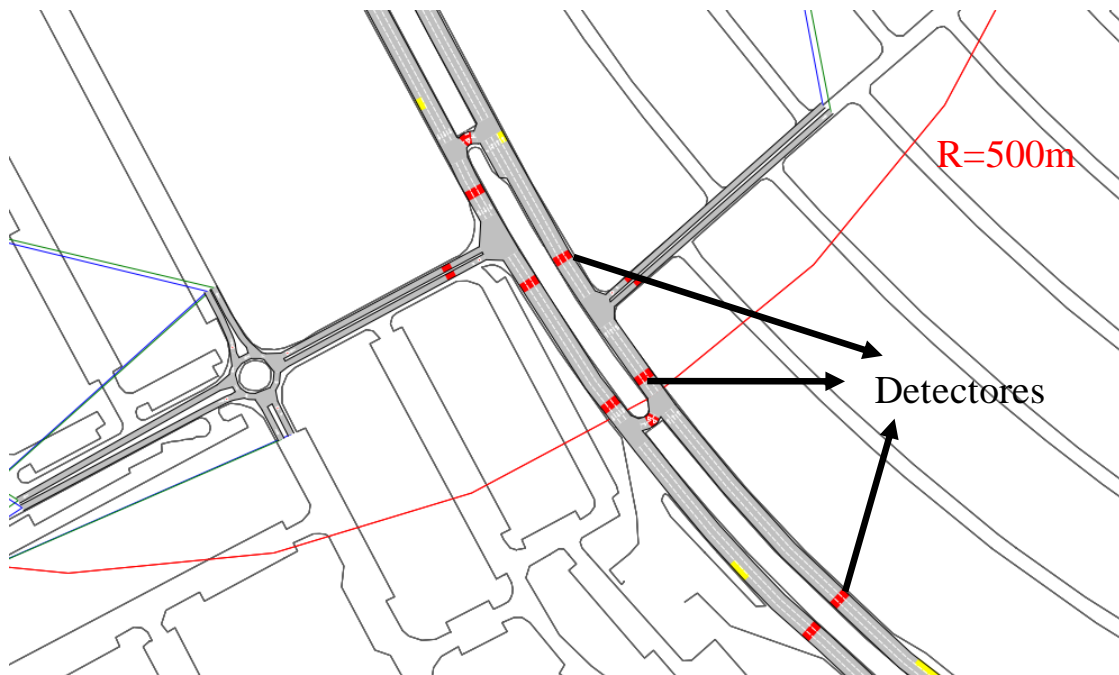


**Figura 6.9:** Raios de Influência do PGV

É importante salientar que para uma correta avaliação do impacto a partir dessas isócontas pré-definidas, deve-se ter o cuidado de desenhar a rede de forma a possibilitar que os arcos e nós estejam plenamente definidos dentro de cada área de abrangência em análise. Contudo, pela limitação da versão acadêmica do *software* utilizado neste estudo com relação ao número de nós permitidos na rede, a análise do comportamento do fluxo foi realizada por meio da inserção de detectores virtuais nos arcos representativos dos trechos de vias. Dessa forma, foi possível extrair os indicadores de desempenho para cada área de influência em avaliação.

Assim, além do desenho dos arcos e nós, procedeu-se à locação dos diversos detectores. Se o arco estivesse totalmente localizado dentro da faixa entre dois raios de influência, o detector foi alocado no ponto médio do comprimento do arco. Porém, se o arco possuisse um comprimento que transpassasse duas faixas, o detector foi alocado no limite da fronteira entre faixas, sempre na área interna da isóconta de menor raio. Para facilitar a

identificação dos detectores, esses elementos foram nomeados de acordo com a isóclota definidora da área à qual ele pertencia. A Figura 6.10 a seguir apresenta um exemplo da configuração dos detectores na rede de simulação.



**Figura 6.10:** Implantação de detectores na rede de simulação

Desenhada a geometria da rede, deu-se início ao processo de configuração do fluxo veicular com a intenção de realizar o carregamento da rede de simulação. Essa atividade foi realizada por meio dos dados das matrizes de viagens obtidos do PDTU-DF (GDF, 2008) e consistiu em definir, inicialmente, as zonas de tráfego da região responsáveis pela produção e atração de viagens na rede.

Para a definição das zonas de tráfego, inicialmente realizou-se uma etapa de tratamento da matriz original apresentada no PDTU-DF. Neste documento, estão consolidadas as informações dos deslocamentos veiculares realizados entre todas as cidades do Distrito Federal e do entorno, a partir de uma matriz 19x19, representando as 18 macrozonas referentes a cada Região Administrativa do DF e 1 macrozona referente ao entorno. Essa matriz é apresentada na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3:** Matriz de viagens de veículos de transporte individual no pico manhã

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total
		Bra	Gam	Tag	Brz	Sob	Plan	Par	NB+C	Cei	Gua	Cru	Sam	StM	SSb	Rec	LSul	RFun	LNor	Ent	
1	Bra	40.885	297	1.230	7	691	176	193	744	301	1.795	1.030	212	109	210	86	3.154	77	857	347	52.401
2	Gam	834	1.751	322	3	11	2	6	118	67	111	81	55	89	34	37	492	20	15	50	4.098
3	Tag	11.077	938	11.610	160	108	21	32	1.231	2.401	1.685	166	1.170	166	57	380	465	323	138	64	32.192
4	Brz	527	11	213	565	14	2	3	7	116	31	6	25	1	0	3	2	3	8	0	1.539
5	Sob	6.777	13	96	5	2.670	567	205	28	27	116	59	8	4	55	2	282	2	113	0	11.031
6	Plan	1.469	3	16	1	772	1.920	63	6	4	22	11	1	1	17	0	87	0	34	79	4.508
7	Par	2.028	4	32	0	74	18	84	13	7	44	28	3	2	48	0	215	1	49	0	2.650
8	NB+C	2.567	112	479	3	40	10	13	547	61	462	296	59	34	18	26	1.005	28	57	0	5.818
9	Cei	3.298	456	4.426	143	34	7	10	296	3.339	370	33	1.081	72	31	260	59	117	47	0	14.078
10	Gua	5.748	243	2.215	14	123	32	18	564	581	3.246	779	207	77	23	42	644	45	178	371	15.150
11	Cru	6.390	91	462	3	118	29	36	189	118	774	994	48	26	24	12	542	13	171	0	10.041
12	Sam	1.491	343	2.621	30	14	2	7	452	876	491	88	665	54	56	146	249	124	15	0	7.723
13	StM	1.429	1.223	219	2	22	5	15	183	45	175	128	34	308	80	25	664	13	30	368	4.968
14	SSb	1.655	27	52	0	62	19	61	41	2	8	8	6	16	514	2	744	4	77	0	3.300
15	Rec	536	285	806	4	3	0	8	230	176	100	61	125	65	42	176	218	46	2	0	2.882
16	LSul	5.876	63	272	1	65	13	37	147	32	227	182	43	19	52	17	679	17	78	41	7.862
17	RFun	712	189	896	4	13	3	6	259	142	154	118	126	39	20	66	200	77	18	302	3.342
18	LNor	4.970	30	156	1	171	38	57	59	39	237	132	14	7	27	4	220	4	575	0	6.739
19	Ent	2.799	668	1.079	0	180	276	10	335	178	705	56	201	273	79	20	618	26	140	10.385	18.027
Total		101.066	6.747	27.204	947	5.186	3.141	865	5.449	8.513	10.754	4.254	4.082	1.362	1.389	1.304	10.539	941	2.604	12.007	208.351

Fonte: PDTU-DF (GDF, 2008)

Contudo, a fim de avaliar as condições de tráfego do Guará II, foi necessário identificar os deslocamentos veiculares com origem e/ou destino a essa cidade, além de identificar as viagens realizadas entre as suas zonas internas. O banco de dados do PDTU-DF apresentava em maior grau de detalhe os deslocamentos entre 417 zonas de tráfego do Distrito Federal e entorno, dos quais se obteve apenas aqueles de interesse à área de estudo, focando os pares O-D em que o Guará II consiste em um desses elementos. Nesta massa de informações, as zonas de tráfego 119, 120, 121, 122, 123 e 130 foram identificadas como as zonas representativas do Guará II. As demais zonas de tráfego consistiam em zonas externas, que foram agrupadas em três zonas de tráfego baseadas nos acessos principais ao Guará II (via Ri 1, EPGU e via de ligação com Núcleo Bandeirante).

Entretanto, a abrangência espacial das zonas de tráfego internas da forma como foi estabelecida no PDTU-DF necessitava de um maior detalhamento, em função da densidade populacional observada nessas zonas. Nesse sentido, e visando propiciar uma melhor distribuição da geração de veículos na rede de simulação e, conseqüentemente, representar melhor o comportamento do tráfego local, dividiu-se as zonas de tráfego internas 120, 121 e 123 em três subzonas e as zonas de tráfego 119 e 130 em duas subzonas. Apenas a zona 122 se manteve tal qual o estabelecido pelo PDTU-DF já que apresenta uma pequena densidade populacional. A matriz de deslocamentos, portanto, foi modificada dividindo as viagens em cada zona pela área espacial inerente a cada subzona de tráfego. A Figura 6.11 a seguir apresenta as zonas de tráfego internas e externas utilizadas na análise e a Tabela 6.4 apresenta a matriz de deslocamentos com origem ou destino ao Guará II, utilizada no carregamento do fluxo de veículos individuais da rede base.





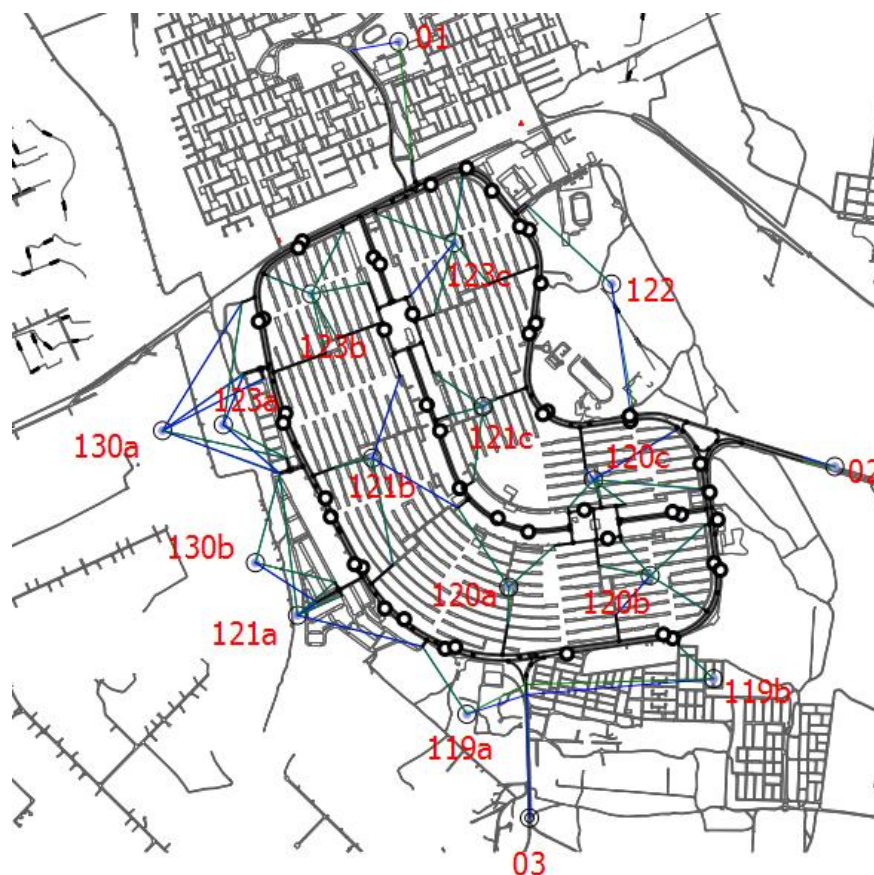
**Figura 6.11: Zonas de Tráfego**

**Tabela 6.4:** Matriz de deslocamentos veiculares do Guará II.

<b>Zonas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>119a</b>	<b>119b</b>	<b>120a</b>	<b>120b</b>	<b>120c</b>	<b>121a</b>	<b>121b</b>	<b>121c</b>	<b>122</b>	<b>123a</b>	<b>123b</b>	<b>123c</b>	<b>130a</b>	<b>130b</b>	<b>Soma</b>
<b>1</b>	0	659	649	119	410	135	157	158	140	303	136	35	63	181	204	60	48	<b>3457</b>
<b>2</b>	1073	0	0	68	235	76	88	88	71	154	70	17	34	98	110	36	28	<b>2246</b>
<b>3</b>	308	0	0	28	94	23	26	27	26	55	25	2	9	25	29	8	7	<b>692</b>
<b>119a</b>	88	58	59	0	0	2	2	2	2	3	2	1	1	2	2	1	1	<b>226</b>
<b>119b</b>	305	199	204	0	0	5	5	5	4	9	4	1	2	5	6	2	2	<b>758</b>
<b>120a</b>	125	54	48	2	5	0	0	0	2	4	2	1	1	3	3	1	1	<b>252</b>
<b>120b</b>	145	63	56	2	6	0	0	0	3	5	2	1	1	3	3	1	1	<b>292</b>
<b>120c</b>	146	63	56	2	6	0	0	0	3	5	2	1	1	3	3	1	1	<b>293</b>
<b>121a</b>	131	177	34	2	4	2	2	2	0	0	0	1	1	3	3	1	1	<b>364</b>
<b>121b</b>	283	383	72	3	9	4	4	4	0	0	0	2	2	5	6	1	1	<b>779</b>
<b>121c</b>	128	173	33	2	4	2	2	2	0	0	0	1	1	3	3	1	1	<b>356</b>
<b>122</b>	336	61	128	2	6	2	3	3	3	5	3	0	2	4	4	1	1	<b>564</b>
<b>123a</b>	71	24	22	1	3	1	2	2	2	3	2	1	0	0	0	1	1	<b>136</b>
<b>123b</b>	205	69	62	2	7	3	4	4	3	7	3	2	0	0	0	1	1	<b>373</b>
<b>123c</b>	231	78	69	3	8	3	4	4	4	8	4	2	0	0	0	1	1	<b>420</b>
<b>130a</b>	12	4	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	<b>34</b>
<b>130b</b>	9	3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	<b>29</b>
<b>Soma</b>	<b>3596</b>	<b>2068</b>	<b>1503</b>	<b>238</b>	<b>799</b>	<b>260</b>	<b>301</b>	<b>303</b>	<b>265</b>	<b>563</b>	<b>257</b>	<b>70</b>	<b>120</b>	<b>337</b>	<b>378</b>	<b>117</b>	<b>96</b>	

Fonte: PDTU-DF (2008).

A partir da definição das zonas de tráfego, configurou-se no simulador os diversos centróides que as caracterizam, conectando-os ao sistema viário a partir dos pontos de entrada e saída da rede base, conforme apresentado pela Figura 6.12.



**Figura 6.12:** Centróides das zonas de tráfego

Estabelecidos os pontos de carregamento da rede, o passo seguinte consistiu em configurar o sistema de transporte público, caracterizado pelo uso do modal ônibus, cujas linhas utilizam-se principalmente da Avenida do Contorno e da Avenida Central para a prestação do serviço à comunidade. Para tanto, foram inseridos no programa de simulação todos os pontos de parada observados em campo e, a partir das linhas de ônibus obtidas do banco de dados do PDTU-DF, definiu-se os itinerários principais configurando os tempos de início da operação do transporte público naquela região, bem como a sua frequência. A Figura 6.13 apresenta os pontos de parada do transporte coletivo na rede base.





**Figura 6.13:** Pontos de parada do transporte coletivo

A partir da rede base montada, realizou-se a primeira rodada de simulação a fim de identificar possíveis erros de configuração da rede. Após a correção ou ajustes nos pontos com problemas, partiu-se para a calibração do modelo. O enfoque desse estudo é permitir a validação do método proposto para análise de pólos geradores de viagem utilizando ferramentas de microssimulação. Fiel a esse norte, o processo de calibração foi desempenhado de maneira simplificada, uma vez que não se buscava retratar em alto nível de correlação a situação atual com a simulada. O intuito é que os resultados obtidos para a rede base pudessem servir como comparação para os resultados obtidos para as demais redes desenvolvidas. Dessa forma, a calibração foi feita em função de alguns pontos de formação de fila observados em campo e em função do volume de tráfego da área em frente ao lote de implantação do PGV hipotético. Esse processo forneceu bons resultados para a calibração, validados pelos dados observados em campo.

Após realizados os devidos ajustes nos parâmetros do simulador de forma a garantir a calibração do modelo, executou-se a simulação final da rede, realizando um total de vinte

rodadas com diferentes sementes de geração. A execução de diversas rodadas tem como finalidade a obtenção de indicadores médios de forma a uniformizar os resultados, minimizar os efeitos de prováveis resultados discrepantes que porventura apareçam em uma ou outra rodada.

A partir dessas simulações não foi possível extrair os resultados referentes aos indicadores de desempenho definidos no método para tempo de atraso, tempo de viagem, número de paradas e velocidade média. Embora seja possível obter esses resultados para todos os arcos da rede, pelas limitações já mencionadas com relação à licença do programa utilizado, os indicadores possíveis de serem obtidos pelos detectores virtuais referem-se ao número de veículos no detector, sua velocidade média e sua densidade média, para cada rodada. Esses resultados serão apresentados no Apêndice B e formam o conjunto de indicadores a serem utilizados na comparação entre as redes deste estudo de caso.

Além dos resultados quantitativos apontados pelo simulador, outros resultados obtidos constituem a animação da simulação em curso e alguns diagramas com informações dinâmicas dos resultados. Um exemplo desses diagramas é apresentado na Figura 6.14, referente ao fluxo veicular nos arcos da rede da situação existente.



**Figura 6.14:** Diagrama de fluxo veicular observado nos arcos da rede da situação existente

### **6.3.5 - Etapa 05: Geração de Viagens pelo PGV**

O pólo gerador de viagens hipotético selecionado para esse estudo, a ser implantado na QE 40 do Guará II, baseia-se no comportamento de um empreendimento real existente na mesma região e que já foi objeto de estudo em outros trabalhos desenvolvidos no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília. Dentre esses trabalhos, destacam-se as dissertações de Souza (2008) e Nunes (2003), de onde se obtiveram as características físicas e operacionais do PGV, adotando-as para o caso hipotético.

A opção pela utilização destes dados decorre do fato de que por estarem na mesma localidade da área em estudo, os comportamentos dos empreendimentos devem se manter semelhantes quanto à geração de viagens e quanto ao padrão de deslocamentos.

Entretanto, a fim de viabilizar o empréstimo de informações para a instituição de ensino hipotética, alguns ajustes nos dados originais fizeram-se necessários. O período de observação para o PGV real refere-se ao turno noturno daquela instituição, enquanto que a hora de pico utilizada neste estudo de caso é o pico da manhã, definido para o período entre 07h00 e 08h00.

Dessa forma, manteve-se o número de viagens e a sua distribuição modal observadas pelas entrevistas aos usuários da faculdade realizadas por Souza (2008). Já o padrão de chegadas e partidas do empreendimento necessitou de adaptações uma vez que o estudo de Souza (2008) apontou que as viagens de chegada ao empreendimento provinham em sua grande maioria dos locais de trabalho da população em questão, enquanto que as viagens de saída aconteciam em sua quase totalidade para os locais de residência. Esse é um fato esperado para um estabelecimento de ensino superior operando a noite. Contudo, para o período matutino, espera-se o inverso em que grande parte dos estudantes e funcionários chegam de suas residências e, após as aulas, saem para os seus locais de trabalho (no caso dos alunos) ou retornam para suas residências.

Assim, para a Instituição de Ensino Superior foram obtidos os seguintes dados de geração de viagens apresentados na Tabela 6.5 e na Tabela 6.6, especificados por tipo de freqüentador (alunos, professores e funcionários) e distribuídos pelos modos automóveis, ônibus e a pé. As viagens por automóveis representam viagens veiculares, enquanto as viagens por ônibus e a pé são viagens individuais.

**Tabela 6.5:** Viagens Atraídas pelo PGV (Souza, 2008).

Instituição	Tipo de Frequentador	População	Total de Viagens Atraídas			
			Automóveis	Ônibus	A pé	Total
IES-03 (Guará)	Alunos	969	454	175	140	769
	Professores e Funcionários	252	172	11	11	194
	Total	1221	626	186	151	963

**Tabela 6.6:** Viagens Produzidas pelo PGV (Souza, 2008).

Instituição	Tipo de Frequentador	População	Total de Viagens Produzidas			
			Automóveis	Ônibus	A pé	Total
IES-03 (Guará)	Alunos	969	380	166	135	681
	Professores e Funcionários	252	172	0	11	183
	Total	1221	552	166	146	864

Souza (2008) apresenta ainda as principais localidades dos alunos que tem como destino a sua residência, nas viagens originadas no empreendimento, conforme Tabela 6.7.

**Tabela 6.7:** Principais localidades de destino dos alunos que têm como destino a residência Souza (2008)

IES	Localidade	%
IES-03 (Guará)	Águas Claras	4,95
	Ceilândia	4,05
	Guará	39,19
	Taguatinga	11,71
	Outros	34,23
	Não Informado	5,86

Essa distribuição foi adotada para o presente estudo de caso como a distribuição das viagens por localidade em função da chegada dos frequentadores ao PGV, já que é razoável imaginar que no caso da instituição de ensino funcionar no período matutino, os frequentadores terão suas viagens primárias originadas em sua residência.

Além disso, essas viagens foram distribuídas em função dos principais acessos ao Guará II e em função das zonas internas. As viagens com origem em Águas Claras, Taguatinga e Ceilândia foram alocadas no acesso pela via Ri1 (via de acesso pelo Guará I). As viagens com origem no Guará foram distribuídas entre o Guará I e o Guará II sendo, portanto, 50%

para o acesso pela via Ri1 e 50% para as zonas internas do Guará II. As viagens com origem em zonas internas do Guará II foram divididas igualmente entre as 14 subzonas. Já as origens denominadas “Outros” e “Não Informados” foram agregadas e distribuídas nas três zonas de acessos externos ao Guará II, adotando-se 3% para o acesso pela Via de Ligação com o Núcleo Bandeirante, 18% para o acesso pela EPGU, e 59% para o acesso pela via Ri1. A Tabela 6.8 a seguir apresenta essa distribuição.

**Tabela 6.8:** Distribuição das localidades de origem por acessos ao Guará II.

<b>Acesso</b>	<b>Localidades de origem</b>	<b>%</b>
Via Ri1 (acesso Guará I)	Águas Claras, Taguatinga, Ceilândia, Guará I (50% das viagens com origem no Guará) e Outros/Não Informados.	59%
EPGU	Outros/Não Informados	18%
Via de Ligação com Núcleo Bandeirante	Outros/Não Informados	3%
Guará II (interna)	Guará II (50% das viagens com origem no Guará)	20% (igualmente distribuídos nas 14 zonas internas)

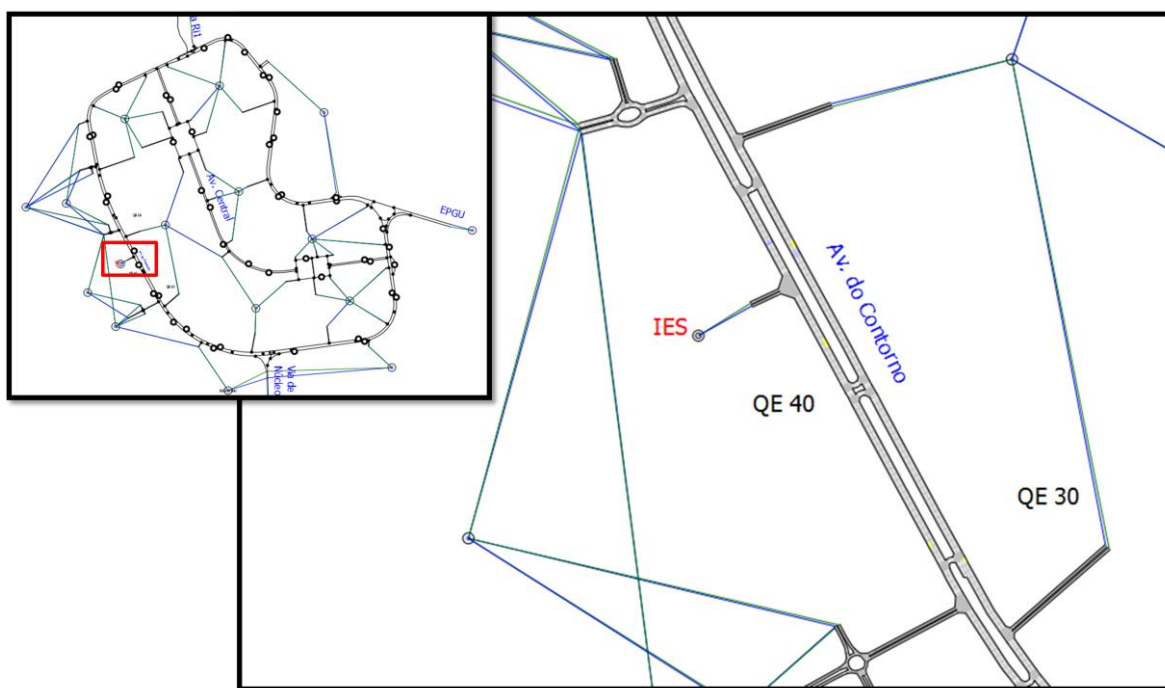
A análise do empreendimento foi realizada apenas para o horário de chegada do turno matutino, não sendo observadas, pois, viagens produzidas pelo PGV. Foram consideradas apenas as viagens atraídas por ele, resultando na matriz de deslocamentos apresentada na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9:** Matriz de deslocamentos veiculares do Guará II, pico manhã, com o PGV

<b>Zonas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>119a</b>	<b>119b</b>	<b>120a</b>	<b>120b</b>	<b>120c</b>	<b>121a</b>	<b>121b</b>	<b>121c</b>	<b>122</b>	<b>123a</b>	<b>123b</b>	<b>123c</b>	<b>130a</b>	<b>130b</b>	<b>IES</b>	<b>Soma</b>
<b>1</b>	0	659	649	119	410	135	157	158	140	303	136	35	63	181	204	60	48	370	<b>3827</b>
<b>2</b>	1073	0	0	68	235	76	88	88	71	154	70	17	34	98	110	36	28	113	<b>2359</b>
<b>3</b>	308	0	0	28	94	23	26	27	26	55	25	2	9	25	29	8	7	19	<b>711</b>
<b>119a</b>	88	58	59	0	0	2	2	2	2	3	2	1	1	2	2	1	1	9	<b>235</b>
<b>119b</b>	305	199	204	0	0	5	5	5	4	9	4	1	2	5	6	2	2	9	<b>767</b>
<b>120a</b>	125	54	48	2	5	0	0	0	2	4	2	1	1	3	3	1	1	9	<b>261</b>
<b>120b</b>	145	63	56	2	6	0	0	0	3	5	2	1	1	3	3	1	1	9	<b>301</b>
<b>120c</b>	146	63	56	2	6	0	0	0	3	5	2	1	1	3	3	1	1	9	<b>302</b>
<b>121a</b>	131	177	34	2	4	2	2	2	0	0	0	1	1	3	3	1	1	9	<b>373</b>
<b>121b</b>	283	383	72	3	9	4	4	4	0	0	0	2	2	5	6	1	1	9	<b>788</b>
<b>121c</b>	128	173	33	2	4	2	2	2	0	0	0	1	1	3	3	1	1	9	<b>365</b>
<b>122</b>	336	61	128	2	6	2	3	3	3	5	3	0	2	4	4	1	1	9	<b>573</b>
<b>123a</b>	71	24	22	1	3	1	2	2	2	3	2	1	0	0	0	1	1	9	<b>145</b>
<b>123b</b>	205	69	62	2	7	3	4	4	3	7	3	2	0	0	0	1	1	9	<b>382</b>
<b>123c</b>	231	78	69	3	8	3	4	4	4	8	4	2	0	0	0	1	1	9	<b>429</b>
<b>130a</b>	12	4	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	9	<b>43</b>
<b>130b</b>	9	3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	9	<b>38</b>
<b>IES</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>Soma</b>	<b>3596</b>	<b>2068</b>	<b>1503</b>	<b>238</b>	<b>799</b>	<b>260</b>	<b>301</b>	<b>303</b>	<b>265</b>	<b>563</b>	<b>257</b>	<b>70</b>	<b>120</b>	<b>337</b>	<b>378</b>	<b>117</b>	<b>96</b>	<b>628</b>	

### 6.3.6 - Etapa 06: Avaliação da Situação com Implantação do PGV

A avaliação da situação com implantação do PGV passou, inicialmente, pela alteração do sistema viário da rede base com a inclusão dos nós e arcos que representam o acesso ao empreendimento. Além disso, nessa mesma linha, foi criado um novo centróide na rede e conectado aos novos arcos de acesso ao empreendimento, criando, dessa forma, a rede final de simulação. A nova configuração é apresentada em detalhe na Figura 6.15.



**Figura 6.15:** Configuração da rede com o Pólo Gerador de Viagem

Em seguida, foi inserida no simulador a nova matriz de deslocamentos obtida dos dados de geração de viagens obtidos na Etapa 05, conforme apresentado na Tabela 6.9.

O sistema de transportes se manteve inalterado, uma vez que a demanda de passageiros gerada em função da implantação do PGV usaria as linhas de ônibus existentes. O dimensionamento das linhas de transporte público frente ao aumento da demanda em função do PGV não é o objetivo desse estudo e, no caso de um projeto real, deve ser enquadrado em uma outra atividade mais específica.

Tendo sido feitos todos os ajustes para a representação da situação com implantação do PGV, mais uma vez rodou-se a rede a fim de realizar algum ajuste em função da nova configuração, tomando o cuidado de não realizar ajustes que pudessem alterar a calibração dos parâmetros do simulador realizada inicialmente na Etapa 04.



Na sequencia, realizou-se a simulação final da rede com outras vinte rodadas e, mais uma vez, obtiveram-se os resultados referentes à nova situação, mantendo a análise dos mesmos detectores e indicadores obtidos para a rede base (Etapa 04). Dessa forma, foi possível comparar as duas redes de simulação a fim de verificar o impacto causado pelo empreendimento.

Os resultados para a rede com a implantação do PGV são apresentados no Apêndice B.

### **6.3.7 - Etapa 07: Avaliação do Impacto Produzido pelo PGV**

Nesta etapa deve-se checar se a área de estudo inicialmente estipulada refere-se de fato à área de influência crítica do empreendimento. Depois é verificada a presença de pontos críticos na área de estudo, dentro ou fora da área classificada como área de influência.

Para tal, a análise comparativa dos resultados quantitativos e qualitativos obtidos das simulações das Etapas 04 e 06 torna-se bastante útil na identificação dos pontos do sistema viário em estudo que tiveram algum tipo de impacto em virtude da implantação do PGV.

Do ponto de vista qualitativo, inicialmente realizou-se uma verificação visual das animações geradas pelas diversas simulações para cada cenário, identificando os pontos que se apresentavam com algum tipo de alteração nítida entre as redes, seja por uma redução da velocidade dos veículos, seja pela formação de filas, ou por qualquer outro parâmetro visual.

Em seguida, pelos resultados quantitativos provenientes dos indicadores de desempenho obtidos dos resultados das diversas simulações realizadas para cada cenário, procedeu-se com uma análise estatística a fim de confirmar os pontos de gargalo identificados na análise visual e de identificar outros pontos em que não foi possível verificar o impacto apenas pela análise das animações.

O *software* Aimsun, utilizado na análise, fornece para cada detector implantado na rede de simulação os resultados de desempenho referentes aos indicadores volume de tráfego, velocidade média e densidade. A partir desses parâmetros realizou-se uma análise a fim de identificar quais os detectores que apresentaram algum tipo de variação significativa.

Conforme mencionado anteriormente, para cada situação em estudo (sem PGV e com PGV), realizou-se um conjunto de 20 rodadas de simulações em que se obteve para cada detector alocado nos arcos da rede os indicadores de desempenho volume, velocidade e densidade por rodada e pela média do conjunto de rodadas. A análise ora proposta consiste



em avaliar se os valores médios de cada indicador possuem alterações significativas entre os dois cenários em estudo.

A partir do conjunto de dados obtidos para cada detector realizou-se um teste de hipóteses do tipo t-student, uma vez que se deseja testar as diferenças entre as médias de populações distintas (situação sem PGV e situação com PGV). Assim, adotando-se um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , a hipótese nula  $H_0$  é a de que as médias dos indicadores em cada detector são iguais tanto na situação sem PGV quanto na situação com PGV. Alternativamente, a outra hipótese  $H_1$  é de que essas médias são diferentes.

Contudo, como as variâncias populacionais são desconhecidas, foi realizado preliminarmente um teste f de diferença entre variâncias populacionais a fim de identificar se as variâncias são iguais ou diferentes entre os cenários analisados.

A Tabela B.3 no Apêndice B apresenta os resultados para o teste de variância e para o teste de hipótese, relacionado pela área correspondente ao raio de influência do empreendimento. A quantidade de variações estatisticamente significativas observadas nesta análise foi maior para as faixas de abrangência situadas mais próximas do empreendimento.

Na sequência, analisou-se a variação entre as médias dos resultados dos indicadores de desempenho das simulações realizadas para a situação com PGV em relação à situação sem PGV. Dessa forma, a partir dos detectores cujas diferenças entre uma situação e outra se mostraram estatisticamente significativas em função dos resultados do teste de hipóteses, pode-se verificar quais os detectores da rede que tiveram um impacto significativo, seja ele negativo ou positivo, ou seja, se houve aumento ou redução do valor médio do indicador na comparação entre situações. Esses resultados são apresentados no Apêndice B.

A partir dos resultados obtidos no teste de hipótese e na análise comparativa entre as situações apresentadas, é possível analisar de forma agregada os resultados para cada área referente a cada raio de influência do empreendimento. Neste aspecto, inicialmente a Tabela 6.10 apresenta o número de detectores por faixa de variação do raio de observação e o grau de significância em função do tipo de variação observada na comparação entre a rede de simulação da situação existente e a rede com implantação do PGV.

**Tabela 6.10:** Resultados gerais observados nos detectores implantados por faixa definida pelos raios definidos a partir do PGV

Faixa	Total	Volume (veic/h)					Velocidade (km/h)					Densidade				
		Aumento		Redução		Ncon	Aumento		Redução		Ncon	Aumento		Redução		Ncon
		S	NS	S	NS		S	NS	S	NS		S	NS	S	NS	
<b>1</b> 0m<R<500m	29	14	1	8	4	2	6	6	10	5	2	16	0	8	3	2
<b>2</b> 500m<R<1000m	47	14	9	11	10	3	9	11	4	20	3	12	8	13	11	3
<b>3</b> 1000m<R<1500m	79	18	17	20	21	3	11	34	7	24	3	14	17	23	22	3
<b>4</b> 1500m<R<2000m	76	15	20	20	19	2	7	33	9	25	2	15	21	17	21	2
<b>5</b> 2000m<R<2500m	11	4	3	4	0	0	0	4	2	5	0	5	1	2	3	0

**Legenda:**

**S:** diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 5\%$

**NS:** diferença estatisticamente não-significativa, para  $\alpha = 5\%$

**NCon:** resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV

A partir desses resultados é possível inicialmente identificar que à medida que há o afastamento do ponto de implantação do PGV, ou seja, à medida que se atinge faixas mais afastadas do empreendimento, o número de impactos significativos tende a reduzir em comparação com o total de pontos observados. Como pode ser observado na Tabela 6.11, 75,86% dos pontos observados na Faixa 1 sofreram impactos significativos em relação ao total de pontos observados para o indicador volume, enquanto que para a Faixa 4, essa razão foi de apenas 46,05%. A mesma condição é observada para os demais indicadores. Porém, na Faixa 5, a mais afastada em relação ao local do PGV, observou-se uma elevação da razão entre o número de observações com impactos significativos e o total de observações para os indicadores volume e densidade.

**Tabela 6.11:** Síntese do número de detectores com impactos significativos por faixa

Faixa	Total	Nº de detectores com impacto significativo			Relação Detectores Significativos/ Total		
		Volume	Velocidade	Densidade	Volume	Velocidade	Densidade
<b>1</b> 0m<R<500m	29	22	16	24	75,86%	55,17%	82,76%
<b>2</b> 500m<R<1000m	47	25	13	25	53,19%	27,66%	53,19%
<b>3</b> 1000m<R<1500m	79	38	18	37	48,10%	22,78%	46,84%
<b>4</b> 1500m<R<2000m	76	35	16	32	46,05%	21,05%	42,11%
<b>5</b> 2000m<R<2500m	11	8	2	7	72,73%	18,18%	63,64%

Essa avaliação refere-se ao número de impactos significativos para os detectores pertencentes a cada faixa em análise. Entretanto, a análise deve ser estendida para as áreas associadas a cada raio de influência, cujos resultados são obtidos a partir do somatório dos resultados de cada faixa contida nesta área. Assim, para cada área de influência definida pelos raios considerados, a razão entre o número de detectores com impacto significativo e o número total de detectores é apresentado na Tabela 6.12.

**Tabela 6.12:** Síntese do número de detectores com impactos significativos por área.

Área	Total	Nº de detectores com impacto significativo			Relação Detectores Significativos/ Total		
		Volume	Velocidade	Densidade	Volume	Velocidade	Densidade
<b>1</b> R=500m	29	22	16	24	75,86%	55,17%	82,76%
<b>2</b> R=1000m	76	47	29	49	61,84%	38,16%	64,47%
<b>3</b> R=1500m	155	85	47	86	54,84%	30,32%	55,48%
<b>4</b> R=2000m	231	120	63	118	51,95%	27,27%	51,08%
<b>5</b> R=2500m	242	128	65	125	52,89%	26,86%	51,65%

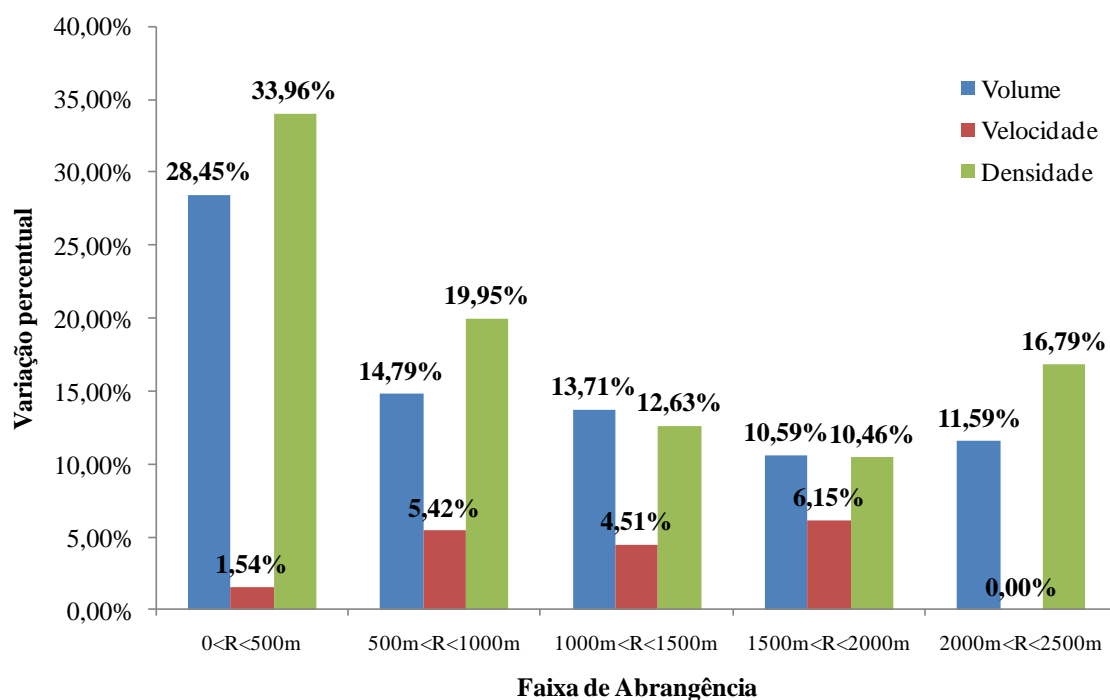
Os resultados apresentados na Tabela 6.12 evidenciam que o comportamento observado para as áreas analisadas é similar ao observado para as faixas, ou seja, o número de pontos que sofreram algum tipo de impacto significativo, seja ele negativo ou positivo, reduz conforme aumenta a distância do local de implantação do PGV.

Em uma outra análise, pode-se verificar o comportamento da variação dos valores médios dos indicadores de desempenho em função das faixas e áreas de influência, definidas por raios centrados no PGV. Dessa forma, procedeu-se com esse estudo utilizando apenas os resultados oriundos dos detectores identificados com algum tipo de impacto estatisticamente significativo na comparação entre situações. A Tabela 6.13 e as apresenta, pois, de forma global qual a variação média dos indicadores analisados em cada faixa, além dos valores mínimos e máximos observados.

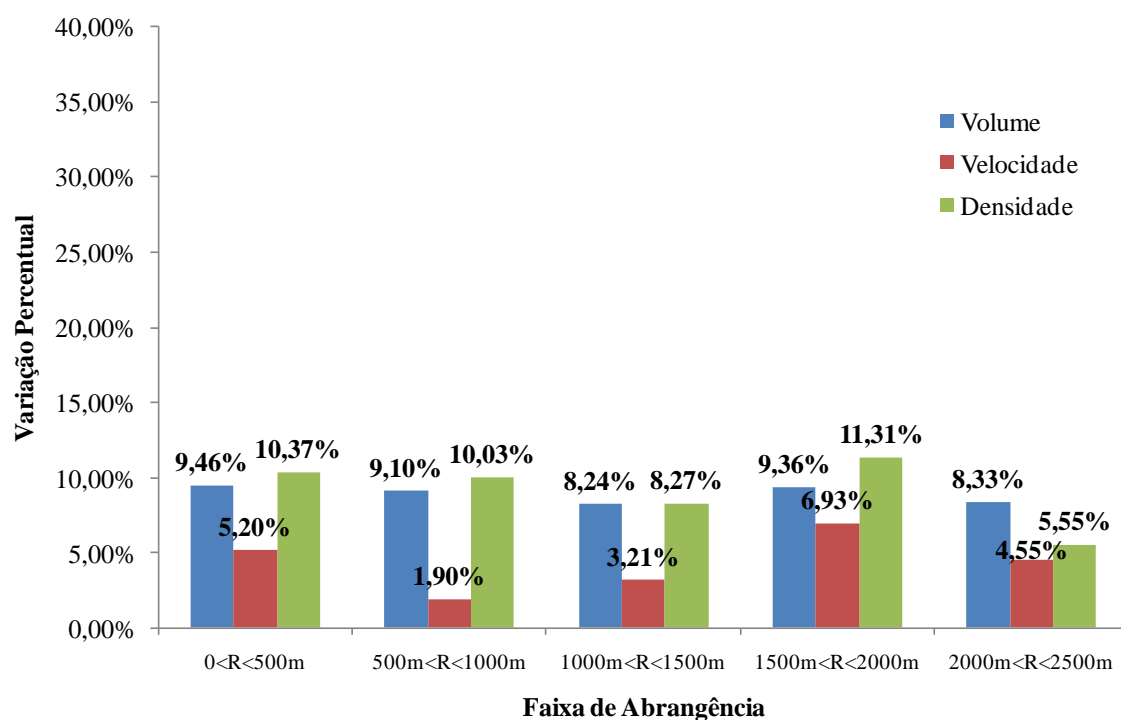
**Tabela 6.13:** Variação dos valores médios dos indicadores por faixa

Faixa	Volume Aumento			Volume Redução			Velocidade Aumento			Velocidade Redução			Densidade Aumento			Densidade Redução		
	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)
<b>1</b> 0m<R<500m	28,45	5,18	118,18	9,46	6,99	11,64	1,54	0,37	4,65	5,20	0,25	16,83	33,96	8,34	154,30	10,37	7,06	18,93
<b>2</b> 500m<R<1000m	14,79	6,67	57,14	9,10	3,19	19,10	5,42	0,35	17,08	1,90	0,21	5,65	19,95	6,91	65,51	10,03	3,61	26,70
<b>3</b> 1000m<R<1500m	13,71	2,87	27,71	8,24	2,12	18,45	4,51	0,44	13,13	3,21	0,29	8,89	12,63	0,61	23,93	8,27	3,23	17,69
<b>4</b> 1500m<R<2000m	10,59	3,07	22,92	9,36	1,15	18,72	6,15	0,53	22,50	6,93	0,41	39,89	10,46	2,47	31,14	11,31	3,25	42,08
<b>5</b> 2000m<R<2500m	11,59	4,31	14,64	8,33	2,83	15,57	-	-	-	4,55	3,53	5,57	16,79	3,94	27,93	5,55	2,08	9,03

Graficamente, as variações significativas apontadas nos resultados da Tabela 6.13 são apresentadas nas Figura 6.16 e 6.17.



**Figura 6.16:** Aumentos significativos do volume, velocidade e densidade por faixa



**Figura 6.17:** Reduções significativas do volume, velocidade e densidade por faixa

A variação dos indicadores de desempenho obtidos para os diversos detectores em cada faixa de área de influência do PGV aponta para o aumento significativo do volume médio de tráfego na região mais próxima do empreendimento, que decresce para as áreas mais afastadas do pólo. Verifica-se, também, que nas áreas mais próximas do pólo há uma maior redução da velocidade e um maior aumento da densidade, cujas variações também decrescem a medida que se analisa as áreas mais afastadas.

Esse comportamento confirma a idéia de que as variações significativas decorrentes da implantação de um PGV impactam negativamente o sistema viário da região mais próxima do empreendimento, já que os impactos mais relevantes foram observados para a faixa de 0 a 500 metros.

Contudo, verificou-se que em alguns pontos há variações que se traduzem em impactos positivos para o sistema, com a redução do volume de tráfego e o consequente aumento da velocidade média e a redução da densidade. Os impactos positivos relativos à redução do volume e da densidade, ainda que observados em todas as faixas analisadas, se mantêm em variações praticamente constantes em todas as áreas. O impacto positivo que possuiu maior variação foi a da velocidade média cuja variação foi maior para as faixas mais distantes. Esse comportamento decorreu do menor impacto nas áreas mais afastadas em função do aumento do volume de tráfego. Nota-se que na faixa de 2000 a 2500 metros não houve variação do aumento da velocidade em virtude de naquela área não terem sido observadas diferenças estatisticamente significativas na análise da situação sem PGV e com PGV.

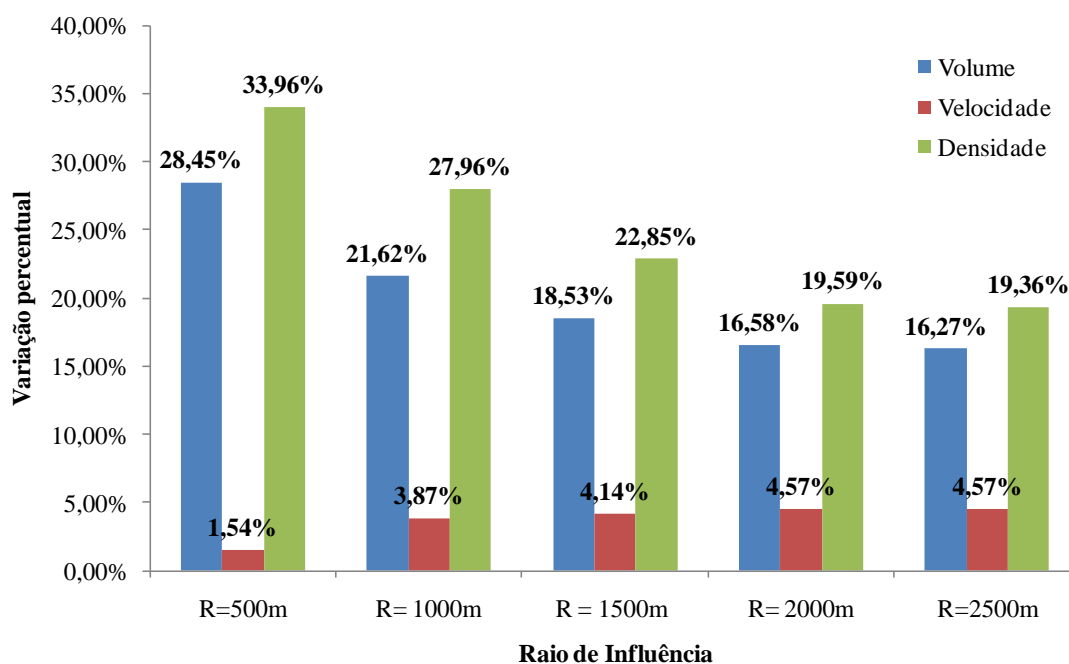
Os indicadores observados na análise da Tabela 6.13 indicam o comportamento do sistema nas faixas de área de abrangência do empreendimento. Contudo, o maior interesse é verificar como se comporta o sistema viário nas áreas de influência definidas em função dos raios medidos a partir do PGV, que engloba de maneira acumulada os resultados de cada faixa estudada. Assim, a Tabela 6.14 apresenta os resultados globais da variação dos indicadores de desempenho para as áreas de influência definidas por cada raio.

**Tabela 6.14:** Variação dos valores médios dos indicadores por área de influência definida por raio com origem no PGV

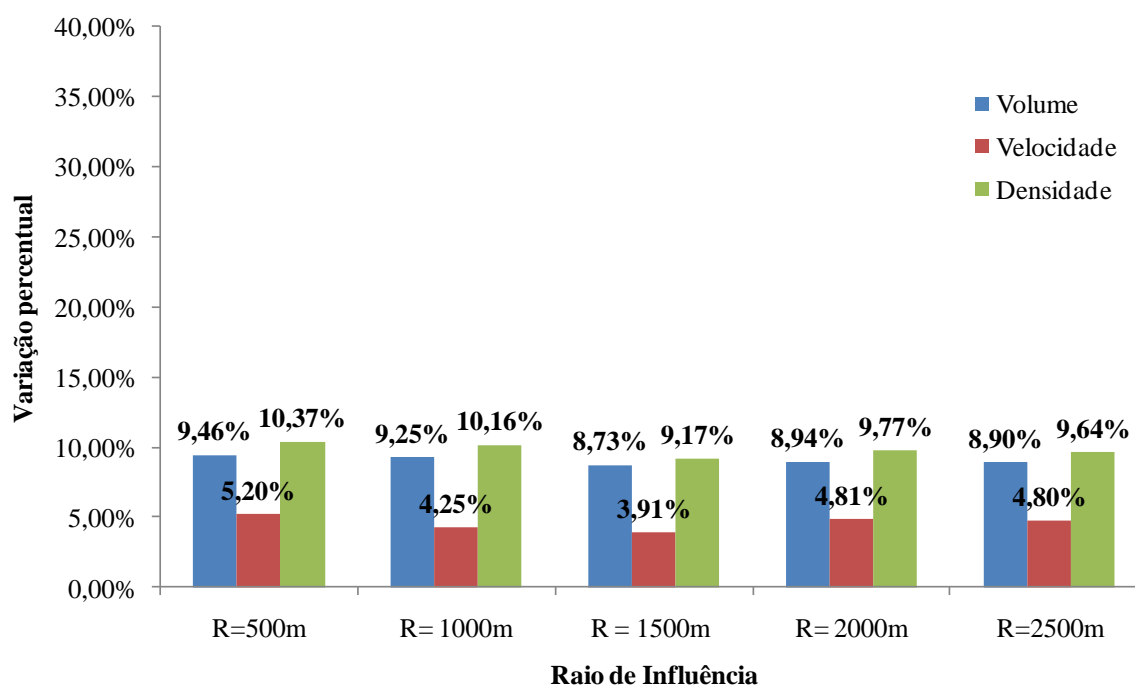
Área	Volume Aumento			Velocidade Aumento			Densidade Aumento			Volume Redução			Velocidade Redução			Densidade Redução		
	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)	Média (%)	Mín (%)	Máx (%)
<b>1</b> R=500m	28,45	5,18	118,18	1,54	0,37	4,65	33,96	8,34	154,30	9,46	6,99	11,64	5,20	0,25	16,83	10,37	7,06	18,93
<b>2</b> R=1000m	21,62	5,18	118,18	3,87	0,35	17,08	27,96	6,91	154,30	9,25	3,19	19,10	4,25	0,21	16,83	10,16	3,61	26,70
<b>3</b> R=1500m	18,53	2,87	118,18	4,14	0,35	17,08	22,85	0,61	154,30	8,73	2,12	19,10	3,91	0,21	16,83	9,17	3,23	26,70
<b>4</b> R=2000m	16,58	2,87	118,18	4,57	0,35	22,50	19,59	0,61	154,30	8,94	1,15	19,10	4,81	0,21	39,89	9,77	3,23	42,08
<b>5</b> R=2500m	16,27	2,87	118,18	4,57	0,35	22,50	19,36	0,61	154,30	8,90	1,15	19,10	4,80	0,21	39,89	9,64	2,08	42,08

Graficamente, as variações significativas apontadas nos resultados da Tabela 6.14 são apresentadas nas Figura 6.18 e 6.19.





**Figura 6.18:** Aumentos significativos do volume, velocidade e densidade por raio de influência.



**Figura 6.19:** Reduções significativas do volume, velocidade e densidade por raio de influência.

Analisando as variações das diferenças observadas para cada raio de influência verifica-se mais uma vez que os impactos negativos advindos da implantação do PGV na região em estudo são mais significativos na envoltória mais próxima do empreendimento. Em contrapartida, os impactos positivos são verificados em maior parte para os raios mais afastados. Tal fato pode ainda ser comprovado em virtude da ocorrência das variações máximas dos impactos negativos serem observados nas proximidades do empreendimento, enquanto as variações mínimas são observadas nos pontos mais distantes. De igual maneira, as variações máximas decorrentes dos impactos positivos são observadas nas áreas mais afastadas enquanto que as variações mínimas são observadas nos pontos mais próximos do empreendimento.

Dessa forma, a presente análise confirma um maior impacto nas condições de tráfego na região mais próxima do empreendimento. Contudo, permite-se observar que existem diversos outros impactos significativos decorrentes da implantação do empreendimento que ocorrem em áreas mais distantes da que habitualmente é analisada no estudo de pólos geradores de viagem.

As análises dos resultados apresentados na Tabela 6.13 e na Tabela 6.14 são baseadas nos valores das médias simples das variações dos indicadores de desempenho. Essa análise, ainda que aponte para alguns padrões de comportamento do impacto ocasionado pela implantação do PGV, pode ser distorcida uma vez que não reflete a variação dos indicadores de desempenho em função da representatividade do mesmo na rede. Ou seja, considera que variações percentuais elevadas possuem um impacto significativo mesmo que a variação em termos absolutos dos valores dos indicadores de desempenho seja pequena. Essa distorção pode dar o mesmo grau de relevância para detectores em que houve uma variação absoluta elevada e de um detector com variações absolutas pequenas.

A fim de melhor verificar o impacto da implantação do PGV nas diversas faixas e áreas de influência, procedeu-se com uma análise das médias ponderadas dos indicadores de desempenho, utilizando-se como fator de ponderação o volume de tráfego em cada detector da rede. Neste caso, foram considerados todos os detectores e não somente aqueles com variação significativa do indicador analisado. As Tabelas 6.15 e 6.16 apresentam os resultados decorrentes dessa análise.

**Tabela 6.15: Variação dos valores médios dos indicadores ponderados pelo volume de tráfego observado nos detectores por faixa.**

Faixa	Volume (Veiculo/hora)			Velocidade (km/h)			Densidade (veículo/km)		
	Sem PGV	Com PGV	Variação	Sem PGV	Com PGV	Variação	Sem PGV	Com PGV	Variação
0<R<500m	23574	26008	10,32%	61,64	61,38	-0,42%	20,97	22,91	9,26%
500m<R<1000m	28658	28416	-0,84%	59,36	59,78	0,72%	23,10	21,73	-5,95%
1000m<R<1500m	49847	50162	0,63%	55,00	55,03	0,06%	28,83	29,20	1,30%
1500m<R<2000m	78606	78075	-0,68%	56,45	55,73	-1,27%	35,63	36,68	2,95%
2000m<R<2500m	9353	9475	1,30%	65,05	65,41	0,55%	22,37	22,14	-0,99%

**Tabela 6.16: Variação dos valores médios dos indicadores ponderados pelo volume de tráfego observado nos detectores por área**

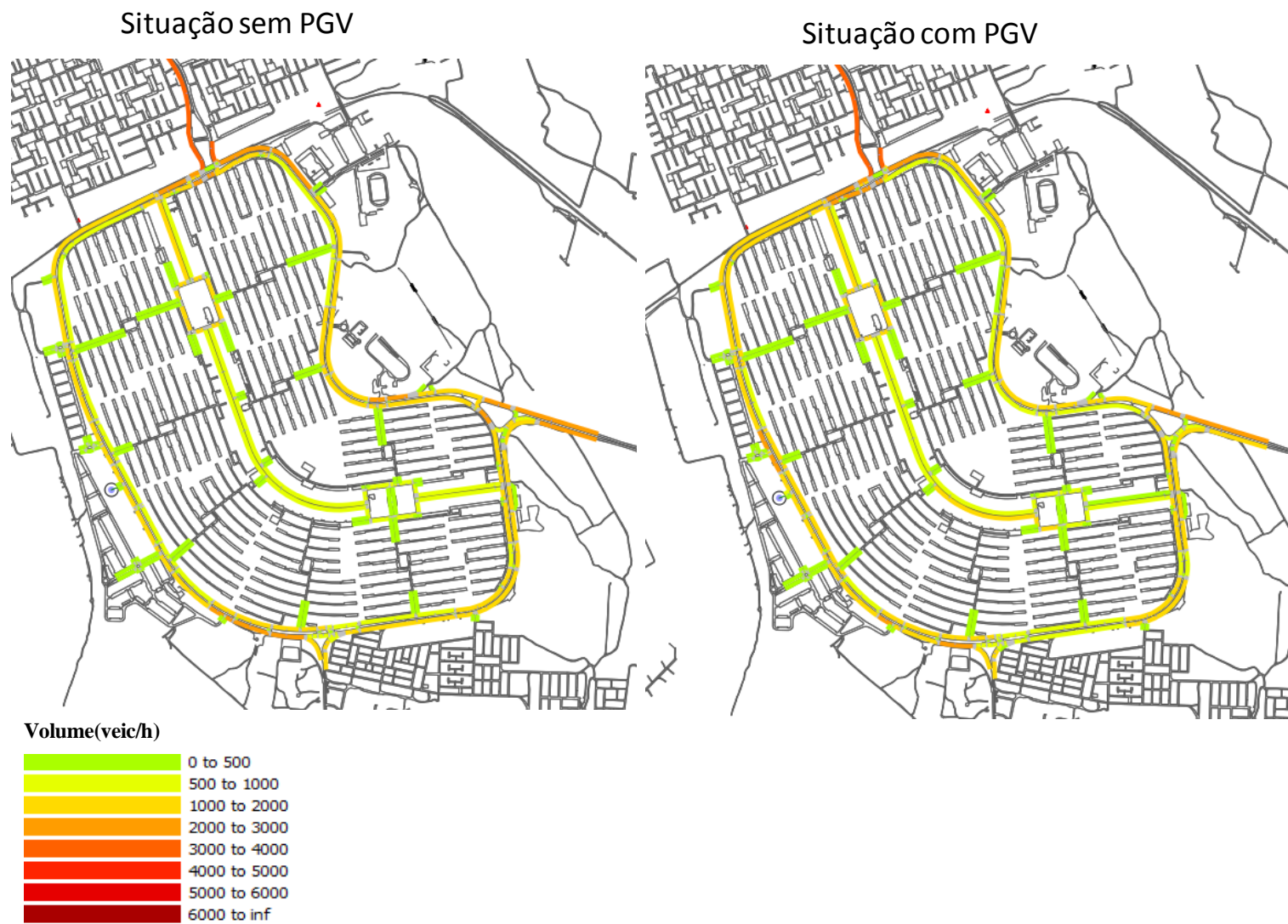
Área	Volume (Veiculo/hora)			Velocidade (km/h)			Densidade (veículo/km)		
	Sem PGV	Com PGV	Variação	Sem PGV	Com PGV	Variação	Sem PGV	Com PGV	Variação
R=500m	23574	26008	10,32%	61,64	61,38	-0,42%	20,97	22,91	9,26%
R=1000m	52232	54424	4,20%	60,39	60,55	0,27%	22,14	22,29	0,70%
R=1500m	102079	104586	2,46%	57,75	57,90	0,25%	25,41	25,61	0,79%
R=2000m	180685	182661	1,09%	57,19	56,97	-0,37%	29,85	30,34	1,63%
R=2500m	190038	192136	1,10%	57,57	57,39	-0,32%	29,49	29,94	1,53%

Os resultados apresentados nas Tabelas 6.15 e 6.16 mostram que as diferenças entre as médias ponderadas dos indicadores analisados possuem uma variação inferior daquelas observadas na análise das médias simples. Ou seja, sua realização é importante no sentido de contextualizar as variações observadas individualmente nos detectores que foram consideradas sem levar em conta o volume de veículos afetados.

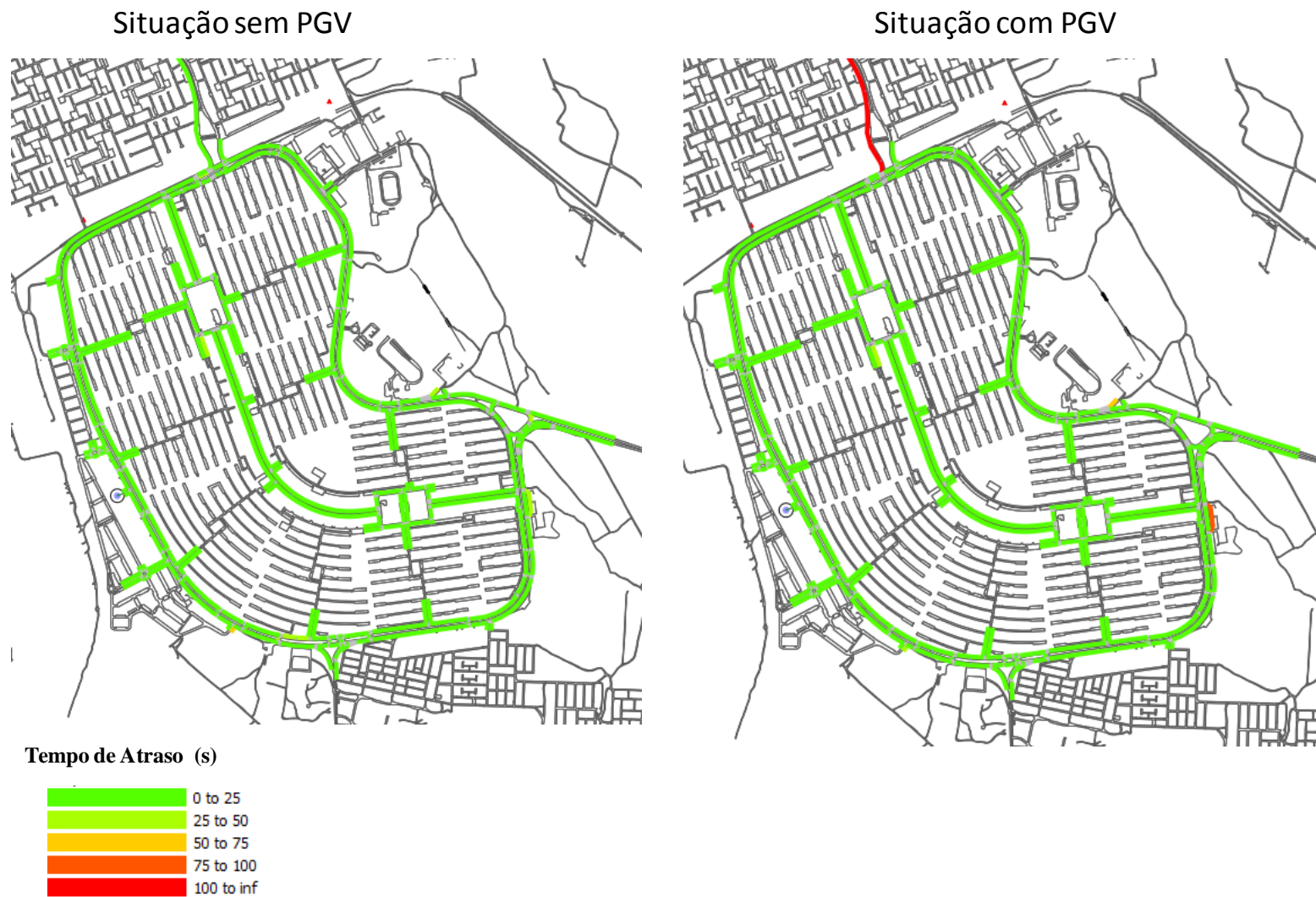
Observando os resultados por faixa de abrangência, as variações do volume de tráfego e da velocidade média são bastante pequenas. Apenas para a primeira faixa, onde está implantado o PGV, é que a variação apresenta-se um pouco mais elevada. Portanto, para esse estudo é possível considerar como área de influência geral como a definida pelo raio de 500 metros. Ou seja, nesse caso a área de influência mínima considerada pelo órgão de trânsito local é aplicável à situação analisada.

No entanto, um resultado que chama a atenção na Tabela 6.15 diz respeito ao comportamento observado na faixa de abrangência definida pelos raios de 1500 e 2000 metros. Nessa faixa a velocidade média sofreu a maior redução entre todas as faixas analisadas. Isso decorre da presença de uma interseção naquela faixa que mesmo antes da implantação do PGV já se mostrou com operação próxima de sua capacidade, piorando com o acréscimo do volume oriundo do PGV (ver Figura 6.24).

Essa situação é confirmada pela análise qualitativa que permitiu identificar locais específicos na rede de simulação que se apresentam como pontos críticos à fluidez do tráfego. As Figuras 6.20, 6.21, 6.22 e 6.23 apresentam os diagramas gerados pelo *software* Aimsun que possibilitaram verificar o comportamento das redes de simulação quanto ao volume de tráfego, tempo de atraso, fila média e taxa volume/capacidade para as situações antes e depois da implantação do PGV.

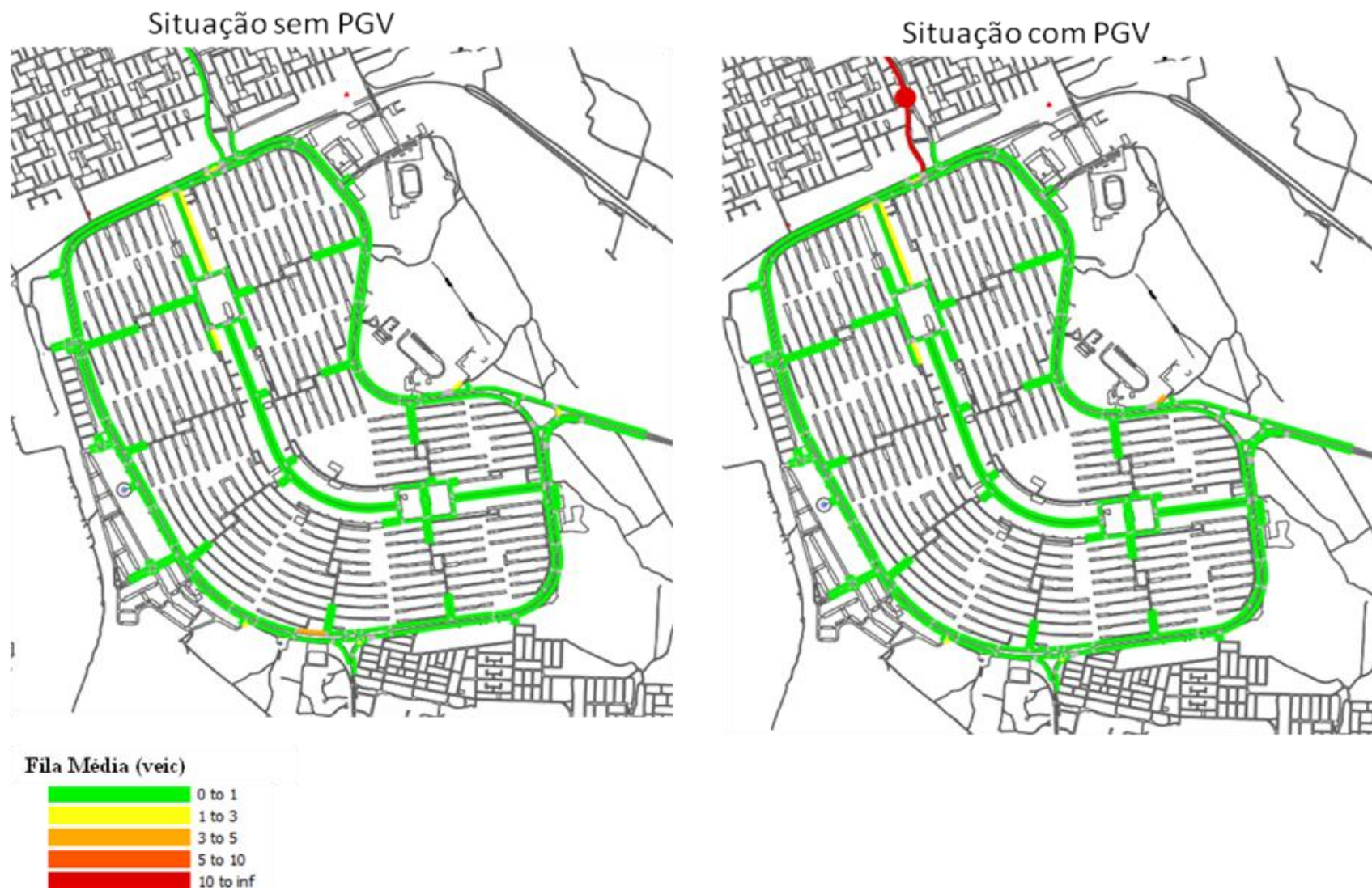


**Figura 6.20:** Diagrama de volume de tráfego para as simulações da situação sem PGV e com PGV.

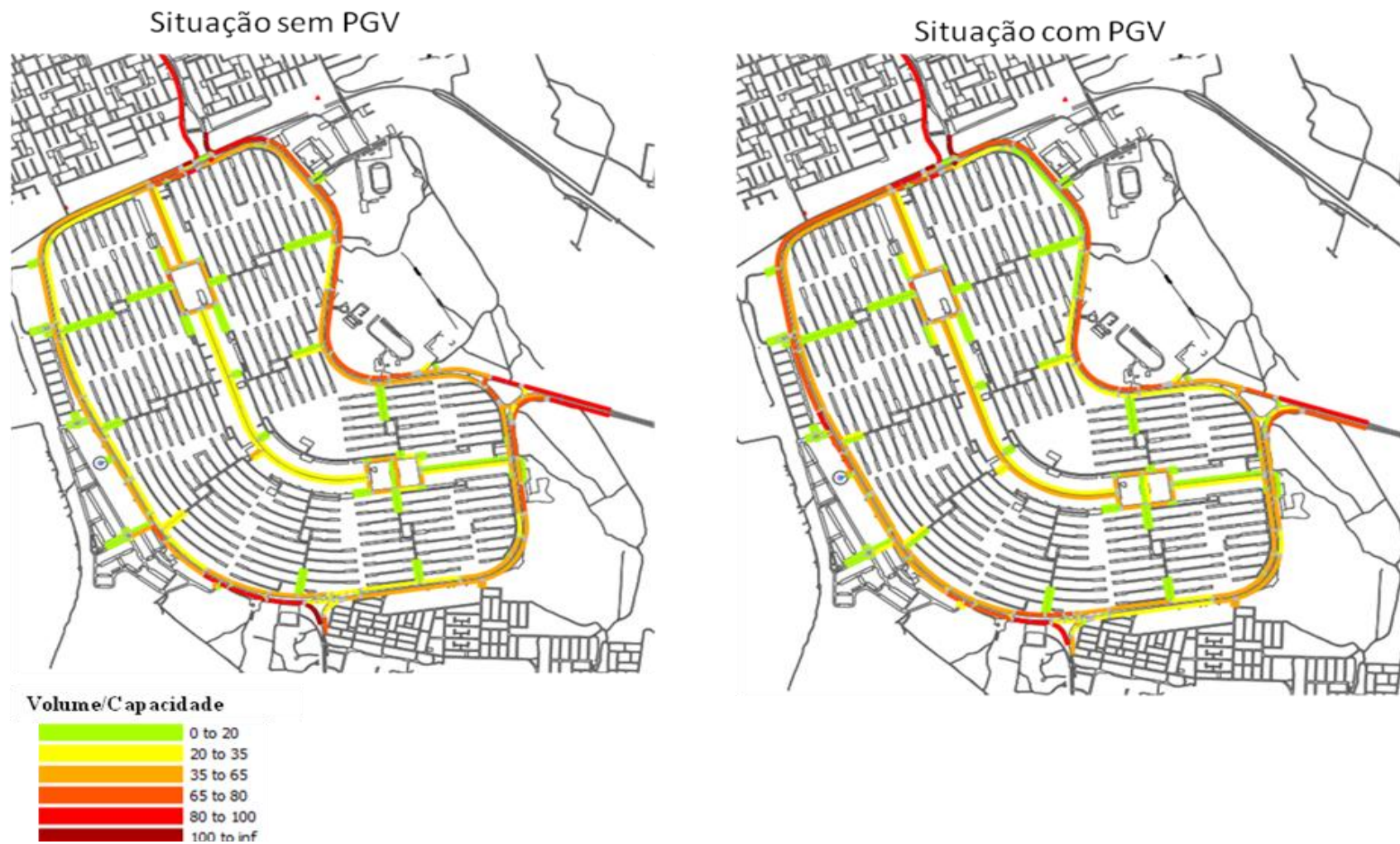


**Figura 6.21:** Diagrama de tempo de atraso para as simulações da situação sem PGV e com PGV.





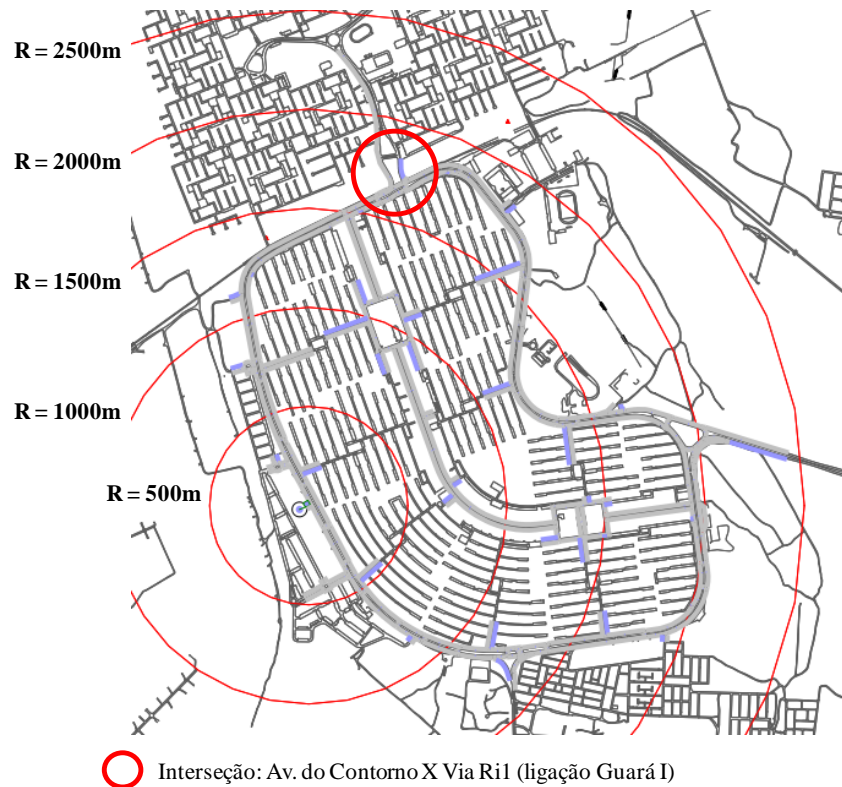
**Figura 6.22:** Diagrama de formação de fila média para as simulações sem PGV e com PGV



**Figura 6.23:** Diagrama de taxa de volume/capacidade para as simulações sem PGV e com PGV



Da análise desses resultados, identifica-se a interseção da Avenida do Contorno com a via Ri1, que dá acesso ao Guará I, como um ponto crítico no que se refere à fluidez de tráfego. Destaca-se que esse ponto está situado na faixa de abrangência compreendida entre os raios de 1500 e 2000 metros conforme apresentado na Figura 6.24.



**Figura 6.24:** Ponto crítico observado na análise

Pelos diagramas apresentados, este é o ponto que possui maior impacto após a implantação do empreendimento, haja visto o aumento nos tempos de atraso médio e na formação de fila identificadas nas Figuras 6.21 e 6.22. Esse ponto se configura em um gargalo do sistema viário e impacta significativamente as condições de tráfego local. Dessa forma, é necessário desenvolver propostas que visem mitigar os problemas verificados neste ponto, ainda que esteja a uma distância superior à área de influência geral detectada no estudo e à área de influência estabelecida pela legislação local. Do contrário, o reflexo do volume de tráfego gerado pelo empreendimento neste local, poderá acarretar inclusive na dificuldade de acesso ao empreendimento.

### **6.3.8 - Etapas 08 e 09: Avaliação de Horizontes Futuros e Propostas de Medidas Mitigadoras**

A avaliação do tráfego da área de influência do PGV em horizontes futuros requer, inicialmente, a definição do ano alvo, que varia de acordo com a característica do empreendimento, conforme apresentado no capítulo 2, seção 2.6.2.

Como a Instituição de Ensino Superior em análise caracteriza-se por um ser um empreendimento moderado, além da situação atual, sugere-se avaliar a sua condição para um horizonte de cinco anos após a abertura do empreendimento.

Essas etapas não foram realizadas para o estudo de caso pois a análise segue as mesmas condições utilizadas na comparação entre as situações existentes e com implantação do PGV. Assim, devem-se obter os resultados das simulações para os arcos, nós e/ou detectores da rede e avaliar o comportamento dos indicadores ao longo do raio de influência, além de pontos específicos da rede onde se verifica algum problema de fluidez do trânsito.

Como o intuito desse estudo de caso é validar o método de análise, considera-se a etapa de comparação entre as duas situações das Etapas 04 e 06 suficiente para demonstrar a eficiência do método.

No caso da Etapa 09, que implica na proposta e teste de medidas mitigadoras para os impactos negativos da implantação do PGV, os resultados do estudo só apontaram necessidade de tratamento na interseção da Avenida do Contorno com a via Ri1. A proposta de medida mitigadora implicaria, portanto, em um estudo específico de engenharia visando melhorar a fluidez no local, que consideramos fora do escopo do presente trabalho. O teste do impacto das medidas a serem propostas é feito de forma similar ao realizado para a definição da situação com o PGV.

### **6.3.9 - Etapa 10: Escolha da melhor alternativa**

Esta etapa não foi realizada no presente estudo de caso, uma vez que não foi realizado o estudo de engenharia para a definição das soluções alternativas.(ver Etapa 9).

### **6.3.10 - Etapa 11: Discussão no âmbito do órgão gestor**

Como esse estudo trata de algo hipotético e que não se pretende implantar na prática, não se faz necessário aprofundar essa discussão com os órgãos gestores do trânsito no Distrito Federal.

#### **6.4 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO**

- O método atingiu os objetivos propostos à medida que permitiu a análise quantitativa e qualitativa dos impactos produzidos pela implantação do pólo gerador considerado (instituição de ensino superior);
- O método se mostra interessante na medida em que permite avaliar não só áreas de influência contíguas ao PGV, como também permite a identificação de pontos críticos que podem estar situados em áreas distantes do local de implantação do empreendimento;
- A aplicação proposta mostrou a conveniência de se implantar a rede no simulador após a definição dos raios que definirão as faixas de abrangência a serem investigadas. Essa delimitação permite que se segmentem os arcos representativos das vias de forma a se obterem os indicadores de desempenho mais completos para as diversas áreas de influência em estudo;
- Decorrente da aplicação realizada, identificam-se como as principais limitações do uso deste método a necessidade de coleta intensiva de dados, as dificuldades do processo de calibração e a exigência de técnico habilitado para construir os diversos cenários de estudo no simulador.

## **7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os pólos geradores de viagem - PGV são empreendimentos de grande porte que atraem ou produzem grande número de viagens, causando impacto direto sobre as condições de circulação de pessoas e mercadorias na sua área de influência, o que constitui, em geral, os principais aspectos adversos à sua implantação.

A solução dos problemas provocados pelos PGVs precisa ser buscada mediante uma análise abrangente e contextualizada dos seus impactos. Porém, as metodologias existentes para este fim ainda não são amplamente utilizadas pelos órgãos municipais em função da falta de diretrizes mais específicas e condizentes com a realidade local. Disto resultam análises insuficientes e mesmo equivocadas sobre esses empreendimentos.

A análise de pólos geradores de viagens deve possuir um caráter dinâmico, algo que possibilite a avaliação das condições do tráfego antes e depois da implantação de um empreendimento em determinada zona urbana, permitindo sua avaliação ao longo do tempo. Nesse sentido, considerou-se apropriado investigar se os indicadores de desempenho derivados dos resultados produzidos por modelos computacionais de simulação do tráfego possibilitam avaliar de maneira objetiva o impacto da inserção de novos empreendimentos em ambientes urbanos já consolidados.

Partindo-se dessa hipótese, buscou-se desenvolver neste trabalho um método para análise de pólos geradores de viagem mediante o uso de simulação de tráfego. Buscou-se, também, determinar quais os indicadores de desempenho que permitem avaliar questões referentes à capacidade da via e fluidez do tráfego, além de definir um procedimento para a identificação do impacto de PGVs sobre a fluidez do tráfego. Outro objetivo foi definir critérios para a determinação da área de influência dos diversos tipos de pólos geradores de viagens, com relação aos impactos por eles produzidos sobre a circulação de veículos.

Dessa forma, o estudo almeja contribuir com as atividades dos técnicos que atuam na administração municipal, tanto na gestão do trânsito quanto no planejamento global das áreas urbanas, ao apresentar uma forma sistemática de se analisar o comportamento de PGV.

## 7.1 - PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

A pesquisa desenvolvida comprovou a hipótese de que os indicadores de desempenho derivados dos resultados produzidos por modelos computacionais de simulação do tráfego possibilitam avaliar de maneira objetiva o impacto da inserção de novos empreendimentos em ambientes urbanos já consolidados.

Por meio da base teórica obtida na revisão bibliográfica e pela utilização de *softwares* de microsimulação verificou-se o potencial dos indicadores de desempenho que demonstram aspectos relacionados ao tempo de atraso, tempo de viagem, número de paradas, velocidade média e relação entre a formação de fila e o comprimento de estocagem do arco para caracterizar o comportamento do fluxo em função do impacto produzido por um PGV.

Como mostrou o estudo de caso realizado, a obtenção desses indicadores para análise de impacto de PGV está atrelada à uma correta configuração da rede base de simulação. Na impossibilidade de se realizar a análise a partir desses indicadores, ou em estudos mais simplificados, esta pode-se basear nas medidas de volume, velocidade e densidade resultantes da distribuição de detectores virtuais na rede.

Outro resultado importante do estudo consiste na verificação do potencial do método desenvolvido, uma vez que os resultados qualitativos e quantitativos produzidos pelas ferramentas de simulação englobadas no processo apóiam a análise dos impactos gerados pela implantação de PGV, como também ficou demonstrado no estudo de caso.

Quanto à análise da área de influência do PGV, as ferramentas de microsimulação se mostraram bastante importantes no processo pois permitiram identificar que os impactos decorrentes da implantação de um empreendimento de grande porte não se restringem apenas à área de influência geral, contígua ao local de sua implantação. Incluem também a presença de pontos críticos que podem ou não pertencer a essa área de influência. Isso constitui um avanço deste método já que a identificação da área de abrangência é uma das dificuldades observadas nas demais metodologias de análise de PGV baseados em modelos determinísticos. Isto é, a utilização dos recursos computacionais nesta análise possibilitou a identificação de pontos críticos onde o impacto das viagens geradas pelo empreendimento afeta significativamente o desempenho local, criando pontos de gargalo no sistema viário e resultando em interferências da análise de áreas adjacentes ao empreendimento.

## **7.2 - LIMITAÇÕES DO MÉTODO**

O método apresentado, ainda que se mostre eficiente e eficaz quanto à sua aplicação na análise de pólos geradores de viagens, possui algumas limitações.

A primeira delas refere-se à elevada quantidade de dados necessários para realizar o estudo, em virtude do nível de detalhe requerido no processo de microsimulação. A vasta massa de informações necessárias torna muitas vezes a coleta de dados uma tarefa bastante dispendiosa tanto sob o ponto de vista financeiro quanto do prazo necessário à confecção das redes de simulação e conclusão do estudo.

Outra limitação refere-se à etapa de calibração e validação do modelo desenvolvido, fundamental para a representação fidedigna do evento que se deseja avaliar. Os simuladores microscópicos possuem uma quantidade significativa de parâmetros que devem ser ajustados de forma a produzir em escala reduzida o comportamento do tráfego observado na escala real. Por essa razão, essa etapa acaba por se tornar a mais demorada dentro do processo de simulação. Alguns esforços tem sido direcionados na tentativa de se desenvolver procedimentos sistematizados que auxiliem e reduzam o tempo do processo de calibração. Contudo, em virtude do número de variáveis e condicionantes existentes no processo, há enormes dificuldades para se garantir um processo totalmente eficiente. Além disso, os procedimentos já desenvolvidos possuem aplicação restrita em função das condições específicas para as quais foram desenvolvidos.

## **7.3 - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A análise de pólos geradores de viagem por meio da utilização de microsimulação não se esgota com os resultados alcançados neste trabalho. É necessário ampliar o conhecimento aqui identificado na aplicação do método proposto para outros contextos.

Dessa forma, propõe-se a realização de novos estudos que busquem estender o conceito metodológico apresentado para avaliar o impacto de diversos outros tipos de empreendimento classificados como pólos geradores de viagem, como por exemplo, *shopping centers*, supermercados, edifícios residenciais e de escritórios, etc.

O estudo apresentado restringiu-se à análise dos impactos dos pólos geradores de viagem sobre o comportamento do tráfego automotor. Entretanto, o potencial das ferramentas de microsimulação permite o aprofundamento do método proposto para analisar os impactos

decorrentes da implantação de PGVs nos modos de transporte não motorizados e até mesmo nos impactos causados no sistema de transporte coletivo.

Outro ponto que deve ser investigado consiste na aplicação do método na análise da segurança viária, em que se pode buscar identificar pontos críticos ou propensos à ocorrência de acidentes de trânsito a partir da identificação e análise de indicadores de desempenho apropriados.

Por fim, ciente de que a análise de PGVs é parte integrante de um processo mais amplo de planejamento, ainda que na maioria das vezes esteja relacionado ao ponto de vista operacional, recomenda-se que se estude a aplicação do método no processo de planejamento urbano e de transportes, a fim de reduzir os problemas atualmente verificados decorrentes da escassez de uma avaliação mais ampla do assunto.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDRADE, E.P. (2005). Análise de Métodos de Estimativa de Produção de Viagens em Pólos Geradores de Tráfego, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- ARCHER, J. E KOSONEN, I. (2000). The Potential of Micro-Simulation Modelling in Relation to Traffic Safety Assesment. ESS Conference Proceeding, Hamburgo, 2000.
- BANCO MUNDIAL (2005). Monitorização & Avaliação: Algumas Ferramentas, Métodos e Abordagens, Washington D.C., 2005.
- BEIMBORN, E (2006). A Transportation Modeling Primer, University of Winsconsin-Milwaukee, 2006.
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.
- BRASIL (1997). Código de Trânsito Brasileiro, LEI Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.
- CET-SP – COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (1983). Pólos geradores de tráfego, Boletim Técnico n. 32, São Paulo, SP, 1983.
- CET-SP – COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (2000). Pólos geradores de tráfego II, Boletim Técnico n. 36, São Paulo, SP, 2000.
- CORREIA, D.E.R. (2004). Metodologia Para Identificação da Qualidade da Informação: Uma Aplicação Para o Planejamento de Transportes. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2004.
- CYBIS, H.B.B, LINDAU, L.A., ARAÚJO, D.R.C (1999). Avaliando o impacto atual e futuro de um pólo gerador de tráfego na dimensão de uma rede viária abrangente. Revista Transportes da ANPET, v. 7, n. 1, p. 64-85, São Paulo, SP, 1999.
- D'ANDREA, C., RAIA JR., A.A. (2006). O Estatuto da Cidade e os planejamentos de transporte e de circulação, Revista dos Transportes Públicos n. 111, ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos, São Paulo, SP, 2006.
- DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2001). Manual de procedimentos para o tratamento de pólos geradores de tráfego. Brasília, DF, 2001.
- DETRAN-DF – DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO DISTRITO FEDERAL (2011). Emissão de Parecer Técnico. Disponível no site



- [www.detran.df.gov.br/005/00502001.asp?ttCD\\_CHAVE=7679](http://www.detran.df.gov.br/005/00502001.asp?ttCD_CHAVE=7679). Acessado em maio de 2011.
- DISTRITO FEDERAL (2005). Decreto nº 26.048, de 20 de julho de 2005. Brasília, DF, 2005.
- DISTRITO FEDERAL (2006). Lei Complementar nº 733, de 13 de dezembro de 2006, Plano Diretor Local da Região Administrativa do Guará – RA X. Brasília, DF, 2006.
- DURANGO, J.G., MONZÓN, C.P., RUIZ, R.M.A. (2006) Propuesta de Indicadores para la Sostenibilidad de las Infraestructuras, III Congreso de Ingenieria Civil, Territorio y Medio Ambiente, Zaragoza, Espanha, 2006.
- FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2004a). Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer, Washington D.C, 2004a.
- FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2004b). Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decisions Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools, Washington D.C, 2004b.
- FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2004c). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, Washington D.C, 2004c.
- FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2007). Traffic Analysis Tools, vol. 6, Washington D.C, 2007.
- GDF – Governo do Distrito Federal (2008). Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno – PDTU/DF, Relatório Técnico nº 4 – Análise Final das Informações e Montagem das Matrizes de Viagem. Disponível no site [www.st.df.gov.br](http://www.st.df.gov.br). Acessado em maio de 2011. Brasília, DF, 2008.
- GDF – Governo do Distrito Federal (2010). Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno – PDTU/DF, Relatório Técnico nº 5 - Diagnóstico da Situação Atual,. Disponível no site [www.st.df.gov.br](http://www.st.df.gov.br). Acessado em maio de 2011. Brasília, DF, 2010.
- HOURLAKIS, J., MICHALOPOULOS, P. G., KOTTOMMANNIL, J. (2003), A Practical Procedure For Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models, artigo

- apresentado no Transportation Research Board 2003 Annual Meeting, Washington D.C., 2003.
- ITE – INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS (2008). Trip Generation. 8 ed. Washington D.C., 2008
- KANAFANI, A. (1983). Transport Demand Analysis. University of California, Berkeley, 1983.
- KNEIB, E. (2004). Caracterização de empreendimentos geradores de viagens: contribuição conceitual à análise de seus impactos no uso, ocupação e valorização do solo urbano. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2004.
- MAGALHÃES, M.T.Q. (2004). Metodologia para desenvolvimento de sistemas de indicadores: uma aplicação no planejamento e gestão na política nacional de transportes. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2004.
- MENESES, H.B.; LEANDRO, C.H.P.; LOUREIRO, C.F.G. (2003). Indicadores de Desempenho para Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real. Relatório Técnico CTAFOR. Fortaleza, CE, 2003.
- NI, D. (2003). 2DSIM: A Prototype of Nanoscopic Traffic Simulation, 2003.
- NUNES, J.L. (2005). Estudo da demanda por estacionamento em instituições de ensino superior. Dissertação de Mestrado em Transportes. Universidade de Brasília - UnB. Brasília, DF, 2005.
- ORTÚZAR, J.D. (2000). Modelos de Demanda de Transporte, 2ª Ed., Alfaomega, México, 2000.
- PEREIRA, C.B.,(2007) O planejamento urbano e o futuro das cidades, face a lei n 10.257/2001. Disponível em <http://www.prolegis.com.br/index.php?cont=2&id=637>
- PORTUGAL, L., GOLDNER, L. (2003). Estudo de pólos geradores de tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transportes, São Paulo, SP, 2003.
- PORTUGAL, L.S. (2005). Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

- PTV – PLANUNG TRANSPORT VERKEHR AG (2009). VISSIM 5.20 User Manual, Karlsruhe, Alemanha, 2009.
- REDPGV (2005). Rede Íbero-Americana de Estudos em Pólos Geradores de Viagens. Disponível na internet em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br>. Acessado em Janeiro de 2011.
- REDPGV (2010). Cadernos Pólos Geradores de Viagens Orientados à Qualidade de Vida e Ambiental, caracterização dos Pólos Geradores de Viagem, versão preliminar, disponível em <http://redpgv.coppe.ufrj.br>, 2010.
- ROYUELA, M.A.A. (2001). Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente, I Congreso de Ingenieria Civil, Territorio y Medio Ambiente, p.1231-1256, Madrid, Espanha, 2002.
- SILVA, L.R. (2006). Metodologia de delimitação da Área de Influência dos Pólos Geradores de Viagens para estudos de Geração de Viagens – Um estudo de caso nos supermercados e hipermercados. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília – Unb, Brasília, DF, 2006.
- SILVA, L.R., KNEIB, E.C., SILVA, P.C.M. (2007). Proposta Metodológica para Definição da Área de Influência de Pólos Geradores de Viagens Considerando Características Próprias e Aspectos Dinâmicos de seu Entorno. Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2007.
- SILVA, P.C.M. (2007). Teoria do Fluxo de Tráfego. Apostila do curso de Engenharia de Tráfego do Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília. Disponível na internet em [www.unb.br/ft/enc/pagdisc/engtraf/apostilas/APOSTILA2.pdf](http://www.unb.br/ft/enc/pagdisc/engtraf/apostilas/APOSTILA2.pdf). Universidade de Brasília - UnB. Brasília, DF, 2007.
- SOUZA, S.C.F. (2007). Modelos para estimativa de viagens geradas por instituições de ensino superior. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2007.
- TAORI, S., RATHI, A.K., (1996). Comparison of NETSIM, NETFLO I and NETFLO II traffic simulation models for fixed-time signal control, Transportation research, Washignton D.C., Record 1566, p.20-30, 1996.

- TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (2000). Técnica de Auditoria: Indicadores de Desempenho e Mapa de Produtos, Brasília, DF, 2000.
- TECTRAN – Técnicos em Transporte Ltda (2003a). Relatório de Impacto na Circulação da Escola de Engenharia e da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: TECTRAN, 2003.
- TECTRAN – Técnicos em Transporte Ltda (2003b). Estudo de Circulação e Estacionamento – Unidade Arcos – PUC Minas. Belo Horizonte: TECTRAN, 2003.
- TECTRAN – Técnicos em Transporte Ltda (2004). Relatório de Impacto na Circulação da Faculdade Estácio de Sá de Belo Horizonte – Campus Prado. Belo Horizonte: TECTRAN, 2004.
- TOLFO, J.D. (2006). Estudo comparativo de técnicas de análise de desempenho de redes viárias no entorno de pólos geradores de viagens. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- TSS – TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2008). Microsimulator and Mesosimulator in Aimsun 6: User's Manual, Barcelona, Espanha, 2008.
- TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2000) Highway Capacity Manual. Washington D.C., 2000.
- TURLEY, C. (2007). Calibration Procedure for a Microscopic Traffic Simulation Model, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brigham Young University, Provo, Utah, Estados Unidos da America, 2007.

## **APÊNDICES**

**A – METODOLOGIA DA FHWA PARA A SELEÇÃO DA  
FERRAMENTA DE ANÁLISE DE TRÁFEGO**

A aplicação da metodologia de FHWA(2004b) para a seleção de ferramentas de análise de tráfego deve ser desempenhada por meio da utilização da planilha da Tabela A.1 a seguir, apresentada já com os valores atribuídos para o presente trabalho:

**Tabela A.1a:** Planilha para seleção da ferramenta de análise de tráfego (FHWA, 2004b)

Contexto Analítico	Relevância do Contexto	Relevância da Categoria de Ferramenta							Coluna 2 x Coluna 3						
		Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação	Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação
Selecionar apenas UM contexto analítico. Inserir '5' na categoria selecionada															
Planejamento	0	10	10	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Desenho	0	-99	5	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Operação/Construção	5	5	0	10	10	10	10	10	25	0	50	50	50	50	50
Subtotal									25	0	50	50	50	50	50
Pesos Relevante Acima de 0									1						
SUBTOTAL PONDERADO									25	0	50	50	50	50	50

1	2	3							4						
Critério	Relevância do Subcritério	Relevância da Categoria de Ferramenta							Coluna 2 x Coluna 3						
		Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação	Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação
1 Escopo Geográfico (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)															
Local Isolado	5	-99	-99	10	10	10	5	10	-495	-495	50	50	50	25	50
Segmento	5	5	0	10	10	10	10	10	25	0	50	50	50	50	50
Corredor/Pequena Rede	2	-99	5	0	5	10	10	10	-198	10	0	10	20	20	20
Região	0	-99	5	-99	-99	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal									-668	-485	100	110	120	95	120
Pesos Relevante Acima de 0									3						
SUBTOTAL PONDERADO									-223	-162	33	37	40	32	40
2 Tipo de Facilidade (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)															
Interseção Isolada	5	0	5	10	10	10	10	10	0	25	50	50	50	50	50
Rotatória	5	0	0	10	0	5	0	5	0	0	50	0	25	0	25
Via Arterial	4	10	10	10	10	10	10	10	40	40	40	40	40	40	40
Rodovia	3	10	10	10	5	10	10	10	30	30	30	15	30	30	30
Via Expressa	0	5	10	10	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Faixas para VAO	1	5	10	5	0	10	10	10	5	10	5	0	10	10	10
Faixa de ultrapassagem para VAO	1	0	10	0	5	5	5	10	0	10	0	5	5	5	10
Rampa	3	5	10	10	10	10	10	10	15	30	30	30	30	30	30
Faixa Auxiliar	3	0	0	5	5	10	10	10	0	0	15	15	30	30	30
Faixa Reversível	3	0	5	0	0	0	0	5	0	15	0	0	0	0	15
Faixa para Caminhão	2	0	10	5	5	5	5	10	0	20	10	10	10	10	20
Faixa para Ônibus	2	0	10	0	0	5	5	10	0	20	0	0	10	10	20
Praça de Pedágio	0	0	5	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Linha de VLT	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal									90	200	230	165	240	215	280
Pesos Relevante Acima de 0									11						
SUBTOTAL PONDERADO									8	18	21	15	22	20	25

**Tabela A.1b** – Planilha para seleção da ferramenta de análise de tráfego (FHWA, 2004b) (continuação)

<b>3 Modo de Transporte (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)</b>																
VBO	5	10	10	10	10	10	10	10	10	50	50	50	50	50	50	50
VAO	3	5	10	5	5	5	10	10	10	15	30	15	15	15	30	30
Ônibus	5	5	10	5	5	5	10	10	10	25	50	25	25	25	50	50
Trem	0	5	10	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Caminhão	3	5	5	5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15	15
Motocicleta	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
Bicicleta	4	5	5	5	0	0	0	5	5	20	20	20	0	0	0	20
Pedestre	4	5	0	5	5	5	5	5	5	20	0	20	20	20	20	20
<b>Subtotal</b>										145	180	145	125	125	165	185
<b>Pesos Relevante Acima de 0</b>										7						
<b>SUBTOTAL PONDERADO</b>										21	26	21	18	18	24	26
<b>4 Estratégias/Aplicações de Gestão de Tráfego (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)</b>																
Gestão de Vias Expressas	0	10	5	5	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Interseções de Vias Arteriais	5	0	0	10	10	10	10	10	10	0	0	50	50	50	50	50
Gestão de Vias Arteriais	0	5	5	5	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Gestão de Incidentes	0	5	0	5	0	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Gestão de Emergências	0	5	0	5	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Zonas de Trabalho	5	5	0	10	0	10	10	10	10	25	0	50	0	50	50	50
Evento Especial	0	5	0	10	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Sistema Avançado de Transporte Público	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Sistema Avançado de Informação ao Usuário	0	5	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Sistema de Pagamento Eletrônico	0	5	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Monitoramento de Cruzamentos em Ferrovias	0	5	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Operação de Veículos Comerciais	3	5	0	0	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0	0	15
Sistema Avançado de Segurança e Controle Veicular	0	5	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Gerenciamento do Clima	0	0	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Gerenciamento da Demanda de Viagem	4	10	10	5	0	5	5	5	5	40	40	20	0	20	20	20
<b>Subtotal</b>										80	40	120	50	120	120	135
<b>Pesos Relevante Acima de 0</b>										4						
<b>SUBTOTAL PONDERADO</b>										20	10	30	13	30	30	34
<b>5 Comportamento do Usuário (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)</b>																
Desvio de Rota Prévio	0	5	10	-99	0	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Desvio de Rota em Deslocamento	0	5	10	-99	0	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Mudança de Modo	0	5	10	-99	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Escolha do Tempo de Partida	0	5	0	-99	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Mudança de Destino	0	-99	5	-99	-99	-99	-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Induzida/Reprimida	0	5	5	-99	-99	-99	-99	-99	5	0	0	0	0	0	0	0
<b>Subtotal</b>										0	0	0	0	0	0	0
<b>Pesos Relevante Acima de 0</b>										0						
<b>SUBTOTAL PONDERADO</b>										0	0	0	0	0	0	0



**Tabela A.1c – Planilha para seleção da ferramenta de análise de tráfego (FHWA, 2004b) (continuação)**

<b>6 Medidas de Desempenho (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)</b>															
Nível de Serviço	5	0	5	10	10	5	5	5	0	25	50	50	25	25	25
Velocidade	5	10	10	10	10	10	10	10	50	50	50	50	50	50	50
Tempo de Viagem	5	5	5	10	10	10	10	10	25	25	50	50	50	50	50
Volume	5	10	10	10	10	10	10	10	50	50	50	50	50	50	50
Distância de Viagem	5	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	50	50
Número de Passageiros	0	0	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Ocupação Média Veicular	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V/C	5	0	10	10	5	5	5	5	0	50	50	25	25	25	25
Densidade	5	0	0	10	10	10	10	10	0	0	50	50	50	50	50
VMT/PMT	0	5	10	5	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
VHT/PHT	0	5	10	5	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Atraso	5	5	10	10	10	10	10	10	25	50	50	50	50	50	50
Comprimento de Fila	5	0	0	10	10	10	10	10	0	0	50	50	50	50	50
Número de Paradas	5	5	0	0	0	0	5	10	25	0	0	0	0	25	50
Colisões/Acidentes	3	5	0	0	0	0	5	5	15	0	0	0	0	15	15
Duração de Incidentes	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Confiança no Tempo de Viagem	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissões	0	5	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Consumo de Combustível	0	5	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Ruído	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Divisão Modal	0	0	10	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Custo/Benefício	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Subtotal</b>									190	250	400	375	350	440	465
<b>Pesos Relevante Acima de 0</b>									11						
<b>SUBTOTAL PONDERADO</b>									17	23	36	34	32	40	42
<b>7 Custo/Benefício da Ferramenta (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)</b>															
Custo da Ferramenta	3	10	0	10	10	5	0	0	30	0	30	30	15	0	0
Grau de esforço/treinamento	1	10	0	10	5	5	0	0	10	0	10	5	5	0	0
Facilidade de uso	1	10	0	10	5	5	0	0	10	0	10	5	5	0	0
Popular/Confiável	1	5	5	10	10	5	0	5	5	5	10	10	5	0	5
Requisitos de <i>Hardware</i>	2	10	5	10	10	10	0	0	20	10	20	20	20	0	0
Requisitos de Dados	3	10	0	10	10	0	0	0	30	0	30	30	0	0	0
Tempo de rodada	3	10	5	10	10	10	0	0	30	15	30	30	30	0	0
Requisitos de pós-processamento	3	5	0	5	5	5	10	10	15	0	15	15	15	30	30
Disponibilidade de Documentação	3	5	5	10	5	5	5	5	15	15	30	15	15	15	15
Suporte ao Usuário	3	5	10	0	0	5	5	5	15	30	0	0	15	15	15
Parâmetros chaves definidos pelo usuário	3	5	10	5	5	10	10	10	15	30	15	15	30	30	30
Fornecimento de valores padrões	3	10	0	10	10	10	10	10	30	0	30	30	30	30	30
Integração com outros <i>softwares</i>	3	0	5	5	5	5	5	5	0	15	15	15	15	15	15
Ferramentas de animação/apresentação	3	0	5	0	0	5	10	10	0	15	0	0	15	30	30
<b>Subtotal</b>									225	135	245	220	215	165	170
<b>Pesos Relevante Acima de 0</b>									14						
<b>SUBTOTAL PONDERADO</b>									16	10	18	16	15	12	12

**Tabela A.1d:** Planilha para seleção da ferramenta de análise de tráfego (FHWA, 2004b) (continuação)

Ponderação dos Critérios																
5		6	7							8						
Contexto/Critério (0 = sem relevância, 5 = mais relevante)		Relevância do Critério	Subtotais Ponderados							Coluna 6 x Coluna 7						
			Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação	Ferramenta Preliminar de Planejamento	Modelo de Demanda de Viagem	Análítica (HCM)	Otimização Semafórica	Macro-simulação	Meso-simulação	Micro-simulação
0	Contexto Analítico	2	25	0	50	50	50	50	50	50	0	100	100	100	100	100
1	Escopo Geográfico	3	-223	-162	33	37	40	32	40	-668	-485	100	110	120	95	120
2	Tipo de Facilidade	5	8	18	21	15	22	20	25	41	91	105	75	109	98	127
3	Modo de Transporte	4	21	26	21	18	18	24	26	83	103	83	71	71	94	106
4	Estratégias/Aplicações de Gestão de Tráfego	3	20	10	30	13	30	30	34	60	30	90	38	90	90	101
5	Comportamento do Usuário	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Medidas de Desempenho	5	17	23	36	34	32	40	42	86	114	182	170	159	200	211
7	Custo/Benefício da Ferramenta	3	16	10	18	16	15	12	12	48	29	53	47	46	35	36
TOTAIS PONDERADOS										-300	-119	712	612	696	712	802
Categoria de Ferramenta Mais Apropriada:										1. Microsimulação						
										2. Mesosimulação						

Apoiado por essa planilha, a metodologia consiste na aplicação das seguintes etapas:

- 1) Definir o contexto analítico do projeto: a categoria de ferramentas mais apropriada depende do tipo e do nível de detalhe do projeto. Dessa forma, inicialmente deve-se avaliar cuidadosamente o contexto de análise do trabalho a ser desenvolvido, se ele é voltado ao planejamento, projeto geométrico ou operação/execução de facilidades, além de avaliar suas metas, objetivos, questões e necessidades. Avaliado essa questão, atribui-se o grau de relevância quanto ao contexto analítico ponderando valores que variam de 0 a 5, onde 0 significa sem relevância e 5 muito relevante.
- 2) Ponderar o grau de relevância para cada um dos critérios de seleção: nesta etapa, deve-se atribuir valores de relevância para cada tipo de critério de seleção, verificando quais os subcritérios definidos na metodologia que são mais relevantes para o escopo do projeto a ser desenvolvido. Da mesma forma que a etapa passada, os pesos de ponderação variam de 0 a 5, sendo 0 sem relevância e 5 muito relevante, devendo ser inseridos na coluna 2 da Tabela A.1.
- 3) Atribuir o grau de relevância de cada categoria de ferramenta: esses valores de ponderação devem ser obtidos pelas Tabelas A.2 a A.9, de modo que:
  - Para cada círculo cheio (●), em que aquele contexto específico é geralmente abordado através da correspondente ferramenta analítica, atribuir o valor 10;
  - Para cada símbolo nulo (∅), em que algumas ferramentas analíticas abordam aquele contexto específico e algumas não o abordam, atribuir o valor 5;
  - Para cada círculo vazio (○), em que a ferramenta de análise particular não costuma abordar aquele contexto específico, atribuir o valor 0;
  - Para cada item não aplicável (N/A), em que a ferramenta de análise não é apropriada para uso no tratamento daquele contexto específico, atribuir o valor -99.

Essa ponderação deve ser aplicada na coluna 3 da Tabela A.1.

**Tabela A.2:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do contexto analítico.

Contexto Analítico	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Planejamento	•	•		○			○
Projeto	N/A		•	•	•	•	•
Operação/Execução		○	•	•	•	•	•

**Tabela A.3:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função da área de estudo/ escopo geográfico.

Contexto Analítico/ Escopo Geográfico	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
<b>Planejamento</b>							
Local Isolado	○	○	•		○	○	○
Segmento	•	○	•	○			
Corredor/ Pequena Rede		•	○	○			
Região		•	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Projeto</b>							
Local Isolado	N/A	N/A	•	•	•		•
Segmento	N/A	○	•		•	•	•
Corredor/ Pequena Rede	N/A		○	○	•	•	•
Região	N/A		N/A	N/A	○	○	
<b>Operação/Execução</b>							
Local Isolado	N/A	N/A	•	•	•		•
Segmento		○	•	•	•	•	•
Corredor/ Pequena Rede	N/A		○		•	•	•
Região	N/A		N/A	N/A		○	

**Tabela A.4:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do tipo de facilidade.

Tipo de Facilidade	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Interseção Isolada	○		●	●	●	●	●
Rotatória	○	○	●	○		○	
Via Arterial	●	●	●	●	●	●	●
Rodovia	●	●	●		●	●	●
Via Expressa		●	●		●	●	●
Faixa para VAO		●		○	●	●	●
Faixa de ultrapassagem de VAO	○	●	○				●
Rampa		●	●	●	●	●	●
Faixa Auxiliar	○	○			●	●	●
Faixa Reversível	○		○	○	○	○	
Faixa para Caminhão	○	●				○	●
Faixa para Ônibus	○	●	○	○		○	●
Praça de Pedágio	○			○	○	○	●
Linha de VLT	○	●	○	○	○	○	●

**Tabela A.5:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do modo de viagem.

Modo de Viagem	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
VBO	●	●	●	●	●	●	●
VAO		●				●	●
Ônibus		●				●	●
Trem		●	○	○	○		
Caminhão							
Motocicleta	○		○	○	○	○	○
Bicicleta				○	○	○	
Pedestre		○					

**Tabela A.6:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função das aplicações e estratégias de gestão.

Aplicações e Estratégias de Gestão	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Gestão de Vias Expressas	•			•	•	•	•
Interseções em Vias Arteriais	○	○	•	•	•	•	•
Gestão de Vias Arteriais				•	•	•	•
Gestão de Incidentes		○		○	•	•	•
Gestão de Emergências		○		○			
Zonas de Emprego		○	•	○	•	•	•
Eventos Especiais		○	•	○			
Sistemas Avançados de Transporte Público		○	○	○	○	○	
Sistema Avançado de Informação ao Usuário		○	○	○			
Sistema de Pagamento Eletrônico		○	○	○	○	○	•
Monitoramento de Passagens de Nível		○	○	○	○	○	•
Operação de Veículos Comerciais		○	○	○	○	○	
Sistema Avançado de Controle e Segurança de Veículos	∅	○	○	○	○	○	∅
Gestão de Clima	○	○	○	○			
Gestão da Demanda de Viagens	•	•		○			

**Tabela A.7:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função da reação do usuário.

Reação do Usuário	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Desvio de Rota							
Antes do início da Viagem		○	N/A	○	•	•	•
Em Rota		•	N/A	○			
Mudança de Modo		•	N/A	○			
Escolha da Hora de Partida		○	N/A	○			
Alteração de Destino	N/A		N/A	N/A	N/A	○	○
Demanda Induzida/Reprimida			N/A	N/A	N/A	N/A	

**Tabela A.8:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função das medidas de desempenho.

Medidas de Desempenho	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Nível de Serviço	○		●	●			
Velocidade	●	●	●	●	●	●	●
Tempo de Viagem			●	●	●	●	●
Volume	●	●	●	●	●	●	●
Distância Percorrida	○	○	○	○	○	●	●
Nº de Passageiros	○	○	○	○	○		
Ocupação Veicular Média	○		○	○	○	○	○
Taxa V/C	○	●	●				
Densidade	○	○	●	●	●	●	●
VMT/PMT		●			●	●	●
VHT/PHT		●			●	●	●
Atraso		●	●	●	●	●	●
Comprimento de Fila	○	○	●	●	●	●	●
Nº de Paradas		○	○	○	○		●
Colisões		○	○	○	○		
Duração de Incidentes	○	○	○	○	○		
Confiança no Tempo de Viagem		○	○	○	○	○	○
Emissões		○					
Consumo de Combustível		○	○	○			
Ruído		○	○	○	○	○	○
Divisão Modal		●	●				
Custo/Benefício		○	○	○	○	○	○

**Tabela A.9:** Relevância das categorias de ferramentas de análise de tráfego em função do custo/benefício da ferramenta.

Custo Benefício da Ferramenta	Ferramentas Analíticas/Metodologias						
	Esboço de Planejamento	Modelos de Demanda de Viagem	Ferramentas Analíticas/Determinísticas	Otimização Semafórica	Simulação Macroscópica	Simulação Mesoscópica	Simulação Microscópica
Custo Capital Total	●	○	●	●		○	○
Nível de Esforço	●	○	●			○	○
Facilidade de Uso	●	○	●			○	○
Popularidade/Boa Confiança			●	●		○	
Requisitos de <i>Hardware</i>	●		●	●	○	○	○
Requisitos de Dados	●	○	●	●	○	○	○
Tempo de Rodada	●		●	●	●	○	○
Requisitos de Pós-Processamento		○				●	●
Documentação			●				
Suporte ao Usuário		●	○	○			
Parâmetros Chave Podem ser Definidos pelo usuário	∅	●	∅	∅	●	●	●
Os valores padrão são fornecidos	●	○	●	●	●	●	●
Integração com outros <i>softwares</i>	○						
Animação/Apresentação	○		○	○		●	●

- 4) Na sequência deve-se obter a correlação entre o grau de relevância de cada subcritério em relação a relevância das categorias de ferramentas, multiplicando o valor da coluna 2 pelos valores de cada subcritério da coluna 3, inserindo esse produto na coluna 4.
- 5) Em seguida, soma-se os valores atribuídos a cada categoria de ferramenta de análise pelos critérios apresentados em cada contexto analítico, obtendo-se o subtotal da ponderação.
- 6) Na etapa seguinte, deve-se verificar quantos critérios em cada grupo de ferramenta de análise teve alguma relevância para o estudo, ou seja, possui valores na coluna 2 superiores a 0. Essa informação deve ser inserida na célula “Pesos relevantes superiores a 0”.
- 7) Calcular a razão entre os valores dos subtotais obtidos na etapa 5 e o número de critérios relevantes da etapa 6, com o intuito de normalizar os resultados. Esse resultado consiste no Subtotal Ponderado a ser realizado para cada critério.



- 8) Agrupar os subtotais ponderados de todos os critérios na coluna 7.
- 9) Deve-se fazer um ajuste fino nas ponderações realizadas até essa etapa, revendo os valores na coluna 7 para cada critério e categoria de ferramenta, com foco particular nos valores negativos. Para cada critério com valor negativo, deve ser identificado a sua fonte na coluna 4 e a relevância do subcritério na coluna 2, realizando os ajustes necessários com base nas metas, objetivos, necessidades e prioridades do projeto a ser desenvolvido.
- 10) O esquema de ponderação prévio realizado na coluna 2 foi aplicado para os subcritérios dentro de cada categoria de critério principal. Nesta 10ª etapa, deve-se desenvolver a ponderação dentre as categorias de critérios principais, atribuindo-lhes valores apropriados de 0 a 5 considerando cuidadosamente cada prioridade, necessidade e restrições do projeto.
- 11) Para cada contexto/critério, multiplicar o valor da coluna 6 por cada valor na coluna 7 e inserir o resultado na célula apropriada da coluna 8.
- 12) Para concluir a análise de determinação da melhor categoria de ferramentas, deve-se somar os valores de cada categoria de ferramenta da coluna 8 obtendo-se os Pesos Totais a serem registrados no final da planilha. As categorias de ferramenta com maior nota baseada neste processo matemático são as que se mostram mais apropriadas para o trabalho que se deseja desenvolver.
- 13) A metodologia sugere que se selecione as duas primeiras categorias de ferramentas para considerações posteriores, pois é recomendável que o usuário as explore posteriormente, principalmente se os valores finais de ponderação forem próximos. Categorias de ferramentas com pontuação final negativa não devem ser consideradas. Além disso, deve-se reconhecer que apenas uma ferramenta específica provavelmente não deve ser capaz de suprir todas as necessidades do projeto, de forma que várias ferramentas podem ser necessárias para conduzir um determinado projeto.

## **B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

Tabela B.1a: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3711	0500.01	1645	64,0590624	24,2130244
3713	0500.02	897	63,858518	14,7294733
3715	0500.03	1849	62,9380869	27,5125589
3714	0500.04	942	62,4934818	14,2447403
3716	0500.05	195	33,5189222	10,2531893
3717	0500.06	143	53,65721	2,6788324
3718	0500.07	276	43,144335	6,2189734
3719	0500.08	173	40,9915367	5,01725733
3720	0500.09	48	54,924217	0,88292306
3721	0500.10	203	32,5752752	10,6264659
3722	0500.11	193	36,0494417	8,37156055
3723	0500.12	136	54,5007259	2,5297268
3725	0500.13	1849	62,2747324	27,6977761
3724	0500.14	999	61,4424397	15,5703177
3726	0500.15	1694	62,12384	25,6146319
3727	0500.16	186	9,12477665	42,3519501
3728	0500.17	1518	64,7860947	21,9648149
3729	0500.18	821	64,6589275	12,0807017
3730	0500.19	0	-1	0
3515	0500.20	0	-1	0
3731	0500.21	1519	64,6767464	23,9739855
3732	0500.22	821	64,6908665	12,0806364
2984	0500.23	1519	64,9596775	21,8770112
3735	0500.24	189	45,2999983	11,1006167
3737	0500.25	1709	64,0642767	24,8159159
3736	0500.26	1010	61,8902246	15,5914828
3738	0500.27	1812	64,0061258	26,3023186
3739	0500.28	1063	64,5825943	15,7984974
3740	0500.29	165	50,3426838	13,847403
3741	1000.01	1664	64,4650494	24,3928337
3742	1000.02	954	64,405303	14,3073744
3745	1000.03	75	41,4764034	7,38716685
3747	1000.04	48	49,8166403	0,91441674
3748	1000.05	55	28,2962569	19,3276012
3752	1000.06	7	45,4348999	0,14697401
3751	1000.07	23	48,0187649	0,46598305
3750	1000.08	51	40,3707211	1,19609656
3749	1000.09	26	50,9690035	0,50997779

Tabela B.1b: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3743	1000.10	1747	63,5125971	25,7188287
3744	1000.11	999	63,4862675	14,8664496
3753	1000.12	74	37,0195478	2,35080982
3754	1000.13	45	56,7891811	0,80134043
3746	1000.14	100	46,5034168	3,54751167
3756	1000.15	10	34,8368564	0,35838641
3755	1000.16	0	-1	0
3757	1000.17	1331	57,9580711	23,692209
3759	1000.18	137	54,524288	2,53267229
3758	1000.19	192	19,5373985	51,4227322
3760	1000.20	1383	49,4232737	26,2632719
3761	1000.21	971	65,7447033	14,2749908
3762	1000.22	724	64,7510319	11,0535422
3763	1000.23	1130	43,0596031	25,8581093
3764	1000.24	145	54,8993996	2,66740292
3765	1000.25	99	54,7961792	1,81415898
3766	1000.26	4	33,580255	0,13702836
3767	1000.27	0	-1	0
3768	1000.28	966	64,9596397	14,3230172
3769	1000.29	721	65,2513378	10,8233517
3770	1000.30	0	-1	0
3771	1000.31	6	55,1536297	0,1141252
3772	1000.32	273	51,2929203	5,33208725
3773	1000.33	256	33,2399848	15,3428191
3774	1000.34	947	65,1559341	14,171453
3775	1000.35	727	64,8403557	11,1400745
3776	1000.36	2077	61,9331345	31,7377575
3777	1000.37	1258	61,9268225	20,1369447
3778	1000.38	61	38,9057901	5,99525087
3779	1000.39	2141	62,4327604	31,8347018
3780	1000.40	1319	59,8633705	25,8656604
3783	1000.41	303	62,5972366	4,8526756
3782	1000.42	225	13,1582475	80,0040493
3781	1000.43	2221	62,0214136	32,7709898
3784	1000.44	513	29,9541669	54,7838143
3785	1000.45	802	63,8530664	12,0949322
3786	1000.46	1710	64,5348877	24,8529419

Tabela B.1c: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3787	1000.47	138	47,1412169	6,7542258
3789	1500.01	43	32,3037372	1,98987207
3788	1500.02	120	54,49706	2,22903709
3792	1500.03	0	-1	0
3793	1500.04	86	33,7190994	11,90228
3790	1500.05	1741	64,4021267	25,2730313
3791	1500.06	1040	64,8645546	15,2017654
3794	1500.07	0	-1	0
3795	1500.08	162	26,1462471	30,2853482
3812	1500.09	1208	41,3961519	51,1953506
3800	1500.10	1251	38,0877285	81,3866512
3798	1500.11	1304	53,1243664	19,5804743
3799	1500.12	853	38,2888021	52,1983339
3801	1500.13	1557	37,3315052	49,0580225
3802	1500.14	1096	51,4710169	20,7089624
3803	1500.15	288	53,2026045	5,42670372
3804	1500.16	47	55,1419605	0,86359493
3807	1500.17	84	54,9005255	1,53957601
3808	1500.18	77	54,8516115	1,41087705
3805	1500.19	1319	53,7521082	24,0832707
3806	1500.20	1089	57,6324921	19,6901765
3810	1500.21	83	31,8091838	4,61372799
3811	1500.22	77	54,1132164	1,42583761
3809	1500.23	1083	61,3372662	17,6190198
3813	1500.24	106	48,1264288	3,00979115
3814	1500.25	826	64,1270748	12,4600597
3815	1500.26	1817	64,8390461	25,6749309
3816	1500.27	109	54,0354069	2,03193083
3817	1500.28	256	32,5934885	16,6608647
3818	1500.29	61	38,6009726	3,15780001
3820	1500.30	916	64,7447666	13,7160034
3819	1500.31	1758	64,8612953	25,1279093
3821	1500.32	154	47,3685059	6,49658955
3824	1500.33	1072	63,730368	15,9687242
3823	1500.34	1913	64,4805443	27,5443358
3825	1500.35	1072	63,9102999	16,1018526
3822	1500.36	27	40,4709831	2,34196377

Tabela B.1d: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3826	1500.37	51	55,2150673	0,93868273
3827	1500.38	51	31,9053783	3,07848713
3837	1500.39	596	47,9540527	13,5112888
3832	1500.40	596	59,5665663	9,91107759
3834	1500.41	53	53,7498041	0,99589297
3833	1500.42	49	41,156369	1,49840365
3831	1500.43	591	62,1379765	9,51013837
3830	1500.44	836	61,3641579	14,7269913
3829	1500.45	50	52,502977	0,97384755
3828	1500.46	48	27,9062572	8,03100207
3847	1500.47	833	62,5365158	13,4811022
3846	1500.48	1052	40,7135868	25,5943379
3844	1500.49	82	54,001708	1,51501355
3845	1500.50	111	54,8689287	2,03125431
3841	1500.51	1080	60,2329081	17,5510509
3843	1500.52	159	63,6617819	2,50634788
3842	1500.53	79	32,5330833	4,60820575
3840	1500.54	43	65,0119576	0,67166499
3839	1500.55	288	64,0026567	4,54762576
3838	1500.56	754	62,5740232	12,5249018
3848	1500.57	8	42,1804722	0,55068085
3849	1500.58	865	65,2695553	12,7909928
3850	1500.59	1002	63,5984261	14,3770071
3853	1500.60	0	-1	0
3854	1500.61	865	42,714953	47,7836868
3855	1500.62	590	55,6194941	8,42575572
3851	1500.63	412	42,2736979	10,2085938
3868	1500.64	1186	50,6990601	33,7382249
3859	1500.65	776	32,8672366	87,736591
3858	1500.66	775	48,2400394	42,1327322
3857	1500.67	591	52,1111086	14,8229475
3856	1500.68	1640	54,6964014	26,1021996
3860	1500.69	11	27,7118519	3,08765776
3862	1500.70	1651	55,4315666	33,853717
3861	1500.71	603	65,3121162	9,06960506
3866	1500.72	41	52,193734	0,80161735
3865	1500.73	83	27,7797702	20,4156931

Tabela B.1e: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3867	1500.74	1909	63,7179417	30,0181638
3864	1500.75	2513	58,1969374	41,4618019
3863	1500.76	1695	46,0162235	69,9422119
3637	1500.77	437	21,8834873	99,498254
3836	1500.78	49	54,5545389	0,90387395
3835	1500.79	48	54,0851694	0,90464924
3870	2000.01	2012	46,4737444	39,0888485
3869	2000.02	3009	56,3433353	57,1928547
3871	2000.03a	77	53,1152374	1,50206698
3872	2000.03b	87	23,1150118	19,4685237
3873	2000.04	2019	47,6789522	42,2688232
3874	2000.05	636	16,6079987	111,736706
3878	2000.06	2196	56,6758158	38,7686574
3877	2000.07	1457	29,6713882	105,49417
3875	2000.08	2657	50,2968103	51,1595911
3876	2000.09	2656	49,4145164	67,7271444
3879	2000.10	1746	47,7155907	68,3033909
3615	2000.11	299	45,6389967	28,8343355
3614	2000.12	3360	43,188556	85,309687
3883	2000.13	298	32,9570715	67,5393166
3880	2000.14	1745	55,1113129	23,0437205
3882	2000.15	1859	45,1409828	40,5482809
2989	2000.16	3604	60,6684622	49,133226
3885	2000.17	911	64,3642584	13,2354809
3884	2000.18	2157	56,9798643	37,2298398
3886	2000.19	77	56,1357475	1,45448691
3887	2000.20	88	33,9535975	11,5815491
3888	2000.21	922	61,5198376	14,4256988
3889	2000.22	128	46,2099184	9,2246789
3891	2000.23	794	64,6848778	11,4639247
3890	2000.24	2033	64,5197193	29,0840846
3892	2000.25	287	25,9097388	23,4626609
3893	2000.26	38	37,2024559	0,96372612
3895	2000.27	790	64,9006157	11,4933927
3894	2000.28	1784	64,7159706	25,4426162
3896	2000.29	76	52,5129856	1,45094257
3897	2000.30	81	35,0992486	4,6375229

Tabela B.1f: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3898	2000.31	793	63,0091766	12,2066942
3899	2000.32	73	36,9054216	3,86686656
3900	2000.33	720	64,9628223	10,5175612
3901	2000.34	1711	64,7937645	24,4098968
3902	2000.35	1886	63,9970871	27,4744761
3903	2000.36	1046	65,0178314	15,3504646
3905	2000.37	287	26,0829092	37,6732241
3904	2000.38	1599	64,9801178	22,7062517
3906	2000.39	35	64,8120424	0,54207963
3907	2000.40	1634	65,1141315	23,0925291
3908	2000.41	48	53,9368752	0,9013902
3909	2000.42	49	43,7417057	2,52463562
3910	2000.43	1059	47,3818331	22,0194044
3913	2000.44	2694	62,7332397	38,2207481
3911	2000.45	2100	56,9029102	36,1725979
3912	2000.46	797	61,5423922	13,8201986
3914	2000.47	1182	55,5076668	23,5257234
3915	2000.48	386	37,5842685	19,019776
3916	2000.49	1289	64,3452785	20,0750188
3918	2000.50	1305	63,0076834	20,2684576
3917	2000.51	1675	59,4568045	28,1759762
3919	2000.52	47	53,4684355	0,9123004
3920	2000.53	51	21,7006387	12,3382294
3921	2000.54	1308	63,9217436	19,4726474
3922	2000.55	462	64,4870567	7,21547034
3923	2000.56	694	42,9713245	16,918871
3925	2000.57	1545	60,734903	24,12907
3924	2000.58	1665	59,742432	27,4018435
3926	2000.59	12	18,2662222	10,8107585
3927	2000.60	0	-1	0
3928	2000.61	94	55,2494356	1,78965703
3929	2000.62	41	20,1061011	16,4434341
3931	2000.63	1491	64,2165524	22,3973375
3930	2000.64	1665	64,9734852	23,8808319
3933	2000.65	1225	63,8492256	18,5079592
3932	2000.66	1051	65,3667774	15,3226054
3934	2000.67	387	32,274661	28,6794571



Tabela B.1g: Resultados médios das simulações por detector para a situação sem PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário sem PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3935	2000.68	398	63,6279587	6,28537111
3936	2000.69	1237	63,2203733	18,9039938
3937	2000.70	227	62,2901529	7,48307512
3938	2000.71	822	65,2478943	12,2173468
3941	2000.72	1010	64,9191586	14,5332519
3939	2000.73	0	-1	0
3940	2000.74	51	30,6032123	3,3498468
3942	2000.75	872	65,3876202	12,8771067
3943	2500.01	424	22,630618	50,3990356
3944	2500.02	760	64,6238815	11,8175717
2987	2500.03	2276	75,4318512	27,226253
2988	2500.04	2046	69,6286213	27,3055225
3946	2500.05	610	51,3976404	23,9237087
3947	2500.06	881	65,2463772	13,0764805
3945	2500.07	1058	64,8618191	15,769164
3948	2500.08	160	42,633423	9,75021384
3949	2500.09	1046	64,5765873	15,500546
3950	2500.10	44	54,9753931	0,83349749
3951	2500.11	48	27,5942531	8,18770841
3734	PGV1	0	-1	0
3733	PGV2	0	-1	0

Tabela B.2a: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3711	0500.01	1806	64,0362722	26,2325812
3713	0500.02	976	63,8429609	15,9849321
3715	0500.03	1687	62,7822515	25,3747443
3714	0500.04	1201	62,6292761	17,8684928
3716	0500.05	202	32,4654095	11,820935
3717	0500.06	133	53,8374989	2,48964376
3718	0500.07	246	43,2361589	5,51253457
3719	0500.08	187	39,0652422	6,56199827
3720	0500.09	46	54,783235	0,84502993
3721	0500.10	195	34,0907319	8,61503389
3722	0500.11	203	32,2875051	12,0476297
3723	0500.12	129	54,5770477	2,3912702
3725	0500.13	1687	62,5054335	25,3289282
3724	0500.14	1275	61,5116566	19,6263145
3726	0500.15	1538	62,3015621	23,3178885
3727	0500.16	173	9,37846107	39,0663391
3728	0500.17	1371	65,0995068	19,7596411
3729	0500.18	1107	64,6549572	16,1039692
3730	0500.19	0	-1	0
3515	0500.20	0	51,1295433	0,00040644
3731	0500.21	1371	64,9695103	21,5097894
3732	0500.22	1106	64,5861496	16,1058878
2984	0500.23	1946	63,9994923	28,16965
3735	0500.24	167	40,4964796	15,430357
3737	0500.25	2112	62,8128242	31,1100702
3736	0500.26	1272	62,1977823	19,4085884
3738	0500.27	2170	62,565608	31,9307982
3739	0500.28	1342	64,3761524	19,7536776
3740	0500.29	360	41,8701059	35,2145244
3741	1000.01	1806	64,3848896	26,0774572
3742	1000.02	1031	64,3281857	15,3837443
3745	1000.03	80	40,1485502	9,49190807
3747	1000.04	46	49,8446009	0,87384664
3748	1000.05	63	26,697216	23,7386888
3752	1000.06	11	44,4073263	0,24325387
3751	1000.07	23	47,795396	0,46451398
3750	1000.08	55	40,4355158	1,29046456
3749	1000.09	25	50,8222479	0,4824967

Tabela B.2b: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3743	1000.10	1904	63,3768673	27,7304813
3744	1000.11	1075	63,4907185	15,9072875
3753	1000.12	79	36,4921057	2,62121037
3754	1000.13	44	56,7971327	0,78224603
3746	1000.14	98	45,6737322	3,69628751
3756	1000.15	9	35,0880146	0,30509971
3755	1000.16	0	57,728447	0,00086612
3757	1000.17	1244	57,9401842	22,1349021
3759	1000.18	129	54,3549549	2,39228018
3758	1000.19	195	21,0979695	45,3341072
3760	1000.20	1307	49,3949905	24,8891027
3761	1000.21	936	65,6407349	13,8107399
3762	1000.22	728	64,7043804	11,1246405
3763	1000.23	1094	42,8683899	24,9236454
3764	1000.24	132	54,8315157	2,42844278
3765	1000.25	98	54,9514442	1,79778378
3766	1000.26	4	34,0308298	0,14967472
3767	1000.27	0	-1	0
3768	1000.28	930	64,9245449	13,824878
3769	1000.29	723	65,2197868	10,8894526
3770	1000.30	0	-1	0
3771	1000.31	6	56,2986622	0,11771153
3772	1000.32	256	51,208223	4,99452257
3773	1000.33	261	33,3267395	15,8560646
3774	1000.34	935	65,1079731	14,0129496
3775	1000.35	731	64,8385002	11,1929532
3776	1000.36	1847	62,5914267	28,1406819
3777	1000.37	1404	62,4916136	21,9336554
3778	1000.38	71	38,9121803	6,19651595
3779	1000.39	1920	62,2384916	29,0035214
3780	1000.40	1475	62,8505049	22,2019968
3783	1000.41	280	62,9779982	4,46153415
3782	1000.42	246	15,1186357	70,9977205
3781	1000.43	1957	62,5974451	28,9301625
3784	1000.44	415	35,0712161	40,1588507
3785	1000.45	1057	63,97612	15,6639376
3786	1000.46	1543	64,7585819	22,3879704

Tabela B.2c: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3787	1000.47	143	46,1118618	9,15414095
3789	1500.01	48	32,277779	2,04607235
3788	1500.02	102	54,5423429	1,89274778
3792	1500.03	0	-1	0
3793	1500.04	88	30,7220894	13,9678524
3790	1500.05	1861	64,2762999	26,6036598
3791	1500.06	1117	64,8547279	16,3058962
3794	1500.07	0	-1	0
3795	1500.08	162	25,599429	31,4664024
3812	1500.09	1283	41,1480301	56,3844767
3800	1500.10	1132	37,4056206	78,6859993
3798	1500.11	1194	53,0807707	18,0170119
3799	1500.12	841	38,6057903	54,7326275
3801	1500.13	1455	39,2660126	42,3498353
3802	1500.14	1092	51,4950996	20,668004
3803	1500.15	271	53,1695965	5,1126971
3804	1500.16	47	54,5660902	0,86767096
3807	1500.17	85	55,0485195	1,55491653
3808	1500.18	70	55,2494539	1,27422276
3805	1500.19	1234	54,2299213	22,3906426
3806	1500.20	1077	57,8036102	19,4520308
3810	1500.21	86	31,7750421	4,65473605
3811	1500.22	69	54,4912498	1,27923545
3809	1500.23	1060	61,8377735	17,0228982
3813	1500.24	100	48,777577	2,56064898
3814	1500.25	739	64,1051441	11,2115893
3815	1500.26	1763	64,8879181	24,9942534
3816	1500.27	104	54,2561348	1,93432585
3817	1500.28	275	34,2139682	15,5820829
3818	1500.29	69	38,9300114	3,48650405
3820	1500.30	846	64,7639473	12,7063984
3819	1500.31	1694	64,936805	24,2228993
3821	1500.32	153	48,3454071	5,97555513
3824	1500.33	1000	63,7625734	14,9898328
3823	1500.34	1847	64,5637695	26,653896
3825	1500.35	1006	63,8494091	15,217969
3822	1500.36	28	41,226277	2,43957668

Tabela B.2d: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3826	1500.37	46	55,0488438	0,85905662
3827	1500.38	53	33,044749	2,93285511
3837	1500.39	594	51,2563066	13,152378
3832	1500.40	598	59,644725	9,94681854
3834	1500.41	48	54,2662285	0,8919271
3833	1500.42	52	40,1621969	1,65461669
3831	1500.43	602	62,1940392	9,67776213
3830	1500.44	832	61,4896399	14,6108157
3829	1500.45	48	52,6782751	0,93685741
3828	1500.46	53	26,9832582	9,54279647
3847	1500.47	837	62,5000006	13,5511829
3846	1500.48	1041	40,7090149	25,1832543
3844	1500.49	80	53,95567	1,48970906
3845	1500.50	103	55,0110205	1,8776285
3841	1500.51	1062	60,3066109	17,273202
3843	1500.52	143	63,6978529	2,2445795
3842	1500.53	80	32,4217037	4,7107133
3840	1500.54	51	64,9893013	0,79071164
3839	1500.55	282	63,9766628	4,4442688
3838	1500.56	768	62,802286	12,6283497
3848	1500.57	7	43,193504	0,48081684
3849	1500.58	1009	65,0816128	14,8476217
3850	1500.59	914	63,6753544	13,1586638
3853	1500.60	0	-1	0
3854	1500.61	1010	42,3925213	52,4885756
3855	1500.62	577	55,4994534	8,35790029
3851	1500.63	336	41,8730482	8,40254169
3868	1500.64	1220	46,9361664	41,4467971
3859	1500.65	885	33,489325	91,1678429
3858	1500.66	885	47,2345163	52,2143251
3857	1500.67	578	52,1448462	14,3662275
3856	1500.68	1896	53,9907251	30,8434653
3860	1500.69	11	23,9582301	5,78360206
3862	1500.70	1906	56,858647	34,5988651
3861	1500.71	590	65,2375055	8,90691876
3866	1500.72	44	53,0255753	0,85852962
3865	1500.73	106	29,9939567	16,6689258

Tabela B.2e: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3867	1500.74	1805	63,7435532	28,3837701
3864	1500.75	2397	58,3597574	39,5344183
3863	1500.76	1962	50,7440914	58,5079943
3637	1500.77	551	24,7566292	95,5788895
3836	1500.78	53	54,8794195	0,97507913
3835	1500.79	49	54,3214121	0,91015366
3870	2000.01	2068	45,1518475	40,9983004
3869	2000.02	3011	57,1544437	53,0720871
3871	2000.03a	69	53,6677565	1,34807475
3872	2000.03b	86	21,6029483	21,120966
3873	2000.04	2081	46,0158644	44,907844
3874	2000.05	558	16,5186493	110,366459
3878	2000.06	1785	56,2933153	31,7798338
3877	2000.07	1791	36,3486737	98,5601006
3875	2000.08	2640	49,604814	51,9854904
3876	2000.09	2639	48,6410988	68,7279274
3879	2000.10	1822	47,9698925	69,9889765
3615	2000.11	323	44,7062069	34,0108195
3614	2000.12	3264	25,9591795	111,877092
3883	2000.13	323	33,4835746	69,2712482
3880	2000.14	1821	55,2035921	23,9731119
3882	2000.15	1806	45,3031868	39,2866177
2989	2000.16	3626	60,6887312	49,1608406
3885	2000.17	818	64,4831116	11,9233776
3884	2000.18	2128	57,5392361	36,2247918
3886	2000.19	72	56,3504965	1,36773971
3887	2000.20	87	36,0548479	10,0981372
3888	2000.21	834	60,9084919	13,3014807
3889	2000.22	139	46,8514431	8,86369672
3891	2000.23	695	64,7248428	10,1058046
3890	2000.24	1992	64,5448345	28,6029545
3892	2000.25	288	26,0092202	23,7984336
3893	2000.26	35	37,0210934	0,87509983
3895	2000.27	693	64,8477657	10,0987272
3894	2000.28	1737	64,7737144	24,8012043
3896	2000.29	69	52,3378349	1,3309219
3897	2000.30	89	36,0056105	4,69944472

Tabela B.2f: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3898	2000.31	713	62,7481796	11,1030519
3899	2000.32	74	36,5445105	3,94771667
3900	2000.33	638	64,9615688	9,34409106
3901	2000.34	1662	64,8435856	23,7563939
3902	2000.35	1820	64,0057226	26,5814788
3903	2000.36	979	65,017786	14,4536713
3905	2000.37	293	25,9964258	40,1747841
3904	2000.38	1528	65,0333038	21,826469
3906	2000.39	35	65,2687689	0,54368237
3907	2000.40	1563	65,1612968	22,2434114
3908	2000.41	46	53,9741497	0,85072732
3909	2000.42	55	43,711174	2,73595036
3910	2000.43	1165	48,0729445	23,8934958
3913	2000.44	2729	62,6153252	38,9414543
3911	2000.45	2148	57,3848877	36,3442879
3912	2000.46	729	62,2511936	12,0270943
3914	2000.47	1045	57,1772318	19,6906844
3915	2000.48	316	41,3107435	11,0160326
3916	2000.49	1299	64,2429588	20,2495699
3918	2000.50	1426	63,0960548	21,9128696
3917	2000.51	1616	59,4728579	27,3173684
3919	2000.52	49	54,0389141	0,94050268
3920	2000.53	51	21,2104219	12,98883
3921	2000.54	1426	64,0129768	21,0328126
3922	2000.55	464	64,5395622	7,22691925
3923	2000.56	710	42,6044968	17,6729376
3925	2000.57	1680	60,6632168	26,1601645
3924	2000.58	1606	59,6753017	26,5350052
3926	2000.59	12	18,2744012	11,106889
3927	2000.60	0	-1	0
3928	2000.61	96	55,2470434	1,81441731
3929	2000.62	40	18,9993197	18,625885
3931	2000.63	1624	64,131378	24,29883
3930	2000.64	1606	64,9007603	23,1239921
3933	2000.65	1165	63,7585066	17,6943732
3932	2000.66	1190	65,3153423	17,2133064
3934	2000.67	392	33,6693502	25,3327626

Tabela B.2g: Resultados médios das simulações por detector para a situação com PGV  
(continuação)

Nº do Detector	Nome do Detector	Cenário com PGV		
		Volume (veic)	Velocidade (km/h)	Densidade
3935	2000.68	372	63,7095232	5,86484649
3936	2000.69	1145	63,3007813	17,5760621
3937	2000.70	223	62,3304827	6,99407945
3938	2000.71	966	65,1716179	14,2019027
3941	2000.72	920	64,9808212	13,2308085
3939	2000.73	0	-1	0
3940	2000.74	52	28,777873	3,89250715
3942	2000.75	1018	65,2776291	14,962474
3943	2500.01	358	23,804874	43,4331418
3944	2500.02	692	64,7739662	10,7508337
2987	2500.03	2374	75,3330482	28,2999321
2988	2500.04	1988	69,5206684	26,7383961
3946	2500.05	613	52,3887629	22,1035954
3947	2500.06	1010	65,2186462	14,8714119
3945	2500.07	995	64,8114895	14,8741136
3948	2500.08	164	41,1304674	12,4737905
3949	2500.09	1180	64,5211388	17,3461813
3950	2500.10	46	55,5839441	0,8832556
3951	2500.11	55	26,0567392	10,3537743
3734	PGV1	0	-1	0
3733	PGV2	574	63,5833883	9,03884368



Tabela B.3a – Teste de Variância e Teste de Hipótese

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
1 0m< R< 500m	3711	1645	64,06	24,21	1806	64,04	26,23	0,1674	0,7998	0,2480	0,0006	0,7798	0,0015
	3713	897	63,86	14,73	976	63,84	15,98	0,5837	0,1883	0,6160	0,0165	0,8651	0,0133
	3715	1849	62,94	27,51	1687	62,78	25,37	0,8250	0,2924	0,9081	0,0002	0,0215	0,0004
	3714	942	62,49	14,24	1201	62,63	17,87	0,8178	0,0301	0,7954	1,793E-08	0,1249	2,533E-08
	3716	195	33,52	10,25	202	32,47	11,82	0,1386	0,3508	0,3086	0,1021	0,0374	0,0240
	3717	143	53,66	2,68	133	53,84	2,49	0,4412	0,6731	0,4915	0,0088	0,3158	0,0086
	3718	276	43,14	6,22	246	43,24	5,51	0,9850	0,1532	0,9873	0,0001	0,3432	3,970E-05
	3719	173	40,99	5,02	187	39,07	6,56	0,9637	0,1630	1,510E-04	0,0002	9,876E-13	6,044E-06
	3720	48	54,92	0,88	46	54,78	0,85	6,130E-05	0,1219	3,476E-05	0,5605	0,5739	0,5804
	3721	203	32,58	10,63	195	34,09	8,62	0,8046	0,8891	0,8392	0,2932	0,0034	0,0169
	3722	193	36,05	8,37	203	32,29	12,05	0,8549	0,1154	0,0341	0,0119	4,374E-09	4,592E-07
	3723	136	54,50	2,53	129	54,58	2,39	0,1824	0,2082	0,2881	0,0958	0,6459	0,0915
	3725	1849	62,27	27,70	1687	62,51	25,33	0,8330	0,7933	0,7894	0,0002	0,0205	0,0002
	3724	999	61,44	15,57	1275	61,51	19,63	0,9998	0,0292	0,9252	3,059E-09	0,5511	3,805E-09
	3726	1694	62,12	25,61	1538	62,30	23,32	0,4895	4,125E-05	0,2589	0,0001	0,1905	0,0001
	3727	186	9,12	42,35	173	9,38	39,07	7,804E-11	0,0850	4,513E-05	0,3183	0,0123	0,1512
	3728	1518	64,79	21,96	1371	65,10	19,76	0,6764	0,2169	0,5544	2,946E-05	5,475E-07	5,561E-06
	3729	821	64,66	12,08	1107	64,65	16,10	0,8476	0,2594	0,8660	9,298E-10	0,9525	4,000E-10
	3730	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3515	0	-1,00	0,00	0	51,13	0,00	-	-	-	-	-	-
	3731	1519	64,68	23,97	1371	64,97	21,51	0,6915	0,5634	0,5667	2,851E-05	0,0001	6,015E-06
	3732	821	64,69	12,08	1106	64,59	16,11	0,8575	0,9448	0,9528	9,871E-10	0,0949	5,297E-10

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3b – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
1 0m< R< 500m	2984	1519	64,96	21,88	1946	64,00	28,17	0,2151	0,7102	0,2613	8,446E-15	7,186E-22	1,813E-16
	3735	189	45,30	11,10	167	40,50	15,43	0,2956	0,0095	0,1138	5,205E-07	4,886E-11	2,253E-06
	3737	1709	64,06	24,82	2112	62,81	31,11	0,1287	0,3905	0,1115	2,078E-13	1,105E-23	1,895E-15
	3736	1010	61,89	15,59	1272	62,20	19,41	0,9907	0,8934	0,8918	3,113E-09	0,0014	1,023E-09
	3738	1812	64,01	26,30	2170	62,57	31,93	0,1752	0,2880	0,1256	5,273E-11	5,252E-22	5,081E-13
	3739	1063	64,58	15,80	1342	64,38	19,75	0,8953	0,6565	0,7877	8,318E-10	0,0002	5,865E-10
	3740	165	50,34	13,85	360	41,87	35,21	0,0298	0,4625	0,0014	5,995E-25	0,0000	6,399E-15
2 500m<R<1000m	3741	1664	64,47	24,39	1806	64,38	26,08	0,0975	0,5098	0,1081	0,0025	0,1974	0,0066
	3742	954	64,41	14,31	1031	64,33	15,38	0,3243	0,6675	0,2884	0,0228	0,3748	0,0258
	3745	75	41,48	7,39	80	40,15	9,49	0,3240	0,4296	0,0580	0,0192	0,0758	0,0015
	3747	48	49,82	0,91	46	49,84	0,87	0,5511	0,5032	0,6377	0,3781	0,8899	0,3517
	3748	55	28,30	19,33	63	26,70	23,74	0,9438	0,0801	0,6492	0,0003	0,0158	0,0020
	3752	7	45,43	0,15	11	44,41	0,24	0,2168	0,1350	0,1860	0,0002	0,0631	0,0003
	3751	23	48,02	0,47	23	47,80	0,46	0,5705	0,1911	0,5572	0,8943	0,2842	0,9623
	3750	51	40,37	1,20	55	40,44	1,29	0,9638	0,6015	0,9787	0,0388	0,7379	0,0367
	3749	26	50,97	0,51	25	50,82	0,48	0,8171	0,4382	0,9886	0,4311	0,5652	0,4316
	3743	1747	63,51	25,72	1904	63,38	27,73	0,0966	0,3606	0,0874	0,0009	0,0305	0,0009
	3744	999	63,49	14,87	1075	63,49	15,91	0,3279	0,5561	0,2334	0,0237	0,9542	0,0245
	3753	74	37,02	2,35	79	36,49	2,62	0,1738	0,0537	0,0468	0,0345	0,0465	0,0213
	3754	45	56,79	0,80	44	56,80	0,78	0,7792	0,9442	0,7718	0,5650	0,9762	0,5876
	3746	100	46,50	3,55	98	45,67	3,70	0,0010	0,4348	0,8941	0,7526	0,1424	0,6613
	3756	10	34,84	0,36	9	35,09	0,31	0,1411	0,2721	0,3164	0,2128	0,7661	0,1673
	3755	0	-1,00	0,00	0	57,73	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3c – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
2 500m<R<1000m	3757	1331	57,96	23,69	1244	57,94	22,13	0,9392	0,9608	0,9603	0,0013	0,9424	0,0056
	3759	137	54,52	2,53	129	54,35	2,39	0,2806	0,7504	0,3354	0,1012	0,1419	0,1199
	3758	192	19,54	51,42	195	21,10	45,33	0,3750	0,4921	0,1783	0,5647	0,0024	0,0315
	3760	1383	49,42	26,26	1307	49,39	24,89	0,5165	0,5083	0,6401	0,0034	0,4102	0,0049
	3761	971	65,74	14,27	936	65,64	13,81	0,3425	0,7664	0,3184	0,1435	0,1661	0,1756
	3762	724	64,75	11,05	728	64,70	11,12	0,4980	0,4406	0,4373	0,7337	0,5332	0,6686
	3763	1130	43,06	25,86	1094	42,87	24,92	0,7348	0,2872	0,5991	0,0036	0,1709	0,0015
	3764	145	54,90	2,67	132	54,83	2,43	0,6880	0,1306	0,7027	0,0132	0,6873	0,0159
	3765	99	54,80	1,81	98	54,95	1,80	0,9198	0,8358	0,9264	0,8043	0,3069	0,7531
	3766	4	33,58	0,14	4	34,03	0,15	0,5464	0,0042	0,9345	0,3933	0,3555	0,6083
	3767	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3768	966	64,96	14,32	930	64,92	13,82	0,3644	0,2596	0,3525	0,1286	0,6896	0,1372
	3769	721	65,25	10,82	723	65,22	10,89	0,4551	0,6676	0,4442	0,7834	0,5761	0,6659
	3770	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3771	6	55,15	0,11	6	56,30	0,12	0,0549	0,2037	0,0446	0,6360	0,1206	0,7674
	3772	273	51,29	5,33	256	51,21	4,99	0,4265	0,9972	0,5108	0,0077	0,5124	0,0087
	3773	256	33,24	15,34	261	33,33	15,86	0,7514	0,6535	0,5825	0,3220	0,8784	0,5275
	3774	947	65,16	14,17	935	65,11	14,01	0,4127	0,8430	0,4336	0,6047	0,4848	0,6606
	3775	727	64,84	11,14	731	64,84	11,19	0,4725	0,3972	0,5338	0,7394	0,9734	0,7454
	3776	2077	61,93	31,74	1847	62,59	28,14	0,7430	0,6773	0,7013	0,0004	0,0073	0,0006
	3777	1258	61,93	20,14	1404	62,49	21,93	0,9705	0,6769	0,8715	0,0011	0,0045	0,0080
	3778	61	38,91	6,00	71	38,91	6,20	0,1081	0,5713	0,3628	0,0064	0,9945	0,7633
	3779	2141	62,43	31,83	1920	62,24	29,00	0,8006	0,9524	0,7347	0,0006	0,0061	0,0007

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3d – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
2 500m<R<1000m	3780	1319	59,86	25,87	1475	62,85	22,20	0,9492	0,0013	1,568E-05	0,0005	0,0011	0,0812
	3783	303	62,60	4,85	280	62,98	4,46	0,2158	0,3270	0,2761	0,0010	0,0066	0,0007
	3782	225	13,16	80,00	246	15,12	71,00	0,5352	0,9429	0,5548	0,0092	0,0265	0,0415
	3781	2221	62,02	32,77	1957	62,60	28,93	0,8463	0,7303	0,7126	0,0004	0,0076	0,0004
	3784	513	29,95	54,78	415	35,07	40,16	0,9314	0,5199	0,7892	0,0365	0,0107	0,0102
	3785	802	63,85	12,09	1057	63,98	15,66	0,9925	0,8551	0,8799	4,067E-08	0,1032	4,179E-08
	3786	1710	64,53	24,85	1543	64,76	22,39	0,7576	0,5347	0,8507	0,0001	0,0004	2,433E-05
	3787	138	47,14	6,75	143	46,11	9,15	0,5064	0,5961	0,7524	0,1484	0,0684	0,0007
3 1000m<R<1500m	3789	43	32,30	1,99	48	32,28	2,05	0,1234	0,8493	0,0036	0,0489	0,9465	0,7491
	3788	120	54,50	2,23	102	54,54	1,89	0,3516	0,7014	0,3659	0,0002	0,8254	0,0003
	3792	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3793	86	33,72	11,90	88	30,72	13,97	0,3194	0,5537	0,8720	0,5419	0,0008	0,0301
	3790	1741	64,40	25,27	1861	64,28	26,60	0,1774	0,9422	0,1631	0,0132	0,0505	0,0354
	3791	1040	64,86	15,20	1117	64,85	16,31	0,3375	0,7718	0,3313	0,0212	0,8674	0,0172
	3794	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3795	162	26,15	30,29	162	25,60	31,47	0,1199	0,4894	0,1644	0,9743	0,4937	0,5011
	3812	1208	41,40	51,20	1283	41,15	56,38	0,4043	0,2291	0,4252	0,0250	0,3480	0,0009
	3800	1251	38,09	81,39	1132	37,41	78,69	0,6691	0,5247	0,9352	1,658E-05	0,0001	4,861E-06
	3798	1304	53,12	19,58	1194	53,08	18,02	0,6837	0,6922	0,6304	0,0001	0,4449	0,0002
	3799	853	38,29	52,20	841	38,61	54,73	0,5925	0,0911	0,6547	0,2641	0,2790	0,0008
	3801	1557	37,33	49,06	1455	39,27	42,35	0,8466	0,3617	0,4205	0,0005	0,0052	0,0012
	3802	1096	51,47	20,71	1092	51,50	20,67	0,5741	0,3992	0,6885	0,6993	0,7021	0,8390
	3803	288	53,20	5,43	271	53,17	5,11	0,9077	0,4525	0,8711	0,0064	0,7437	0,0089

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3e – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
3 1000m<R<1500m	3804	47	55,14	0,86	47	54,57	0,87	0,6457	0,5002	0,6637	0,9104	0,0101	0,9227
	3807	84	54,90	1,54	85	55,05	1,55	0,0061	0,6373	0,0043	0,7531	0,3433	0,7720
	3808	77	54,85	1,41	70	55,25	1,27	0,2603	0,1592	0,3360	0,0217	0,0668	0,0145
	3805	1319	53,75	24,08	1234	54,23	22,39	0,9232	0,3364	0,8509	0,0016	0,0089	0,0019
	3806	1089	57,63	19,69	1077	57,80	19,45	0,4837	0,0305	0,7991	0,2626	0,2088	0,2942
	3810	83	31,81	4,61	86	31,78	4,65	0,0121	0,0972	0,0053	0,4329	0,9424	0,9081
	3811	77	54,11	1,43	69	54,49	1,28	0,6217	0,9329	0,5772	0,0281	0,0801	0,0205
	3809	1083	61,34	17,62	1060	61,84	17,02	0,5320	0,1359	0,5950	0,0368	5,420E-06	0,0020
	3813	106	48,13	3,01	100	48,78	2,56	0,5675	0,8909	0,7554	0,0768	0,0311	0,0577
	3814	826	64,13	12,46	739	64,11	11,21	0,5719	0,3255	0,5399	0,0077	0,7467	0,0066
	3815	1817	64,84	25,67	1763	64,89	24,99	0,8478	0,9475	0,7176	0,1269	0,3175	0,1413
	3816	109	54,04	2,03	104	54,26	1,93	0,5093	0,0049	0,4406	0,1299	0,3642	0,1190
	3817	256	32,59	16,66	275	34,21	15,58	0,6926	0,5307	0,5510	0,0016	0,0038	0,2085
	3818	61	38,60	3,16	69	38,93	3,49	0,9605	0,1253	0,6130	0,0023	0,5514	0,2001
	3820	916	64,74	13,72	846	64,76	12,71	0,4441	0,7661	0,4449	0,0253	0,7805	0,0209
	3819	1758	64,86	25,13	1694	64,94	24,22	0,8885	0,9453	0,7798	0,0642	0,1687	0,0451
	3821	154	47,37	6,50	153	48,35	5,98	0,1692	0,2973	0,6620	0,7289	0,0112	0,2203
	3824	1072	63,73	15,97	1000	63,76	14,99	0,5526	0,2043	0,5424	0,0187	0,6355	0,0233
	3823	1913	64,48	27,54	1847	64,56	26,65	0,9532	0,7586	0,9909	0,0496	0,1046	0,0454
	3825	1072	63,91	16,10	1006	63,85	15,22	0,4955	0,7124	0,4622	0,0284	0,3659	0,0354
	3822	27	40,47	2,34	28	41,23	2,44	0,1069	0,0678	0,2138	0,4966	0,3369	0,7620
	3826	51	55,22	0,94	46	55,05	0,86	0,1659	0,5305	0,1275	0,1882	0,6122	0,1957
	3827	51	31,91	3,08	53	33,04	2,93	0,3572	2,225E-10	0,4127	0,9060	0,0004	0,0035
	3837	596	47,95	13,51	594	51,26	13,15	0,2078	0,4751	0,3129	0,8695	4,959E-26	0,0690

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3f – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
3 1000m<R<1500m	3832	596	59,57	9,91	598	59,64	9,95	0,5588	0,9827	0,6237	0,7765	0,2330	0,7961
	3834	53	53,75	1,00	48	54,27	0,89	0,3007	0,1801	0,2890	0,0245	0,0986	0,0127
	3833	49	41,16	1,50	52	40,16	1,65	0,1897	0,1104	0,3087	0,2197	0,0683	0,1682
	3831	591	62,14	9,51	602	62,19	9,68	0,7333	0,2512	0,7000	0,2460	0,5024	0,2741
	3830	836	61,36	14,73	832	61,49	14,61	0,6486	0,5991	0,3302	0,7354	0,1975	0,5347
	3829	50	52,50	0,97	48	52,68	0,94	0,9817	0,6375	0,9200	0,3503	0,4485	0,3625
	3828	48	27,91	8,03	53	26,98	9,54	0,7888	0,1404	0,3859	0,0224	0,3100	0,0079
	3847	833	62,54	13,48	837	62,50	13,55	0,4768	0,6316	0,3419	0,7182	0,6288	0,7042
	3846	1052	40,71	25,59	1041	40,71	25,18	0,6208	0,6958	0,6371	0,6482	0,9670	0,5061
	3844	82	54,00	1,52	80	53,96	1,49	0,2688	0,4036	0,2101	0,6660	0,7670	0,6775
	3845	111	54,87	2,03	103	55,01	1,88	0,0707	0,5717	0,0639	0,0674	0,3550	0,0573
	3841	1080	60,23	17,55	1062	60,31	17,27	0,3712	0,6216	0,3726	0,4589	0,5549	0,4937
	3843	159	63,66	2,51	143	63,70	2,24	0,7164	0,5761	0,6227	0,0021	0,7913	0,0020
	3842	79	32,53	4,61	80	32,42	4,71	0,5843	0,0169	0,3042	0,6752	0,8295	0,8157
	3840	43	65,01	0,67	51	64,99	0,79	0,0141	0,9547	0,0157	0,0016	0,9222	0,0016
	3839	288	64,00	4,55	282	63,98	4,44	0,5700	0,1691	0,6208	0,2738	0,7635	0,2730
	3838	754	62,57	12,52	768	62,80	12,63	0,4064	0,6236	0,3892	0,6043	0,1117	0,8124
	3848	8	42,18	0,55	7	43,19	0,48	0,5289	0,2516	0,2026	0,8649	0,5251	0,5962
	3849	865	65,27	12,79	1009	65,08	14,85	0,1560	0,2796	0,2169	3,899E-13	0,0062	5,341E-13
	3850	1002	63,60	14,38	914	63,68	13,16	0,7352	0,4051	0,7810	0,0099	0,2697	0,0153
	3853	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3854	865	42,71	47,78	1010	42,39	52,49	0,1797	0,0113	0,1559	3,679E-13	0,4054	1,367E-08
	3855	590	55,62	8,43	577	55,50	8,36	0,6728	0,2696	0,4701	0,1108	0,4694	0,5301
	3851	412	42,27	10,21	336	41,87	8,40	0,6577	0,8449	0,8682	0,0179	0,0139	0,0270

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3g – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
3 1000m<R<1500m	3868	1186	50,70	33,74	1220	46,94	41,45	0,6938	0,9282	0,3922	0,0226	0,0005	0,0002
	3859	776	32,87	87,74	885	33,49	91,17	0,8883	0,4633	0,9452	0,0011	0,1235	0,0007
	3858	775	48,24	42,13	885	47,23	52,21	0,8685	0,0044	0,2835	0,0010	0,0204	0,0009
	3857	591	52,11	14,82	578	52,14	14,37	0,6305	0,8013	0,3317	0,0995	0,9096	0,1792
	3856	1640	54,70	26,10	1896	53,99	30,84	0,7954	0,0142	0,0002	8,927E-08	0,4029	0,0026
	3860	11	27,71	3,09	11	23,96	5,78	0,6765	0,7013	0,0017	0,6645	0,0527	0,1586
	3862	1651	55,43	33,85	1906	56,86	34,60	0,8161	0,5565	0,2256	9,624E-08	0,4117	0,8017
	3861	603	65,31	9,07	590	65,24	8,91	0,6035	0,8679	0,9413	0,1029	0,5573	0,2086
	3866	41	52,19	0,80	44	53,03	0,86	0,1452	0,8098	0,1401	0,0841	0,3394	0,2111
	3865	83	27,78	20,42	106	29,99	16,67	0,5122	0,0965	0,8844	0,0006	0,0770	0,4143
	3867	1909	63,72	30,02	1805	63,74	28,38	0,8728	0,9215	0,9131	1,068E-05	0,4722	9,568E-06
	3864	2513	58,20	41,46	2397	58,36	39,53	0,7495	0,9148	0,5917	1,434E-05	0,4253	0,0001
	3863	1695	46,02	69,94	1962	50,74	58,51	0,9785	0,8331	0,5773	2,090E-07	0,0341	0,0336
	3637	437	21,88	99,50	551	24,76	95,58	0,8845	0,7463	0,8181	0,0232	0,0088	0,3109
	3836	49	54,55	0,90	53	54,88	0,98	0,4274	0,4594	0,4939	0,3417	0,1470	0,3721
4 1500m<R<2000m	3835	48	54,09	0,90	49	54,32	0,91	0,4615	1,884E-15	2,033E-15	0,2159	0,0013	0,0035
	3870	2012	46,47	39,09	2068	45,15	41,00	0,2127	0,1890	0,1835	0,0603	0,0004	0,0177
	3869	3009	56,34	57,19	3011	57,15	53,07	0,0269	0,4329	0,2870	0,9726	0,0164	0,0017
	3871	77	53,12	1,50	69	53,67	1,35	0,0182	3,143E-18	1,306E-31	0,2789	0,0005	0,0004
	3872	87	23,12	19,47	86	21,60	21,12	0,1646	3,245E-12	3,667E-05	0,0004	0,0007	0,0006
	3873	2019	47,68	42,27	2081	46,02	44,91	0,1455	0,2534	0,2815	0,0427	0,0005	0,0128
	3874	636	16,61	111,74	558	16,52	110,37	0,3291	0,7346	0,8614	0,0296	0,8018	0,3271
	3878	2196	56,68	38,77	1785	56,29	31,78	0,0505	0,7885	0,0501	5,461E-06	0,0612	2,123E-05
	3877	1457	29,67	105,49	1791	36,35	98,56	0,1446	0,0947	0,3114	0,0033	0,0001	0,1027

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3h – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
4 1500m<R<2000m	3875	2657	50,30	51,16	2640	49,60	51,99	0,1808	0,8882	0,3753	0,5002	0,0347	0,2397
	3876	2656	49,41	67,73	2639	48,64	68,73	0,1770	0,5718	0,7362	0,5134	0,0888	0,2941
	3879	1746	47,72	68,30	1822	47,97	69,99	0,3417	0,1962	0,4593	0,0121	0,0474	0,0245
	3615	299	45,64	28,83	323	44,71	34,01	0,4827	0,3325	0,5710	0,0617	0,4872	0,0595
	3614	3360	43,19	85,31	3264	25,96	111,88	0,2486	0,2020	0,0005	0,1806	2,885E-08	4,676E-07
	3883	298	32,96	67,54	323	33,48	69,27	0,4211	0,3619	0,9177	0,0634	0,2875	0,2005
	3880	1745	55,11	23,04	1821	55,20	23,97	0,3351	0,3808	0,3825	0,0120	0,3162	0,0241
	3882	1859	45,14	40,55	1806	45,30	39,29	0,9365	0,7046	0,9866	0,0751	0,2207	0,0679
	2989	3604	60,67	49,13	3626	60,69	49,16	0,4611	0,3366	0,7030	0,3349	0,6002	0,9209
	3885	911	64,36	13,24	818	64,48	11,92	0,4551	0,7782	0,4814	0,0092	0,1674	0,0058
	3884	2157	56,98	37,23	2128	57,54	36,22	0,6885	0,8361	0,5977	0,4656	0,2915	0,3444
	3886	77	56,14	1,45	72	56,35	1,37	0,3270	0,5218	0,2767	0,0963	0,5201	0,1017
	3887	88	33,95	11,58	87	36,05	10,10	0,6290	0,0226	0,4821	0,8605	0,0249	0,0324
	3888	922	61,52	14,43	834	60,91	13,30	0,5081	0,2578	0,5148	0,0107	0,0002	0,0239
	3889	128	46,21	9,22	139	46,85	8,86	0,6939	0,4769	0,1383	0,0471	0,2942	0,6961
	3891	794	64,68	11,46	695	64,72	10,11	0,4146	0,5077	0,3821	0,0028	0,7011	0,0026
	3890	2033	64,52	29,08	1992	64,54	28,60	0,7311	0,4932	0,9789	0,2524	0,6667	0,3065
	3892	287	25,91	23,46	288	26,01	23,80	0,6478	0,3243	0,6151	0,8224	0,7866	0,7572
	3893	38	37,20	0,96	35	37,02	0,88	0,3769	0,3966	0,4767	0,1210	0,3960	0,1412
	3895	790	64,90	11,49	693	64,85	10,10	0,3596	0,4329	0,3427	0,0036	0,5651	0,0023
	3894	1784	64,72	25,44	1737	64,77	24,80	0,9069	0,2368	0,8571	0,1895	0,2340	0,1744
	3896	76	52,51	1,45	69	52,34	1,33	0,1883	0,2600	0,1418	0,0065	0,4187	0,0096
	3897	81	35,10	4,64	89	36,01	4,70	0,0224	0,5101	0,6979	0,0042	0,1516	0,8584
	3898	793	63,01	12,21	713	62,75	11,10	0,3252	0,0005	0,2360	0,0157	0,0300	0,0181

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$



Tabela B.3i – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
4 1500m<R<2000m	3899	73	36,91	3,87	74	36,54	3,95	0,8101	0,7800	0,6210	0,7685	0,5787	0,8510
	3900	720	64,96	10,52	638	64,96	9,34	0,4837	0,6403	0,4522	0,0114	0,9883	0,0082
	3901	1711	64,79	24,41	1662	64,84	23,76	0,9929	0,7543	0,9494	0,1655	0,3013	0,1602
	3902	1886	64,00	27,47	1820	64,01	26,58	0,9238	0,9450	0,9739	0,0471	0,8363	0,0425
	3903	1046	65,02	15,35	979	65,02	14,45	0,4829	0,9315	0,4298	0,0259	0,9994	0,0348
	3905	287	26,08	37,67	293	26,00	40,17	0,3677	0,6978	0,3837	0,2716	0,9445	0,5611
	3904	1599	64,98	22,71	1528	65,03	21,83	0,7727	0,2803	0,7241	0,0363	0,3384	0,0519
	3906	35	64,81	0,54	35	65,27	0,54	0,7147	0,5855	0,6701	0,8537	0,0536	0,9564
	3907	1634	65,11	23,09	1563	65,16	22,24	0,8536	0,4005	0,9369	0,0367	0,3850	0,0539
	3908	48	53,94	0,90	46	53,97	0,85	0,5829	0,8104	0,6381	0,2656	0,8959	0,2688
	3909	49	43,74	2,52	55	43,71	2,74	0,5295	0,6977	0,6325	0,0115	0,9745	0,3296
	3910	1059	47,38	22,02	1165	48,07	23,89	0,0640	0,7294	0,3947	3,378E-11	5,937E-06	2,076E-10
	3913	2694	62,73	38,22	2729	62,62	38,94	0,8881	0,8131	0,7719	0,2546	0,0867	0,0618
	3911	2100	56,90	36,17	2148	57,38	36,34	0,2368	0,6884	0,2413	0,0906	0,2098	0,8269
	3912	797	61,54	13,82	729	62,25	12,03	0,6415	0,0004	2,413E-05	0,0197	0,2888	0,0976
	3914	1182	55,51	23,53	1045	57,18	19,69	0,1705	0,1683	0,0661	0,0034	0,1668	0,0729
	3915	386	37,58	19,02	316	41,31	11,02	0,6601	0,0829	0,0937	0,0148	0,0042	0,0113
	3916	1289	64,35	20,08	1299	64,24	20,25	0,8926	0,8460	0,8419	0,6698	0,0575	0,6430
	3918	1305	63,01	20,27	1426	63,10	21,91	0,4523	0,9681	0,5255	6,112E-10	0,2476	1,129E-08
	3917	1675	59,46	28,18	1616	59,47	27,32	0,0967	0,1976	0,1323	0,0626	0,9362	0,0872
	3919	47	53,47	0,91	49	54,04	0,94	0,7833	0,4117	0,7295	0,2809	0,1870	0,4190
	3920	51	21,70	12,34	51	21,21	12,99	0,8123	0,7373	0,8113	0,9078	0,5908	0,3688
	3921	1308	63,92	19,47	1426	64,01	21,03	0,5961	0,0815	0,5918	5,041E-10	0,1286	7,071E-10
	3922	462	64,49	7,22	464	64,54	7,23	0,2273	0,4762	0,1667	0,8854	0,4922	0,9234

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3j – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
4 1500m<R<2000m	3923	694	42,97	16,92	710	42,60	17,67	0,4375	0,6534	0,5336	0,5356	0,0237	0,2514
	3925	1545	60,73	24,13	1680	60,66	26,16	0,7287	0,4015	0,7216	4,832E-05	0,6973	0,0003
	3924	1665	59,74	27,40	1606	59,68	26,54	0,0969	0,5152	0,1353	0,0647	0,7806	0,1265
	3926	12	18,27	10,81	12	18,27	11,11	#DIV/0!	0,8851	0,6651	#DIV/0!	0,7207	0,7707
	3927	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	3928	94	55,25	1,79	96	55,25	1,81	0,8494	0,1474	0,6682	0,6434	0,9939	0,6578
	3929	41	20,11	16,44	40	19,00	18,63	0,0226	0,4533	0,6834	0,5129	0,1284	0,0339
	3931	1491	64,22	22,40	1624	64,13	24,30	0,9448	0,2531	0,7664	3,870E-05	0,3321	0,0001
	3930	1665	64,97	23,88	1606	64,90	23,12	0,1103	0,6488	0,1310	0,0656	0,0915	0,0786
	3933	1225	63,85	18,51	1165	63,76	17,69	0,8812	0,9358	0,9371	0,0636	0,1104	0,0868
	3932	1051	65,37	15,32	1190	65,32	17,21	0,7776	0,6101	0,9331	2,598E-13	0,2588	7,953E-13
	3934	387	32,27	28,68	392	33,67	25,33	0,0611	0,4976	0,8081	0,3619	0,0972	0,0591
	3935	398	63,63	6,29	372	63,71	5,86	0,5597	0,3370	0,5574	0,0004	0,4720	0,0004
	3936	1237	63,22	18,90	1145	63,30	17,58	0,8431	0,1593	0,9383	0,0083	0,3754	0,0093
	3937	227	62,29	7,48	223	62,33	6,99	0,9028	0,6524	0,9424	0,5429	0,8968	0,3223
	3938	822	65,25	12,22	966	65,17	14,20	0,1551	0,1720	0,1226	7,073E-14	0,2226	2,489E-13
	3941	1010	64,92	14,53	920	64,98	13,23	0,7313	0,9190	0,7108	0,0093	0,4462	0,0069
	3939	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3940	51	30,60	3,35	52	28,78	3,89	0,3923	0,4973	0,6754	0,4691	0,0022	0,1021
	3942	872	65,39	12,88	1018	65,28	14,96	0,1531	0,0885	0,1345	2,327E-13	0,0665	3,985E-13
5 2000m<R<2500m	3943	424	22,63	50,40	358	23,80	43,43	0,6306	0,7265	0,8309	0,0205	0,3280	0,1842
	3944	760	64,62	11,82	692	64,77	10,75	0,5990	0,4953	0,5776	0,0151	0,2554	0,0159
	2987	2276	75,43	27,23	2374	75,33	28,30	0,7152	0,6492	0,6265	1,299E-08	0,0634	5,255E-08
	2988	2046	69,63	27,31	1988	69,52	26,74	0,5839	0,2036	0,6631	0,0012	0,4300	0,0092

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$

Tabela B.3k – Teste de Variância e Teste de Hipótese (continuação)

Área	Nº do Detector	Cenário sem PGV			Cenário com PGV			Teste Variância			Teste de Hipótese		
		Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid	Vol	Veloc	Densid
5 2000m<R<2500m	3946	610	51,40	23,92	613	52,39	22,10	0,8243	0,6808	0,9245	0,8942	0,1238	0,1610
	3947	881	65,25	13,08	1010	65,22	14,87	0,6857	0,2181	0,7504	3,841E-12	0,6081	9,070E-12
	3945	1058	64,86	15,77	995	64,81	14,87	0,8299	0,9933	0,8471	0,0461	0,4639	0,0520
	3948	160	42,63	9,75	164	41,13	12,47	0,1759	0,2764	0,6530	0,3691	2,523E-05	0,0002
	3949	1046	64,58	15,50	1180	64,52	17,35	0,6759	0,9459	0,7563	1,346E-12	0,3305	6,105E-12
	3950	44	54,98	0,83	46	55,58	0,88	0,2979	0,1236	0,1956	0,0946	0,1458	0,1137
	3951	48	27,59	8,19	55	26,06	10,35	0,8015	0,9045	0,4712	0,0311	0,0470	0,0021
PGV	3734	0	-1,00	0,00	0	-1,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	3733	0	-1,00	0,00	574	63,58	9,04	-	-	-	-	-	-

Legenda:

- Resultados associados a volumes iguais a zero na situação antes e/ou depois da implantação do PGV
- Variâncias diferentes, para  $\alpha=0,05$
- Diferença estatisticamente significativa, para  $\alpha = 0,05$