

***INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA***



Felipe Moreira Ribeiro

Análise do Impacto da Expansão do ITA no Tráfego Viário do  
DCTA Utilizando Microssimulação e uma Proposta para um  
Novo Acesso

*Trabalho de Graduação*  
*2014*

***Engenharia***  
***Civil-Aeronáutica***

Felipe Moreira Ribeiro

**Análise do Impacto da Expansão do ITA no Tráfego Viário do  
DCTA Utilizando Microssimulação e uma Proposta para um Novo  
Acesso**

Orientador

Prof. Major Ronaldo Gonçalves de Carvalho (ITA)

Coorientador

Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia (ITA)

**Engenharia Civil-Aeronáutica**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2014

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

Ribeiro, Felipe Moreira

Análise do Impacto da Expansão do ITA no Tráfego Viário do DCTA Utilizando Microssimulação e uma Proposta para um Novo Acesso / Felipe Moreira Ribeiro

São José dos Campos, 2014.

65f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2014.  
Orientadores: Prof. Major Ronaldo Gonçalves de Carvalho e Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia

1. Controle de Tráfego. 2. Simulação computadorizada. 3. Engenharia de tráfego. 4. Engenharia civil.  
5. Transportes I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, Felipe Moreira. **Análise do Impacto da Expansão do ITA no Tráfego Viário do DCTA Utilizando Microssimulação e uma Proposta para um novo Acesso**. 2014. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Moreira Ribeiro

TÍTULO DO TRABALHO: Análise do Impacto da Expansão do ITA no Tráfego Viário do DCTA Utilizando Microssimulação e uma Proposta para um Novo Acesso

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2014

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

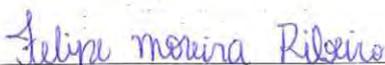
Felipe Moreira Ribeiro

Rua Doutor Arthur de Mendonça Chaves, 235 – Santa Ângela

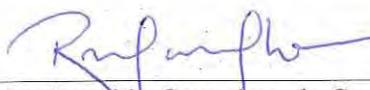
CEP: 37701-279 – Poços de Caldas – MG

**ANÁLISE DO IMPACTO DA EXPANSÃO DO ITA NO TRÁFEGO VIÁRIO DO DCTA  
UTILIZANDO MICROSSIMULAÇÃO E UMA PROPOSTA PARA UM NOVO ACESSO**

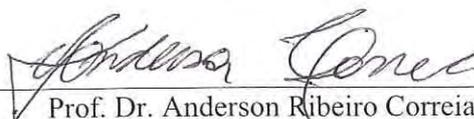
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



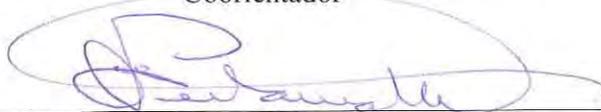
Felipe Moreira Ribeiro  
Autor



Prof. Major Ronaldo Gonçalves de Carvalho (ITA)  
Orientador



Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia (ITA)  
Coorientador



Prof. Dr. Eugênio Vertamatti (ITA)  
Relator



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto (ITA)  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 26 de Novembro de 2014

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Roberto e Sonia.

## AGRADECIMENTOS

À LOGIT Engenharia Consultiva Ltda, empresa na qual tive a oportunidade de estagiar e que me ofereceu conhecimento e recursos que serviram de base para a realização deste trabalho;

Aos professores Major Ronaldo Gonçalves de Carvalho e Dr. Anderson Ribeiro Correia, que, como orientadores, deram sugestões desde o início do trabalho;

Ao professor Dr. Eugênio Vertamatti, que, como relator, leu e corrigiu todo o relatório;

Ao professor Emmanuel Antônio dos Santos (*in memoriam*), ex-Secretário de Planejamento Urbano de São José dos Campos, com o qual tive a oportunidade de trocar ideias a respeito deste trabalho;

A todos que responderam à pesquisa origem-destino, que contribuíram enormemente para os resultados presentes neste trabalho;

Ao Binfa (Batalhão de Infantaria da Aeronáutica), que me forneceu dados, informações e quatro soldados para operacionalizar a pesquisa de campo;

Aos soldados Alexandre Vicente, Bruno Nogueira, Michael Costa e Rafael Antunes Assunção, que me ajudaram a operacionalizar a pesquisa origem-destino na portaria do DCTA.

“Renda-se, como eu me rendi.  
Mergulhe no que você não conhece  
como eu mergulhei. Não se preocupe  
em entender, viver ultrapassa qualquer  
entendimento”.

(Clarisse Lispector)

## RESUMO

Este trabalho faz uma análise, utilizando microssimulação, do impacto no tráfego viário do DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), em função da expansão prevista de ocorrer no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) de 2015 a 2019, período no qual pretende-se duplicar o número de alunos (graduação e pós-graduação), professores e funcionários. A análise foi feita utilizando o microssimulador VISSIM, da PTV. Foram simulados três cenários distintos: um cenário base (tráfego e infraestrutura como são atualmente), um cenário futuro (tráfego relativo ao ITA duplicado e infraestrutura como é atualmente), e, por fim, um cenário futuro com proposta (tráfego relativo ao ITA duplicado e proposta de mudança na infraestrutura). A proposta de mudança na infraestrutura é um novo acesso ao DCTA, através de uma via pavimentada que dá acesso à Avenida Marechal do Ar Casimiro Montenegro Filho. A escolha da localização dessa portaria foi feita a partir dos resultados da pesquisa Origem-Destino, realizada na portaria principal do DCTA, que revelou que 53,3% dos funcionários do DCTA residem em região favorecida, ao sair do DCTA, por essa futura implantação. Os cenários simulados correspondem ao período de pico da tarde, entre as 16:45 e 17:45. Além dos resultados da pesquisa Origem-Destino, foram utilizados dados de contagens volumétricas, realizadas no portão principal. Os resultados obtidos pelas microssimulações (indicadores de desempenho da rede) permitiram comparações entre os níveis de serviço dos cenários. Por exemplo, entre o cenário base e o cenário futuro houve uma piora de 34,8% na velocidade média dos veículos saindo do DCTA (de 12,7 km/h para 7,93 km/h), enquanto que entre o cenário futuro e o cenário proposto houve uma melhoria de 214,1% na velocidade média dos veículos saindo do DCTA (de 7,93 km/h para 24,91 km/h).

## ABSTRACT

This monograph analyzes the impact on the road traffic of DCTA (Aerospace Technology and Science Department) using microsimulation, due to the planned expansion to occur in the ITA (Aeronautics Institute of Technology) in the period from 2015 to 2019, during which it is intended to double the number of students (undergraduate and graduate students), faculty and staff. The analysis was done using the VISSIM software, from PTV. Were simulated three different scenarios: a baseline scenario (traffic and infrastructure as they are currently), a future scenario (double the volume of traffic relating to ITA and infrastructure as it is currently), and, finally, a future scenario with proposal (double the volume of traffic relating to ITA and proposed change in infrastructure). The proposed change in infrastructure is a new access to the DCTA through a paved road that provides access to Avenue Air Marshal Casimiro Montenegro Filho. The choice of location of such access was made from the survey results Origin-Destination held in the main gate of DCTA, which revealed that 53,3% of DCTA employees reside in favored region, leaving the DCTA for that future implementation. The simulated scenarios correspond to the afternoon peak period, between 16:45 and 17:45. In addition to the survey results Origin-Destination, volumetric count data were used, which were held at the main gate. The results obtained by the simulations (network performance indicators) allowed comparisons between the scenarios service levels. For example, between the baseline scenario and the future scenario there was a worsening of 34,8 % in the average speed of vehicles leaving the DCTA (12,7 km/h to 7,93 km/h), while among the future scenario and the scenario proposed was an improvement of 214,1 % on the average speed of vehicles leaving the DCTA (7,93 km/h to 24,91 km/h).

## Lista de Figuras

Figura 1 – Diferentes níveis de simulação de tráfego (Fonte: FHWA, 2012).....	19
Figura 2 – Parâmetros envolvidos na mudança de faixa (Fonte: CUNTO e LOUREIRO, 2011) .....	21
Figura 3 – Exemplo de um diagrama <i>link/node</i> em uma intersecção rodoviária (Fonte: FHWA, 2004).....	25
Figura 4 – Gráfico da contagem volumétrica no período de pico da manhã.....	30
Figura 5 – Gráfico da contagem volumétrica no período de pico da tarde .....	30
Figura 6 – Grupos semafóricos do semáforo do cruzamento da Rua Paraibuna com a Rua Marechal Henrique Teixeira Lott (Fonte: GOOGLE, 2014).....	36
Figura 7 – Grupos semafóricos do semáforo da Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes (Fonte: GOOGLE, 2014).....	37
Figura 8 – Grupos semafóricos do semáforo do cruzamento da Rua Dinamarca com a Rua Talim (Fonte: GOOGLE, 2014) .....	37
Figura 9 – Diagrama <i>link/node</i> do Modelo Base.....	39
Figura 10 – Portaria principal com detalhe dos <i>Reduced Speed Areas, Conflict Areas, Priority Rules, Public Transport Stop</i> e <i>Signal Controllers</i> .....	40
Figura 11 – Rotatória com detalhes dos <i>Reduced Speed Areas, Conflicts Areas</i> e <i>Priority Rules</i> .....	40
Figura 12 – <i>Inputs</i> do Modelo Base.....	41
Figura 13 – Tipo de erro visual no modelo .....	42
Figura 14 – Diagrama <i>link/node</i> do Modelo Proposto .....	43
Figura 15 – <i>Inputs</i> do Modelo Proposto .....	44
Figura 16 – Dados de saída gerados pelo VISSIM.....	45
Figura 17 – Trecho 1, definido para coleta de dados de <i>Vehicle Travel Time</i> (Fonte: GOOGLE, 2014) .....	47
Figura 18 – Trecho 2, definido para coleta de dados de <i>Vehicle Travel Time</i> .....	47
Figura 19 – Legenda de cores das velocidades médias (em km/h) .....	50
Figura 20 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário base.....	51
Figura 21 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário futuro.....	52
Figura 22 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário futuro com a proposta.....	52

Figura 23 – Vídeo 3D comparativo entre os Modelos Base e Futuro .....	53
Figura 24 – Vídeo 3D comparativo entre os Modelos Futuro e Proposto.....	53

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Respostas da pergunta “Qual o seu destino quando ENTRA no DCTA?”.....	32
Tabela 2 – Respostas da pergunta “Qual o seu destino quando SAI do DCTA?” .....	34
Tabela 3 – Tempos semafóricos coletados .....	38
Tabela 4 – <i>Vehicle Travel Time</i> – Modelo Base.....	48
Tabela 5 – <i>Vehicle Travel Time</i> – Modelo Futuro.....	48
Tabela 6 – <i>Vehicle Travel Time</i> – Modelo Proposto .....	48
Tabela 7 – Comparativos de indicadores de desempenho entre o Modelo Base e o Modelo Futuro.....	49
Tabela 8 – Comparativos de indicadores de desempenho entre o Modelo Futuro e o Modelo Proposto .....	50
Tabela 9 – <i>Network Performance</i> – Modelo Base – Parte 1 .....	62
Tabela 10 – <i>Network Performance</i> – Modelo Base – Parte 2 .....	62
Tabela 11 – <i>Network Performance</i> – Modelo Futuro – Parte 1.....	63
Tabela 12 – <i>Network Performance</i> – Modelo Futuro – Parte 2.....	63
Tabela 13 – <i>Network Performance</i> – Modelo Proposto – Parte 1 .....	64
Tabela 14 – <i>Network Performance</i> – Modelo Proposto – Parte 2.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS e SÍMBOLOS

ADC-CTA	Associação Desportiva Classista do DCTA
BINFA	Batalhão de Infantaria da Aeronáutica
COCTA	Clube dos Oficiais do DCTA
CPOR	Centro de Preparação de Oficiais da Reserva
CTA	Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (antigo nome do DCTA)
DA	Divisão de Apoio
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DCTA-Comando	Comando do DCTA (onde é hoje a atual Comissão de Obras)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DO	Divisão de Odontologia
DRH-GIA	Divisão de Recursos Humanos do GIA
DS	Divisão de Saúde
DTCEA-SJ	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de São José dos Campos
FHWA	Federal Highway Administration
GAC-Mectron	Grupo de Acompanhamento e Controle das atividades relativas ao radar SCP-01 na Mectron
GIA	Grupamento de Infraestrutura e Apoio
H8	Alojamento dos alunos do ITA
HTO	Hotel de Trânsito de Oficiais
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IFI	Instituto de Fomento e Coordenação Industrial
Incubaero	Incubadora de empresas e projetos do setor aeroespacial
IPEV	Instituto de Pesquisa e Ensaio em Voo
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LOS	Level Of Service
OD	Origem e Destino
PASJ	Prefeitura de Aeronáutica de São José dos Campos
PTV	Planung Transport Verkehr
SETEL	Seção de Telefonia
VISSIM	Verkehr In Städten – Simulationsmodell
X-40	Hangar de aeronaves

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>15</b>
1.1	Contextualização.....	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>18</b>
2.1	Simulações de Tráfego .....	18
2.1.1	Níveis de Simulação .....	18
2.2	Microssimulações de Tráfego .....	20
2.2.1	Sistemas <i>car-following</i> , <i>lane-changing</i> e <i>gap-acceptance</i> .....	20
2.3	Microssimulador VISSIM .....	22
2.3.1	Sistemas <i>car-following</i> , <i>lane-changing</i> e <i>gap-acceptance</i> do VISSIM.....	22
2.3.2	Dados de saída do VISSIM .....	23
2.4	Etapas para a Modelagem em Softwares de Microssimulação .....	23
2.4.1	Organização do Estudo de Microssimulação e Definição do Escopo .....	24
2.4.2	Coleta e Preparação dos Dados.....	24
2.4.3	Desenvolvimento do Modelo Base .....	25
2.4.4	Verificação de Erros.....	26
2.4.5	Calibração do Modelo.....	26
2.4.6	Análise de Alternativas.....	27
2.4.7	Validação.....	28
2.4.8	Relatório Final e Documentos Técnicos.....	28
<b>3</b>	<b>Estudo de Caso – Tráfego Viário do DCTA .....</b>	<b>29</b>
3.1	Organização do Estudo de Microssimulação e Definição do Escopo .....	29
3.2	Coleta e Preparação dos Dados .....	29
3.2.1	Contagens Volumétricas .....	29
3.2.2	Pesquisa Origem-Destino (OD).....	31
3.2.2.1	Processamento dos Dados .....	31
3.2.3	Tempos Semafóricos .....	36
3.2.4	Sugestões dadas pelos entrevistados.....	38

<b>3.3</b>	<b>Desenvolvimento do Modelo Base</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>Verificação de Erros</b> .....	<b>41</b>
<b>3.5</b>	<b>Calibração do Modelo</b> .....	<b>42</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise de Alternativas</b> .....	<b>42</b>
3.6.1	Modelo Futuro .....	43
3.6.2	Modelo Proposto .....	43
<b>3.7</b>	<b>Validação</b> .....	<b>44</b>
<b>3.8</b>	<b>Resultados Técnicos</b> .....	<b>45</b>
3.8.1	Indicadores de desempenho da rede .....	45
3.8.2	Comparativos entre os indicadores de desempenho .....	49
3.8.3	Diagramas de cores com velocidades médias por trecho.....	50
3.8.4	Vídeos 3D comparativos .....	53
<b>4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>Recomendações</b> .....	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>58</b>
	<b>Apêndice 1 - Folheto entregue na Pesquisa Origem/Destino</b> .....	<b>58</b>
	<b>Apêndice 2 - Todas as Sugestões dadas pelos entrevistados da pesquisa</b> .....	<b>59</b>
	<b>Apêndice 3 - <i>Network Performance</i> - Modelo Base</b> .....	<b>62</b>
	<b>Apêndice 4 - <i>Network Performance</i> - Modelo Futuro</b> .....	<b>63</b>
	<b>Apêndice 5 - <i>Network Performance</i> - Modelo Proposto</b> .....	<b>64</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

A principal motivação para a realização deste trabalho é a futura expansão do ITA, prevista para ocorrer nos próximos quatro anos (a partir de 2015), que inclui o aumento do número de vagas para a graduação e consequente aumento dos cargos de professores e funcionários, a implantação de um Centro de Inovação, que permitirá novas parcerias com o setor privado, a reformulação do currículo de ensino de engenharia e o aprimoramento dos cursos de pós-graduação.

Diante deste contexto, é de suma importância que se pense na infraestrutura que suportará essa expansão. Segundo o Reitor do ITA, Carlos Américo Pacheco, os principais projetos arquitetônicos já estão prontos e incluem: uma nova biblioteca com espaço para 320 mil volumes, 21 salas de estudo, auditório para 120 pessoas e novo espaço para exposições; um novo auditório com capacidade para 1.212 pessoas; uma nova vila residencial com 360 apartamentos para os professores; e um novo prédio de ciências fundamentais com 8 laboratórios, 2 auditórios, 12 salas de aula e 92 salas de professores (PEREIRA, 2014).

O primeiro passo para a ampliação da infraestrutura será a construção do novo prédio de ciências fundamentais, cuja licitação deve ser lançada até o final de 2014, segundo Pacheco. Os recursos financeiros para essa obra serão de R\$ 30 milhões, que serão repassados pelo Ministério da Educação. Ao todo serão investidos R\$ 300 milhões até 2019, segundo o reitor do ITA (PEREIRA, 2014).

A expansão já está acontecendo. O vestibular do ITA incorporou 60 novas vagas, totalizando 180 novos alunos egressos no início de 2014. Segundo Pacheco, a meta é 240 vagas por ano, o dobro de alunos que entravam no ITA há dois anos. A duplicação do número de professores também está prevista, que prevê a contratação de 30 novos professores a cada ano, totalizando 300 professores no futuro. Hoje, o ITA possui em torno de 147 professores (PEREIRA, 2014).

Um aspecto pessoal e motivador que trouxe inspiração para a realização deste trabalho foi a oportunidade que tive de estagiar em uma consultoria especializada em transportes e logística, a LOGIT – Engenharia Consultiva, onde tive a chance de aprender boa parte do conhecimento base para a realização deste trabalho.

## 1.2 Objetivos

A partir da contextualização feita, foram traçados o objetivo geral e os objetivos específicos para este trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise do tráfego viário interno do DCTA considerando a futura expansão do ITA e fazer uma proposta de melhoria na infraestrutura de tráfego do DCTA.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Fazer uma apresentação geral da metodologia empregada no estudo de tráfego, para que ela possa ser empregada no futuro, em qualquer situação ou qualquer outro tipo de análise específica de tráfego desejável;
- Criar e calibrar uma rede computacional do tráfego interno do DCTA, que possa ser utilizada futuramente para outros estudos;
- Caracterizar o estado atual do tráfego interno do DCTA, com base em indicadores de desempenho apresentados no *software* utilizado (VISSIM);
- Identificar, com base em pesquisa de campo, a melhor proposta de melhoria para a infraestrutura de tráfego do DCTA; e
- Testar a proposta através do *software* e fazer comparações de melhorias e/ou piores.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. Em seguida a essa introdução, no Capítulo 2, é feita a revisão bibliográfica dos assuntos tratados ao longo do texto, dando um embasamento teórico ao trabalho.

No Capítulo 3 é apresentado o estudo de caso, que é uma aplicação do embasamento teórico que foi dado no Capítulo 2, ou seja, procurou-se aplicar todo o contexto teórico ao estudo de tráfego viário do DCTA.

No Capítulo 4 são apresentadas as conclusões deste trabalho e, por fim, no Capítulo 5 foram feitas algumas recomendações para uma possível continuidade ou aperfeiçoamento deste trabalho.

## **2 Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo, foram reunidas informações coletadas em diversas publicações (dissertações de mestrado, artigos, normas, etc.) sobre simulações de tráfego de uma forma geral, sobre o software que foi utilizado no estudo de caso e sobre a metodologia que foi empregada.

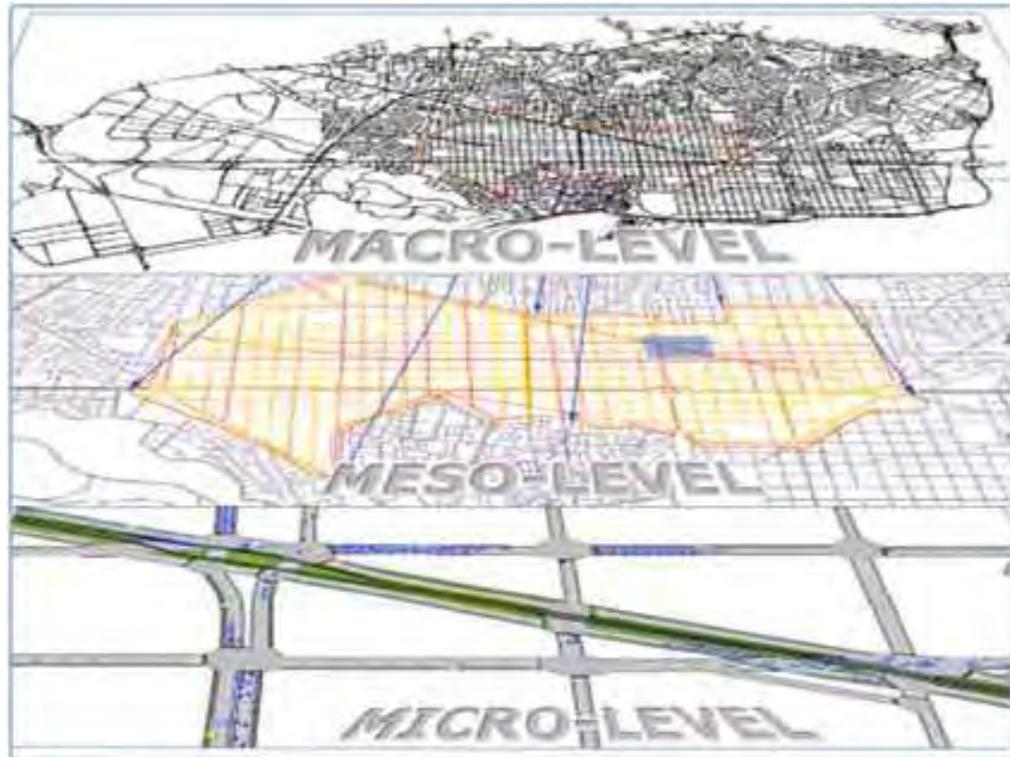
### **2.1 Simulações de Tráfego**

Segundo Vilarinho (2008), as simulações de tráfego computacionais reproduzem a interação entre os veículos, a infraestrutura e os operadores dos veículos, com maior ou menor nível de precisão, sendo caracterizadas as condições de circulação numa determinada rede devido a uma relação de oferta e procura. A variação dessas condições tem um caráter dinâmico que pode ser representado através da divisão do tempo em pequenos intervalos. Desse modo, é possível representar, em um rede de simulação, o desempenho tanto a nível de tempo como de espaço.

Os modelos de simulação de tráfego dividem-se em níveis conforme algumas características fundamentais. Entre elas, o nível de detalhamento que é dado em relação aos elementos da rede.

#### **2.1.1 Níveis de Simulação**

A maioria dos estudos de simulação de tráfego é classificada segundo três níveis de simulação: macroscópico, mesoscópico e microscópico (ilustrados na Figura 1), classificados segundo o nível de detalhamento que é dado a cada um dos elementos da rede e a escala geográfica considerada.



**Figura 1 – Diferentes níveis de simulação de tráfego (Fonte: FHWA, 2012)**

Nas macrossimulações, segundo Maia (2007), despreza-se a individualidade dos veículos. São modeladas apenas as características médias e supostamente representativas das condições médias e agregadas ao longo de um determinado período, uma abordagem estática do tráfego, avaliando um único estado da rede. Desse modo, esses modelos não respondem a mudanças nas condições de tráfego em curtos períodos de tempo, sendo bastante limitados nas suas aplicações. Por outro lado, segundo Portugal (2005) apud Maia (2007), a simulação macroscópica apresenta a vantagem de gastar menos recursos computacionais, necessitando de uma menor quantidade de parâmetros a serem calibrados. Alguns exemplos de simuladores macroscópicos são: EMME/2, TRANSCAD, VISUM, TRANSPLAN e TRIPS.

Nas microssimulações, segundo Maia (2007), os veículos são tratados de forma inteiramente individualizada, sendo o nível de detalhamento tão rico quanto for o propósito da análise. Todas as medidas de desempenho da rede simulada são calculadas para cada veículo da rede, separadamente, desde o momento em que ele entra na rede até sair. É possível ter como dados de saída diversas variáveis, em qualquer momento da simulação ou qualquer intervalo desejado. Alguns exemplos de simuladores microscópicos são: AIMSUN, CORSIM, INTEGRATION, PARAMICS e VISSIM.

Nas mesossimulações, segundo Medeiros (2012), as características são mistas entre os modelos microscópico e macroscópico, há uma capacidade de considerar os veículos

individualmente, mas a modelagem do tráfego é baseada em características agregadas do fluxo de tráfego, como densidade e velocidade médias. Alguns exemplos de simuladores mesoscópicos são: AINSUN, TRANSCAD, SATURN e SCOOT.

Para a realização deste trabalho, optou-se pela modelagem através de microssimulação. Apesar de o DCTA ter uma área extensa (algo entre 4,5 e 5,0 km<sup>2</sup> de área com infraestrutura acessível pelo sistema viário), a sua rede viária possui certas peculiaridades como as velocidades limites internas, os conflitos nas rotatórias (quatro principais rotatórias), as baixas velocidades nas proximidades das portarias, velocidades maiores em certos locais específicos, etc. Assim, uma análise microscópica seria o mais recomendado para o DCTA, dada a possibilidade de inserção e consideração de todos os detalhes e pormenores da sua rede viária.

## 2.2 Microssimulações de Tráfego

Segundo Federal Highway Administration (FHWA, 2004), microssimulação é a modelagem de movimentos individuais de veículos em cada segundo, com a finalidade de avaliar o desempenho do tráfego de sistemas rodoviários e viários urbanos, do trânsito e/ou de pedestres. Nos últimos 15 anos houve uma rápida evolução na sofisticação de modelos de microssimulação e uma maior aplicação desse recurso na engenharia de transportes e práticas de planejamento.

Segundo Portugal (2005) apud Maia (2007), como o tratamento dos veículos é individualizado em uma microssimulação, é necessário que o comportamento dos condutores seja mais complexo e detalhado do que nos modelos macroscópicos e mesoscópicos. Para isso, utiliza-se de submodelos que descrevem certos comportamentos humanos específicos no trânsito: o sistema *car-following* (perseguição veicular), *lane-changing* (mudança de faixa) e *gap-acceptance* (aceitação de brechas). Esses sistemas serão rapidamente comentados no próximo sub-tópico.

### 2.2.1 Sistemas *car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance*

O sistema *car-following*, segundo Cunto e Loureiro (2011), é um algoritmo que representa o processo de escolha e determinação da velocidade veicular pelos indivíduos condutores e, conseqüentemente, a sua distância em relação ao veículo à sua frente. Esse

sistema é responsável pela modelagem dos conflitos e interações longitudinais que podem levar a eventuais colisões traseiras.

O sistema *lane-changing*, segundo Cunto e Loureiro (2011), é um algoritmo que considera o desejo de mudança de faixa de algum veículo devido a alguma obstrução, ou a um veículo lento na faixa em que ele se encontra, ou ainda a uma necessidade de alteração na trajetória para acessar uma determinada via da rede viária. O processo de decisão de mudança de faixa, nesse algoritmo, é feito através de um processo hierárquico. Uma vez que existe a intenção de mudança de faixa, há que ser verificado ainda se essa mudança pode ou não ser realizada, ou seja, se há uma brecha (espaço suficiente entre veículos na faixa desejada).

O sistema *gap-acceptance*, segundo Medeiros (2012), verifica a possibilidade de mudança de faixa calculando se o espaço entre os veículos da faixa desejada permite ou não a execução da mudança. O algoritmo leva em consideração as posições e as velocidades dos veículos envolvidos.

A Figura 2 mostra os parâmetros envolvidos (tempos e distâncias) no processo de mudança de faixa.

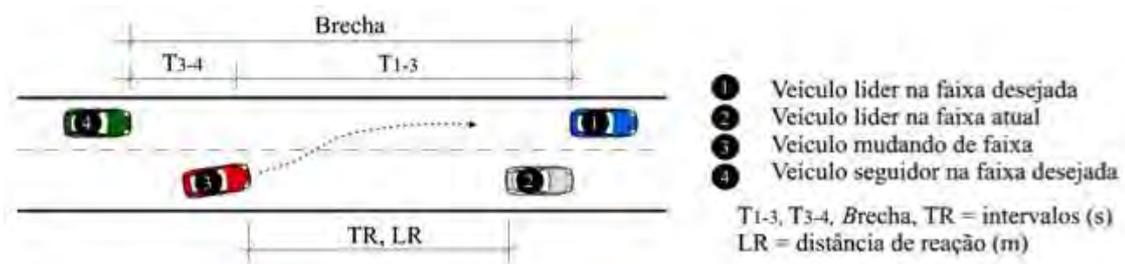


Figura 2 – Parâmetros envolvidos na mudança de faixa (Fonte: CUNTO e LOUREIRO, 2011)

Nessa figura, cada um dos parâmetros está relacionado com cada um dos três algoritmos representativos do comportamento veicular. Os parâmetros TR e LR são, respectivamente, o tempo e a distância mínimos para que o veículo 3 não tenha risco de colidir com o veículo 2, caso o veículo 2 pare bruscamente (*car-following*). O parâmetro  $T_{3-4}$  é o tempo de segurança para que o veículo 4 não tenha risco de colidir com o veículo 3 transversalmente (*gap-acceptance*). A velocidade do veículo 2 é que vai determinar se o veículo 3 pode, ou não, mudar de faixa.

## 2.3 Microssimulador VISSIM

VISSIM é um software de origem alemã, desenvolvido pela empresa Planung Transport Verkehr AG (PTV AG), que, segundo o manual do fabricante (PTV, 2011), é um programa capaz de analisar as operações do transporte público e privado, sob certas restrições, tais como configuração de faixas, composições veiculares, semáforos, paradas de ônibus, etc., o que o torna uma ferramenta útil para avaliar alternativas e traçar planos de medida, baseados na engenharia de transportes.

De acordo com PTV (2011), a acurácia da simulação de tráfego, no VISSIM, é devida à qualidade dos algoritmos de modelagem comportamental dos condutores. Em contraste aos modelos menos complexos, que utilizam velocidades constantes e lógicas determinísticas de *car-following*, o VISSIM utiliza modelagem comportamental dos condutores com características psicofísicas. De acordo com Russo (2007), o conceito básico desse modelo é que o condutor de um veículo mais veloz começa a desacelerar até que ele atinja uma velocidade mais próxima de um veículo mais lento. Como o condutor do veículo mais veloz não pode determinar com precisão a velocidade do veículo mais lento, ele diminui a velocidade até ter uma nova percepção de que o veículo adjacente está mais veloz do que ele, e então ele começa a acelerar na tentativa de acompanhar o veículo adjacente. Isso resulta em um processo iterativo de ambos os veículos, um em relação ao outro.

### 2.3.1 Sistemas *car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance* do VISSIM

De acordo com PTV (2011), o VISSIM dispõe de dois modelos distintos de *car-following*, um datado de 1974 e outro de 1999. Dependendo de qual modelo for selecionado, o usuário tem diferentes opções de parâmetros a serem calibrados, sendo o modelo de 1999 com uma maior quantidade de parâmetros. O modelo de 1974 é o mais indicado para a modelagem de tráfego urbano, enquanto o modelo de 1999 é mais indicado para a modelagem de tráfego interurbano (rodovias).

De acordo com PTV (2011), o VISSIM tem basicamente dois tipos de sistema envolvendo *lane-changing*: a mudança de faixa necessária e a mudança de faixa livre. O primeiro tipo envolve a necessidade de mudança de faixa em razão de um acesso que só a faixa desejada possui, como por exemplo a conversão à esquerda, onde só quem está na faixa da esquerda pode acessar. O outro tipo de sistema *lane-changing* envolve a decisão de mudança de faixa em razão do fluxo de tráfego estar mais fluido na faixa desejada.

Quanto ao sistema de *gap-acceptance* do VISSIM, de acordo com Cunto e Loureiro (2011), o processo pode ser modelado através do estabelecimento de regras de prioridade ou através do conceito de áreas de conflito. No primeiro processo, o usuário define os movimentos com preferência de passagem, o que implica em uma brecha mínima para a entrada na corrente de tráfego. Já no segundo processo, o próprio software determina essa brecha mínima através das características geométricas da via.

### **2.3.2 Dados de saída do VISSIM**

Segundo Medeiros (2012), o VISSIM é capaz de fornecer, ao final de cada simulação, uma lista com informações detalhadas, que pode ser através de arquivo texto ou através de base de dados do próprio *software*. A partir do menu *Evaluation* é possível escolher quais dados são relevantes para o usuário e selecionar o intervalo de tempo durante o qual ele deseja coletar os dados. Dentre os tipos de dados fornecidos pelo VISSIM, tem-se tempos de atraso nos *links*, tempos de viagem, contadores de filas, dados em *nodes* (interseções de *links*), dados gerais da rede, dados de consumo de combustível, de emissões de poluentes, etc.

## **2.4 Etapas para a Modelagem em Softwares de Microsimulação**

De acordo com FHWA (2004), as etapas gerais para o desenvolvimento e a aplicação de um modelo de microsimulação em um problema de análise de tráfego específico consistem em sete principais tarefas:

1. Organização do Estudo de Microsimulação e Definição do Escopo;
2. Coleta e Preparação dos Dados;
3. Desenvolvimento do Modelo Base;
4. Verificação de Erros;
5. Calibração do Modelo;
6. Análise de Alternativas;
7. Relatório Final e Documentos Técnicos.

Cada uma das etapas descrita nos sub-tópicos a seguir e essa metodologia será empregada ao estudo de caso a ser tratado no Capítulo 3.

Segundo Russo (2007), a metodologia descrita por FHWA (2004) falha em não apresentar, mais explicitamente, uma etapa específica para a validação do modelo (apesar de apresentar várias referências bibliográficas sobre esse assunto).

Desse modo, adicionalmente às sete etapas descritas por FHWA (2004), procedeu-se à validação dos modelos de simulação, definindo-se uma outra etapa da metodologia empregada neste estudo.

#### **2.4.1 Organização do Estudo de Microsimulação e Definição do Escopo**

As questões chaves para o gerenciamento dos estudos de microsimulação, segundo FHWA (2004), são:

- Assegurar conhecimento suficiente para desenvolver e/ou avaliar o modelo;
- Prover tempo e recursos suficientes para desenvolver e calibrar o modelo de microsimulação;
- Desenvolver a documentação adequada para o processo de desenvolvimento do modelo e resultados de calibração.

#### **2.4.2 Coleta e Preparação dos Dados**

Segundo FHWA (2004), os dados de entrada (*inputs*) necessários para um modelo de microsimulação variam bastante conforme o software escolhido e a modelagem do estudo determinada na etapa de definição do escopo. Mas a maioria dos estudos de microsimulação requerem os seguintes dados de entrada:

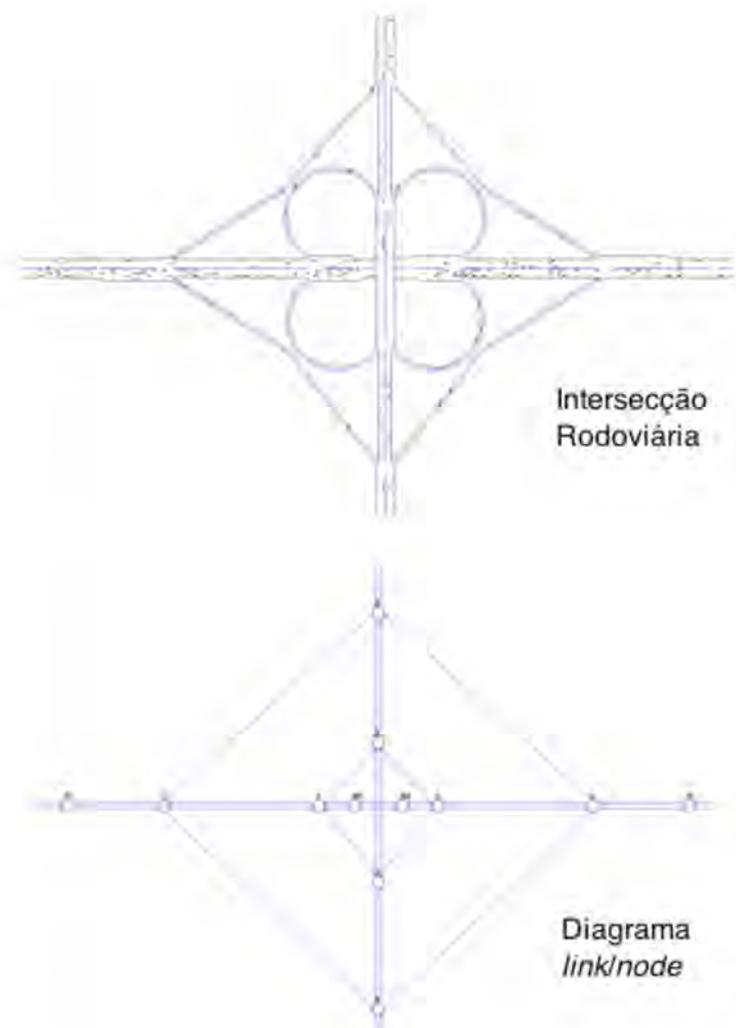
- Geometria das vias (comprimentos, larguras, quantidade de faixas, curvaturas);
- Controladores de tráfego (semáforos, tempos semafóricos);
- Demandas (volumes de tráfego, volumes por sentido, Matriz OD); e
- Dados de calibração (contagens de tráfego e dados de performance, como velocidades e filas).

Nesta etapa, é de suma importância que os dados necessários para a verificação de erros também sejam coletados, de forma a fornecer suporte às etapas 4 e 5.

### 2.4.3 Desenvolvimento do Modelo Base

De acordo com FHWA (2004), o objetivo do desenvolvimento do modelo base é que o modelo seja verificável, consistente e preciso. Por isso, essa etapa pode ser muito complexa e demandar muito tempo, em virtude das peculiaridades de cada *software*. O método para desenvolver um modelo de microsimulação passa por várias camadas de modelagem.

A primeira camada é a construção de um diagrama *link/node* (um exemplo ilustrativo é mostrado na Figura 3), que estabelece uma base para o modelo.



**Figura 3 – Exemplo de um diagrama *link/node* em uma intersecção rodoviária (Fonte: FHWA, 2004)**

Acima dessa camada base, há uma camada com dados adicionais de geometria de *links* (número de faixas, largura de faixa, comprimento de *links*, etc.), de controladores de tráfego (se há controle ou não, configurações semafóricas, sinais de “Pare!”, etc.) e de operações nos *links* (limites de velocidade, uso de faixas, ciclovias, sinais de advertência, etc.).

Em seguida, são adicionados dados de demanda por viagens (volumes de tráfego por classe veicular, porcentagens de veículos que tomam cada movimento possível em uma interseção, rotas de veículos e ônibus, volumes de bicicletas e pedestres, etc.) e comportamento de viajantes (agressividade de motoristas, regras de *car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance*, disponibilidade de informações em tempo real dos motoristas, etc.).

Finalmente, são adicionados dados de controle de execução da simulação (duração da simulação, tipos de relatório desejáveis com outputs, arquivos de animação, resolução gráfica das simulações, etc.), completando assim o desenvolvimento do modelo base.

Este processo não precisa ter necessariamente esta ordem e pode estar contido em outras etapas da metodologia FHWA (2004) Entretanto, todas essas camadas são requeridas, de uma certa forma, em qualquer modelo de simulação.

#### **2.4.4 Verificação de Erros**

De acordo com FHWA (2004), a etapa de verificação de erros é essencial para o bom desenvolvimento do modelo de trabalho, pois caso haja algum erro não detectado pelo analista, a etapa de calibração do modelo pode resultar em parâmetros distorcidos afim de compensar esses erros, ou seja, as etapas subsequentes à calibração do modelo dependem da eliminação de todos os erros mais grotescos na demanda e na codificação da rede, antes da calibração.

A checagem de erros envolve a revisão de toda a rede codificada, das demandas utilizadas e dos parâmetros padrão do software. O procedimento para a verificação de erros está compreendido em três passos principais:

- Checagem de erros relacionados ao software;
- Checagem de erros relativos à codificação dos *inputs*;
- Revisão da animação, afim de detectar erros visuais e/ou erros de *input* menos óbvios.

#### **2.4.5 Calibração do Modelo**

Segundo FHWA (2004), cada microssimulador tem um conjunto de parâmetros de ajustes que permitem ao usuário configurar as condições que melhor representam o comportamento real do tráfego. Esses parâmetros são necessários porque nenhum modelo de

microsimulação inclui todos os possíveis fatores que podem afetar a capacidade e as operações de tráfego.

Para FHWA (2004), as questões chaves em uma calibração são:

- Identificação do modelo necessário de acordo com os objetivos da calibração;
- Alocação de tempo e recursos suficientes para atingir os objetivos da calibração;
- Seleção dos parâmetros de calibração apropriados e que melhor correspondem às medidas locais de capacidade das vias, rodovias, *freeways* e interseções;
- Seleção dos parâmetros de calibração que melhor reproduzem os padrões de escolha de rota; e
- Calibração do modelo global frente às medidas de desempenho global do sistema, tais como tempo de viagem, atraso e filas.

#### **2.4.6 Análise de Alternativas**

Nesta etapa, o modelo de microsimulação é rodado várias vezes para testar várias possibilidades de projetos alternativos. O primeiro passo para essa etapa é desenvolver um cenário realista do modelo de demanda futuro. A partir daí, várias melhorias alternativas são codificadas no modelo de simulação base. O analista, então, deve determinar quais estatísticas de performance serão colhidas, e então ele roda todas as alternativas e gera os *outputs* necessários. Por exemplo, se o analista quer produzir somente os resultados de nível de serviço (LOS – Level of Service) de acordo com o HCM (TRB, 2000), são suficientes os dados de tempo somente.

Segundo FHWA (2004), as questões chaves para a análise de alternativas são:

- Previsão realista de demanda futura;
- Seleção das medidas de performance apropriadas para a avaliação das alternativas;
- Contabilidade precisa dos benefícios da redução de congestionamento em cada alternativa; e
- Converter, apropriadamente, os resultados da microsimulação para o nível de serviço do HCM (TRB, 2000). Um relatório de nível de serviços é opcional.

### 2.4.7 Validação

De acordo com Maia (2007), existem muitos procedimentos para validação de modelos de simulação na literatura atual, como os modelos desenvolvidos por Hellinga (1998) e por Rakha et al (1996). Contudo, essas metodologias são de difícil aplicação prática, sendo mais utilizadas pela comunidade científica. A metodologia de verificação a ser empregada varia enormemente conforme o problema analisado e é uma etapa que não fica restrita a ser aplicada somente ao final da simulação. O ideal é que a validação ocorra concomitantemente com toda a realização do trabalho.

Para Aquino (2013), a etapa de calibração difere da etapa de validação na medida em que a calibração utiliza-se, normalmente, de uma simples medida de erro, como o erro quadrático médio, enquanto que a validação utiliza-se, normalmente, de um ferramental estatístico.

Conforme aponta Maia (2007), há pouca difusão de metodologias de validação na comunidade técnica brasileira, o que acaba desestimulando o emprego de softwares de microsimulação como auxílio à tomada de decisão.

### 2.4.8 Relatório Final e Documentos Técnicos

Esta etapa consiste em resumir os resultados técnicos em um relatório final e documentar a abordagem analítica em um documento técnico. Esta etapa inclui a apresentação dos resultados do estudo aos supervisores técnicos, às autoridades políticas e ao público em geral.

Segundo FHWA (2004), o relatório final deve apresentar os resultados analíticos, de tal forma que seja compreensível pelos tomadores de decisão do projeto. O esforço envolvido em resumir os resultados para o relatório final não deve ser subestimado, dado que os modelos de microsimulação produzem uma rica variedade de *outputs* numéricos que devem ser tabulados e resumidos.

Documentos técnicos são importantes para assegurar que os tomadores de decisão entendam as hipóteses e as suposições adotadas e para permitir que outros analistas as reproduzam em outros estudos.

## **3 Estudo de Caso – Tráfego Viário do DCTA**

### **3.1 Organização do Estudo de Microsimulação e Definição do Escopo**

O estudo de microsimulação foi organizado conforme os objetivos gerais e específicos deste trabalho e, também, a partir da contextualização.

Inicialmente, a primeira iniciativa deste trabalho foi a realização de pesquisa Origem-Destino. A partir da compilação de todos os dados e da análise crítica desses, procedeu-se à organização do escopo do trabalho. Decidiu-se, então, que o trabalho seria composto por 3 microsimulações, uma relativa ao cenário atual, outra relativa ao cenário futuro e outra apresentando uma proposta de melhoria. Detalhes específicos que representam o motivo das escolhas de cenários serão apresentados ao longo das seções seguintes.

### **3.2 Coleta e Preparação dos Dados**

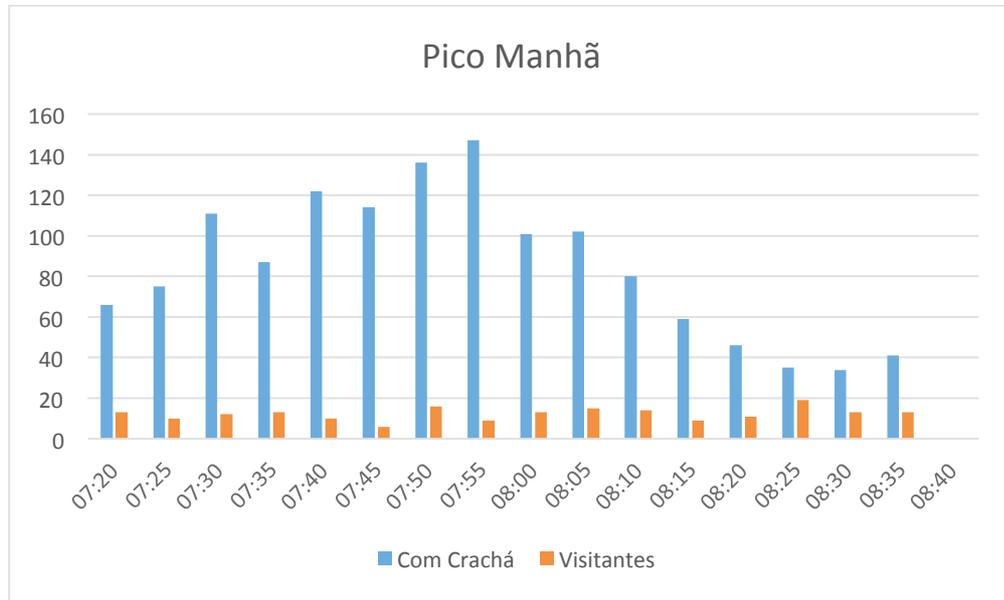
Nesta etapa do estudo foram feitas contagens volumétricas por observação direta do tráfego de veículos na portaria principal, pesquisas Origem-Destino através de panfletos entregues na portaria principal do DCTA e coleta dos tempos semafóricos de três semáforos próximos aos acessos do DCTA.

Os dias para a realização das pesquisas e coleta de dados foram escolhidos de forma que fossem considerados como dia típico de expediente do DCTA, ou seja, não havia qualquer evento grande que pudesse ter interferência no tráfego (festa, formatura, evento militar, etc.).

#### **3.2.1 Contagens Volumétricas**

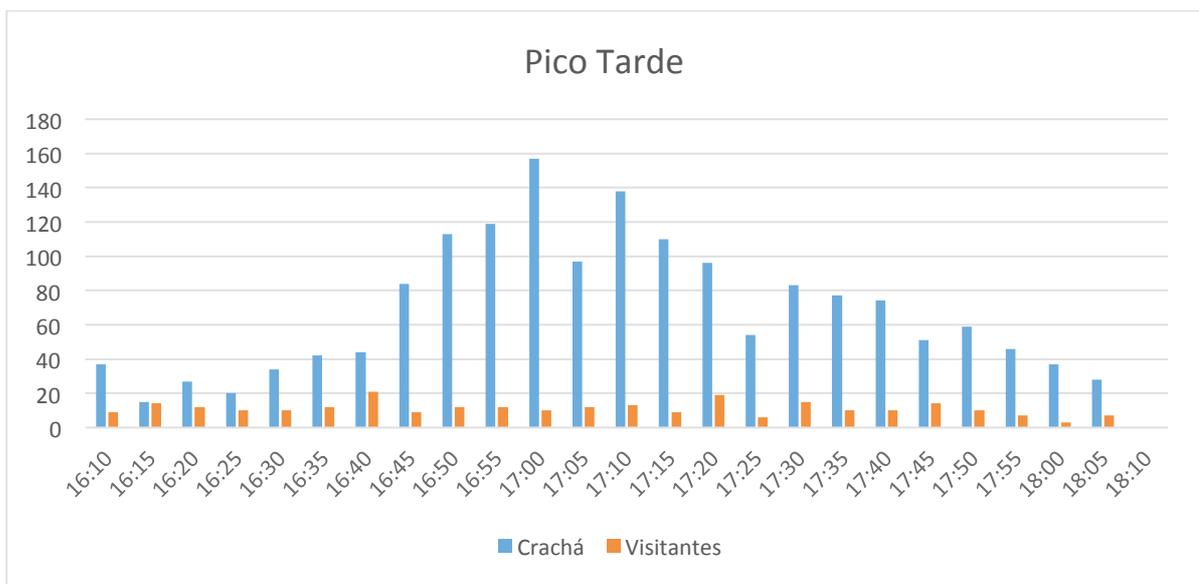
As contagens volumétricas do pico manhã e do pico tarde foram realizadas no mesmo dia (Segunda-Feira – 31 de Março de 2014), a primeira contagem entre as 07:20 e 08:40 e a segunda contagem entre as 16:10 e 18:10. Anotou-se os valores acumulados de veículos que passaram pela portaria principal, de 5 em 5 minutos, fazendo a distinção entre veículos que entraram com crachá e veículos visitantes.

A seguir, são apresentados os gráficos das contagens volumétricas, do período de pico da manhã (Figura 4) e do período de pico da tarde (Figura 5), com valores absolutos de veículos que passam pela portaria principal, a cada 5 minutos, nos períodos considerados.



**Figura 4 – Gráfico da contagem volumétrica no período de pico da manhã**

É importante observar, através da Figura 4, que o pico máximo de veículos ocorre entre as 07:55 e 08:00, quando passam 147 veículos em apenas 5 minutos. Esse pico ocorre em virtude do início do expediente no campus, às 08:00.



**Figura 5 – Gráfico da contagem volumétrica no período de pico da tarde**

Para o período de pico da tarde, o pico máximo ocorre entre as 17:00 e 17:05, exatamente ao término do expediente no campus, com 157 veículos em apenas 5 minutos.

Em ambos os períodos de pico, manhã e tarde, o percentual de visitantes gira em torno de 11%. Esse percentual será considerado nas microsimulações.

A hora-pico da manhã é entre as 7:20 e 8:20, com 1340 veículos entrando pela portaria principal, enquanto que a hora-pico da tarde é entre as 16:45 e 17:45, com 1339 veículos saindo pela portaria principal.

### **3.2.2 Pesquisa Origem-Destino (OD)**

As pesquisas Origem-Destino foram realizadas através de panfletos entregues aos motoristas na portaria principal do DCTA. Havia, no panfleto, apenas três perguntas: “Qual o seu destino quando ENTRA no DCTA?”, “Qual o seu destino quando SAI do DCTA?” e “Quantas vezes por semana você realiza este trajeto?”. Os motoristas, tanto visitantes quanto o efetivo do DCTA, foram instruídos a devolver as pesquisas preenchidas na mesma portaria. O panfleto, exatamente como foi utilizado, encontra-se no Apêndice 1.

Ao todo foram impressos e entregues 2700 panfletos, aproximadamente 1700 durante o período de pico da manhã, especificamente entre as 06:00 e 09:00 do dia 03 de Junho de 2014. E o restante, aproximadamente 1000 panfletos, foram entregues no período de pico da tarde, especificamente entre as 16:30 e 18:30 do mesmo dia, para os motoristas que não tinham pego o panfleto pela manhã.

Durante os próximos dias seguintes à realização da pesquisa, os folhetos foram sendo devolvidos na portaria principal. Ao todo foram devolvidos 675 panfletos preenchidos, ou seja, uma adesão de 25%.

Além dos folhetos, foram recebidas 10 respostas ao questionário por e-mail, e foram entrevistadas, pessoalmente, 5 pessoas. Portanto, o número total de pessoas que responderam à pesquisa foi de 690.

#### **3.2.2.1 Processamento dos Dados**

Para o processamento dos dados, e conseqüente extração dos resultados convenientes ao trabalho, foram consideradas somente as respostas nas quais os motoristas revelavam que utilizavam a portaria principal com uma frequência maior ou igual a 4 vezes por semana. Sendo assim, o número de pesquisas válidas reduziu-se a 619, ou seja, 71 respostas foram

descartadas por esse motivo, número correspondente a 10,72% do total de respostas. Nota-se, então, uma correlação entre esse percentual e o percentual de visitantes obtido nas contagens de tráfego, que constatou-se ser de aproximadamente 11%.

A seguir, na Tabela 1, são apresentadas as quantidades de vezes que cada resposta da primeira pergunta aparece e as porcentagens com relação ao número total de respostas válidas. Procurou-se agrupar as respostas que se referiam a um mesmo instituto, como por exemplo “CCA” (Centro de Computação da Aeronáutica) e “CCM” (Centro de Competência em Manufatura) entraram na categoria “ITA”. Além das respostas listadas na Tabela 1, apareceram ainda, respostas apenas como “Local de Trabalho”. Essas respostas apareceram 58 vezes e não foram consideradas como respostas válidas.

**Tabela 1 – Respostas da pergunta “Qual o seu destino quando ENTRA no DCTA?”**

<b>Destino quando ENTRA no DCTA</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>
IAE	127	22.8%
ITA	105	18.8%
IFI	39	7.0%
Escola Mariotto	37	6.6%
ICEA	36	6.5%
GIA-SJ	27	4.8%
Residência	22	3.9%
DS	17	3.0%
DA	15	2.7%
DO	15	2.7%
IPEV	13	2.3%
DRH-GIA	11	2.0%
Escola Montenegro	10	1.8%
DCTA-Comando	9	1.6%
BINFA	7	1.3%
PASJ-SJ	7	1.3%
X40	7	1.3%
ADC-CTA	6	1.1%
Aeroporto	4	0.7%
CPOR	4	0.7%
Banco do Brasil	3	0.5%
COCTA	3	0.5%
HTO	3	0.5%
Túnel de Vento	3	0.5%

<b>Destino quando ENTRA no DCTA</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Vila Militar</b>	3	0.5%
<b>Almoxarifado</b>	2	0.4%
<b>Banco Santander</b>	2	0.4%
<b>Clube dos Sargentos</b>	2	0.4%
<b>Escola</b>	2	0.4%
<b>Farmácia</b>	2	0.4%
<b>Hotel do ICEA</b>	2	0.4%
<b>Supermercado Villarreal</b>	2	0.4%
<b>Banco</b>	1	0.2%
<b>Banco Itaú</b>	1	0.2%
<b>DTCEA-SJ</b>	1	0.2%
<b>GAC-Mectron</b>	1	0.2%
<b>H8</b>	1	0.2%
<b>Incubaero</b>	1	0.2%
<b>Lotérica</b>	1	0.2%
<b>Obra</b>	1	0.2%
<b>Posto Shell</b>	1	0.2%
<b>Rancho</b>	1	0.2%
<b>SETEL</b>	1	0.2%

A seguir, na Tabela 2, são apresentadas as quantidades de vezes que cada resposta da segunda pergunta aparece e as porcentagens com relação ao número total de respostas válidas. Além das respostas listadas na tabela abaixo, apareceram ainda, respostas apenas como “Bairro”, “Cidade Vizinha”, “Cidade”, “Escola” e “Vários Lugares”. Essas respostas apareceram 110, 9, 3, 1 e 4 vezes, respectivamente, e não foram consideradas como respostas válidas.

A quarta coluna agregada a essa tabela diz se o bairro/região é beneficiado, ou não, por uma possível saída direto para a Avenida Marechal-do-Ar Casimiro Montenegro Filho (Antiga Rodovia dos Tamoios), via que dá acesso fácil para a Avenida Jorge Zarur (e consequentemente para a Zona Oeste da cidade) e Zona Sul da cidade. Traçou-se todas as rotas, utilizando o Google Maps, desde a Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes até cada uma das regiões listadas. Caso a rota passasse pela Avenida Marechal-do-Ar Casimiro Montenegro Filho, definiu-se que “Sim”, ou seja, a região seria beneficiada por essa saída, caso contrário, definiu-se que “Não”, pois a região não seria beneficiada pela mesma saída. Determinou-se,

então, que 53,3% de todas as respostas válidas seriam beneficiados por uma possível saída para a Tamoios. Esse percentual será considerado nas microssimulações.

**Tabela 2 – Respostas da pergunta “Qual o seu destino quando SAI do DCTA?”**

<b>Destino quando SAI do DCTA</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Beneficiado?</b>
Jardim Satélite	48	9.9%	Sim
Jardim Aquarius	46	9.5%	Sim
Bosque dos Eucaliptos	34	7.0%	Sim
Jacareí	28	5.8%	Não
Centro	26	5.3%	Não
Jardim São Dimas	24	4.9%	Não
Jardim Esplanada	20	4.1%	Não
Urbanova	20	4.1%	Sim
Vila Adyana	20	4.1%	Não
Vila Ema	20	4.1%	Sim
Jardim das Colinas	14	2.9%	Sim
Parque Industrial	14	2.9%	Sim
Jardim Oswaldo Cruz	10	2.1%	Não
Jardim Augusta	9	1.9%	Não
Jardim das Indústrias	9	1.9%	Não
Taubaté	8	1.6%	Não
Floradas de São José	7	1.4%	Sim
Jardim Paulista	7	1.4%	Não
Zona Sul	7	1.4%	Sim
Zona Norte	6	1.2%	Não
Cidade Morumbi	5	1.0%	Sim
Jardim América	5	1.0%	Sim
Parque Interlagos	5	1.0%	Sim
Santana	5	1.0%	Não
Caçapava	4	0.8%	Não
Cidade Vista Verde	4	0.8%	Não
Jardim Esplanada II	4	0.8%	Sim
Vila Sanches	4	0.8%	Não
Jardim Alvorada	3	0.6%	Sim
Jardim Apolo	3	0.6%	Não
Jardim Estoril	3	0.6%	Sim
Jardim Oriente	3	0.6%	Sim
Jardim Santa Inês	3	0.6%	Não

<b>Destino quando SAI do DCTA</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Beneficiado?</b>
Vila Industrial	3	0.6%	Não
Anel Viário	2	0.4%	Não
Eugênio de Melo	2	0.4%	Não
Jardim Colonial	2	0.4%	Sim
Jardim Imperial	2	0.4%	Sim
Jardim Ismênia	2	0.4%	Não
Jardim Portugal	2	0.4%	Sim
Jardim São Judas Tadeu	2	0.4%	Sim
Jardim Topázio	2	0.4%	Não
São Paulo	2	0.4%	Não
Tamoios	2	0.4%	Sim
Vila Betânia	2	0.4%	Não
Bosque dos Ipês	1	0.2%	Sim
Conjunto Residencial Dom Pedro I	1	0.2%	Sim
Costinha	1	0.2%	Não
Guaratinguetá	1	0.2%	Não
Guarulhos	1	0.2%	Não
Jambeiro	1	0.2%	Sim
Jardim Esplanada	1	0.2%	Não
Jardim Altos de Santana	1	0.2%	Não
Jardim Americano	1	0.2%	Não
Jardim Industrial	1	0.2%	Sim
Jardim Maringá	1	0.2%	Não
Jardim Nova América	1	0.2%	Não
Jardim Paraíso do Sol	1	0.2%	Não
Jardim Santa Julia	1	0.2%	Sim
Jardim Santo Onofre	1	0.2%	Sim
Jardim São José	1	0.2%	Não
Jardim Sul	1	0.2%	Sim
Jardim Torrão de Ouro	1	0.2%	Sim
Jardim Vale do Sol	1	0.2%	Sim
Monte Castelo	1	0.2%	Não
Palmeiras de São José	1	0.2%	Não
Parque Novo Horizonte	1	0.2%	Não
Pau de Saia	1	0.2%	Não
Residencial Galo Branco	1	0.2%	Não
Residencial União	1	0.2%	Sim
Vila Bandeirantes	1	0.2%	Não

Destino quando SAI do DCTA	Quantidade	Porcentagem	Beneficiado?
Vila Guarani	1	0.2%	Não
Vila Maria	1	0.2%	Não
Vila Nair	1	0.2%	Sim
Vila São Geraldo	1	0.2%	Não
Vila Tatetuba	1	0.2%	Não
Vila Tesouro	1	0.2%	Não
Zona Leste	1	0.2%	Não

### 3.2.3 Tempos Semafóricos

Foram coletados os tempos semafóricos de três semáforos, dois próximos à portaria principal: o semáforo do cruzamento da Rua Paraibuna com a Marechal Henrique Teixeira Lott (Figura 6) e o semáforo da Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes (Figura 7) e um próximo à portaria proposta: o semáforo do cruzamento da Rua Dinamarca com a Rua Talim e com o início da Rodovia dos Tamoios (Figura 8).



Figura 6 – Grupos semafóricos do semáforo do cruzamento da Rua Paraibuna com a Rua Marechal Henrique Teixeira Lott (Fonte: GOOGLE, 2014)



**Figura 7 – Grupos semafóricos do semáforo da Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes (Fonte: GOOGLE, 2014)**



**Figura 8 – Grupos semafóricos do semáforo do cruzamento da Rua Dinamarca com a Rua Talim (Fonte: GOOGLE, 2014)**

A Tabela 3 a seguir mostra os tempos semafóricos coletados nos semáforos. É importante ressaltar que os tempos semafóricos podem variar ao longo do dia, conforme a programação interna de cada controle semafórico. O semáforo da Rua Dinamarca com a Rua Talim, por exemplo, apresentou comportamento bastante variável (o motivo disso é porque existe um sensor detector de veículos para o grupo semafórico 1), não sendo possível definir um tempo fixo que o representasse. Para esse semáforo, os valores apresentados na tabela são os valores que resultaram da calibração da rede (etapa número 5 da metodologia da FHWA, 2004, empregada neste trabalho). Os outros dois semáforos, contudo, apresentaram comportamento invariável ao longo do tempo das medições. Para esses, os valores apresentados na tabela são os próprios valores coletados em campo.

Os tempos de vermelho de segurança, na quinta coluna da Tabela 3, são os tempos, após os tempos de amarelo, nos quais os dois grupos semafóricos ficam vermelho.

**Tabela 3 – Tempos semafóricos coletados**

Semáforo	Grupo Semafórico	Tempo de verde (s)	Tempo de amarelo (s)	Tempo de vermelho de segurança (s)	Tempo total de ciclo (s)
Rua Paraibuna x Rua Mal. Henrique Teixeira Lott	1	43	3	3	110
	2	55	3	3	
Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes	1	35	3	2	110
	2	65	3	2	
Rua Dinamarca (início Tamoios) x Rua Talim	1	32	3	1	110
	2	70	3	1	

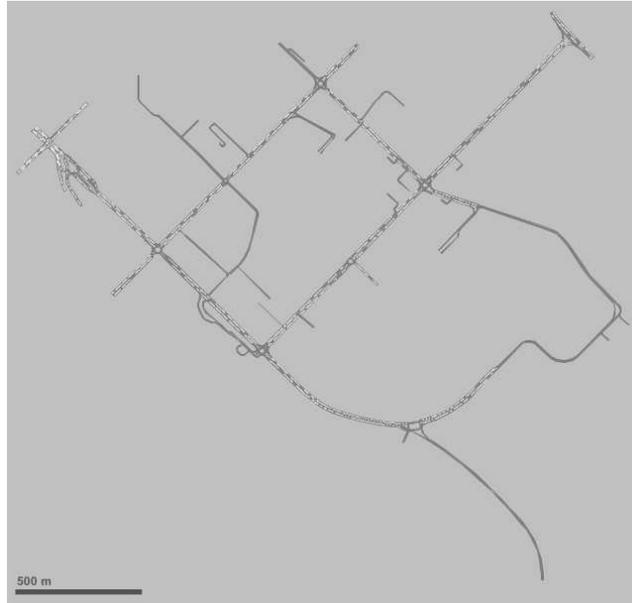
### 3.2.4 Sugestões dadas pelos entrevistados

Por e-mail e por folhetos, os entrevistados da Pesquisa Origem-Destino fizeram diversas sugestões de melhorias para a tráfego, totalizando 24, conforme listadas no Apêndice 2. A maioria delas (15 sugestões) estão relacionadas à abertura de uma nova portaria para a Tamoios, outras 4 sugestões mencionam simplesmente a abertura de uma outra portaria em algum lugar estratégico, sem especificar o local. As outras 5 sugestões fazem menção à alternância de horários entre os institutos para aliviar o tráfego na hora da saída, e/ou reclamações acerca da falta de comprometimento dos motoristas às leis de trânsito internas, como limites de velocidade, por exemplo.

### 3.3 Desenvolvimento do Modelo Base

O que foi nomeado como “Modelo Base” aqui neste trabalho é o modelo de microssimulação correspondente ao cenário atual, com o volume de tráfego atual e a toda a infraestrutura atual. A Figura 9 mostra o diagrama *link/node* do Modelo Base. A rede foi construída a partir de uma imagem de satélite ao fundo (recurso ativado no próprio *software*) e assim foram adicionadas todas as vias, rotatórias, acesso aos institutos, portarias e acesso às portarias pelo exterior do *campus*. Como a rede é georreferenciada, todos os comprimentos das *links* estão condizentes com as dimensões (larguras e comprimentos) reais das vias. Além disso, foram consideradas os números de faixas de tráfego para cada *link* da rede.

Os elementos que conectam os *links* são chamados conectores, que também foram modelados conforme suas dimensões reais. Os *nodes* são as regiões onde os conectores se concentram, como as rotatórias, os cruzamentos e os entroncamentos.



**Figura 9 – Diagrama *link/node* do Modelo Base**

Foram adicionados: três controladores semafóricos (*Signal Controllers*), cujos tempos semafóricos foram configurados conforme os tempos coletados em campo mostrados na Tabela 3; decisões desejáveis de velocidade (*Reduced Speed Decisions*) para todos os trechos da rede, que determinam com qual velocidade os veículos vão percorrer cada trecho da rede; áreas com velocidade reduzida (*Reduced Speed Areas*) para todas as curvas e locais onde os veículos devem reduzir a velocidade, como nas rotatórias e portarias; áreas de conflito (*Conflict Areas*) onde há possibilidade de colisão entre veículos; regras de prioridade (*Priority Rules*) onde há entroncamentos, principalmente nas rotatórias; sinais de parada (*Stop Signs*) nas portarias onde os veículos de visitantes entram, onde eles ficam parados por alguns segundos até que alguém cadastre a placa do veículo no sistema; e finalmente, um ponto de ônibus (*Public Transport Stop*) em frente à Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes. A Figura 10 apresenta esses condicionantes e a Figura 11 detalhes em uma rotatória.

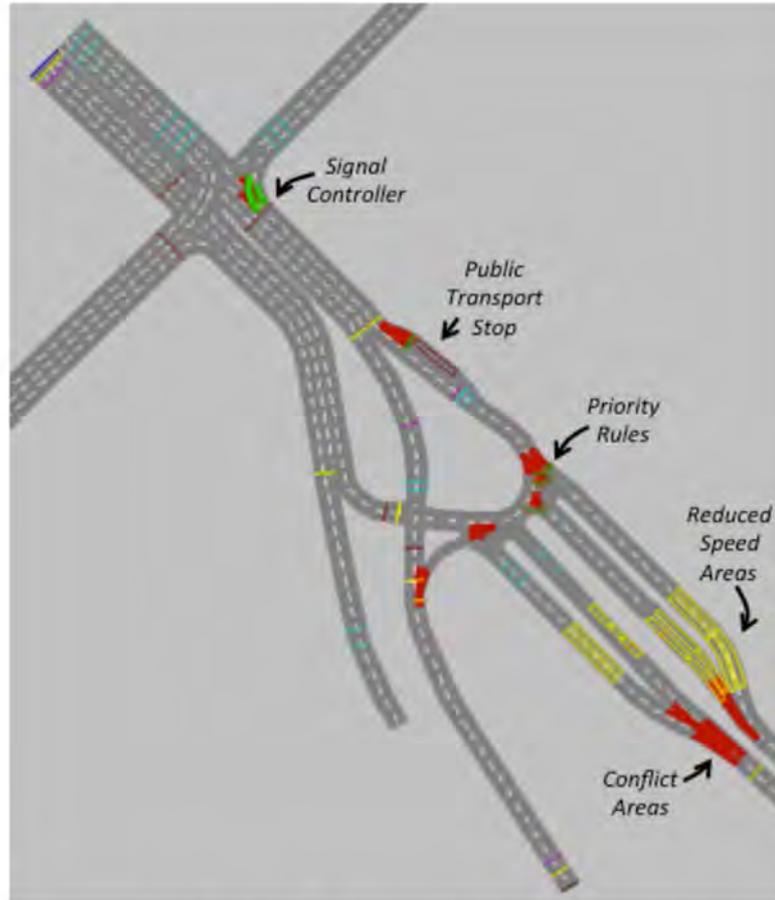


Figura 10 – Portaria principal com detalhe dos *Reduced Speed Areas*, *Conflict Areas*, *Priority Rules*, *Public Transport Stop* e *Signal Controllers*



Figura 11 – Rotatória com detalhes dos *Reduced Speed Areas*, *Conflicts Areas* e *Priority Rules*

Em seguida, procedeu-se à adição do volume de tráfego. Para isso, foram criados 25 *inputs* na rede, cada um representando algum instituto ou conjunto de locais próximos. A Figura 12 mostra a localização de cada *input* de volume de tráfego, para o Modelo Base. Cada um desses *inputs* insere veículos na rede de forma aleatória, em intervalos de tempos discretos, de 5 em 5 minutos, conforme as curvas coletadas de volume de tráfego (Figura 5) para o período de pico da tarde. Cada veículo, ao ser inserido na rede, entra em uma rota que o leva até a portaria principal, onde todos os veículos provenientes dos *inputs* se encontram.

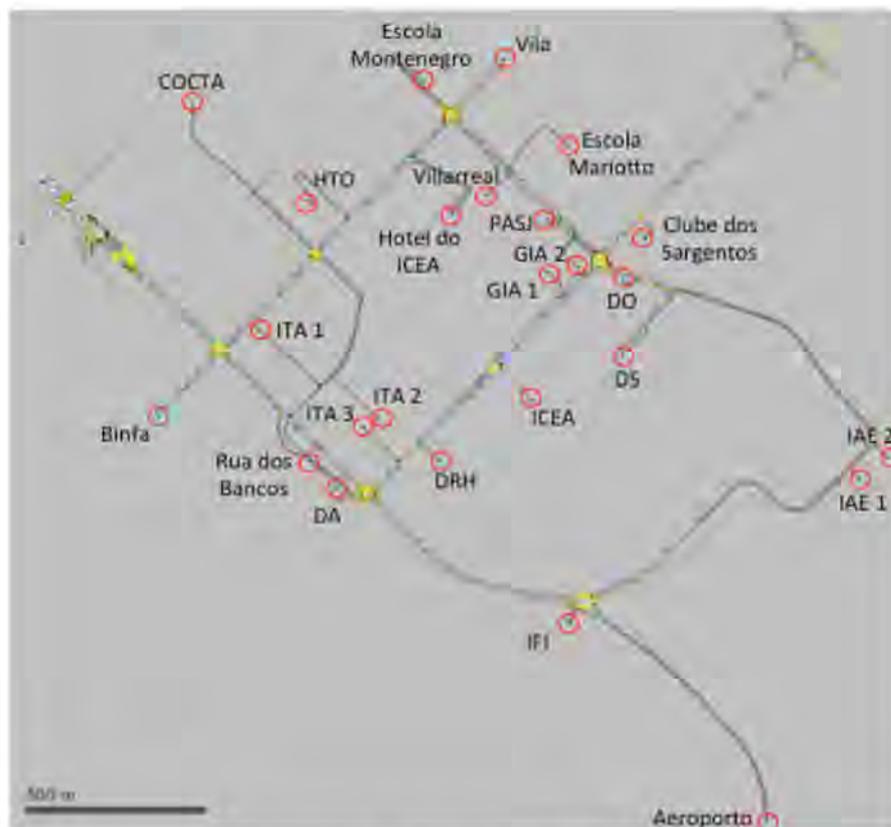


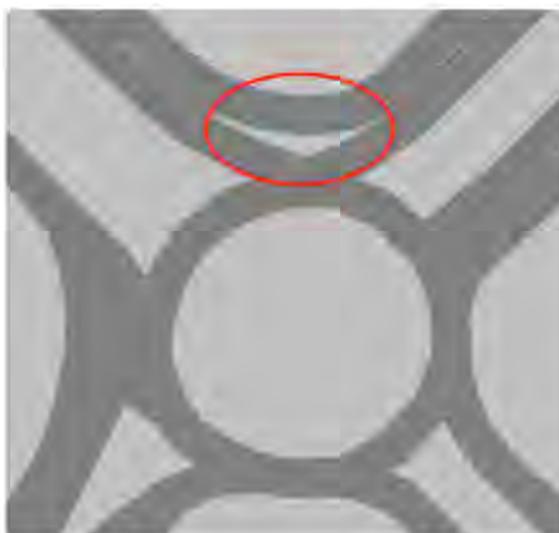
Figura 12 – *Inputs* do Modelo Base

Para as regras de comportamento de viajantes (*car-following*, *lane-changing* e *gap-acceptance*), foram mantidas as configurações padrão.

### 3.4 Verificação de Erros

Nesta etapa procurou-se eliminar todos os erros do modelo, como por exemplo a ausência de *Conflict Areas*, o que faz com que os veículos passem uns por cima dos outros.

Além da verificação de erros relativos a todos os parâmetros mostrados na etapa de Desenvolvimento do Modelo Base, verificou-se, também, erros visuais do modelo, como ilustrado na Figura 13.



**Figura 13 – Tipo de erro visual no modelo**

### **3.5 Calibração do Modelo**

A principal calibração considerada para o Modelo Base foi feita da seguinte maneira: mudanças nos *inputs*, ajustes e adequações foram feitas na rede a cada simulação rodada, com o objetivo de que o número de veículos saindo pela portaria principal se aproximasse o máximo possível do número de veículos contados em campo, que efetivamente saem pela portaria principal (1339 veículos na hora-pico). Conseguiu-se, através de inúmeras tentativas, que o número médio de veículos que saem pela portaria chegasse a 1157, uma diferença de 182 veículos.

### **3.6 Análise de Alternativas**

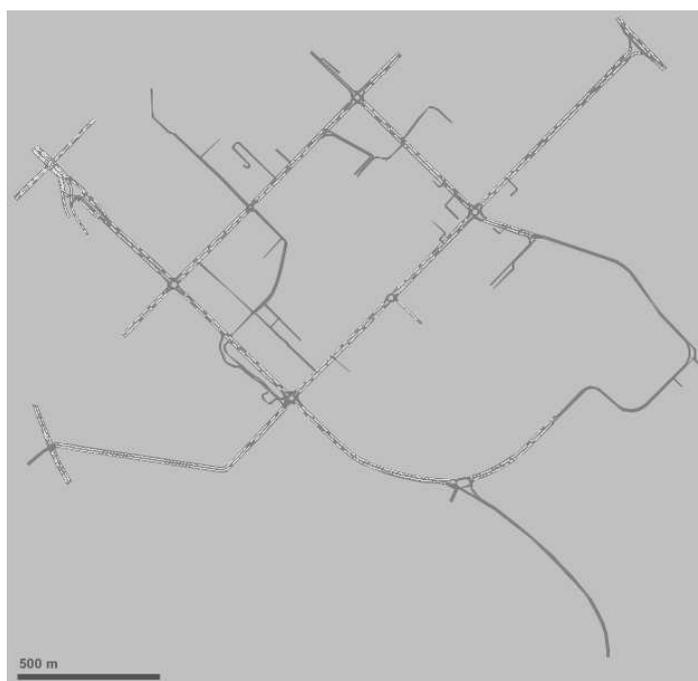
Considerou-se como alternativas ao Modelo Base, dois outros modelos: um Modelo Futuro, que é um modelo de microsimulação correspondente ao cenário futuro com a expansão do ITA (duplicou-se o volume de tráfego relativo ao ITA); e um Modelo Proposto, correspondente ao cenário futuro com uma proposta de um novo trevo de acesso.

### 3.6.1 Modelo Futuro

Para o Modelo Futuro utilizou-se a mesma rede geométrica (diagrama *link/node* da Figura 9) do Modelo Base, mas com o adicional de outros 3 novos *inputs*: um relativo à duplicação do volume do ITA (“ITA 4”), um relativo ao novo CPOR (“CPOR 2”) e um relativo ao novo H8 (“H8 2”). Para os *inputs* “CPOR 2” e “H8 2”, assumiu-se que esses novos volumes seriam iguais aos volumes dos *inputs* “CPOR” e “H8” anteriores. Esses novos *inputs* podem ser observados na Figura 15.

### 3.6.2 Modelo Proposto

Para o modelos proposto, o diagrama *link/node* utilizado é o da Figura 14, com o acesso para a Rua Dinamarca, início da Rodovia dos Tamoios.



**Figura 14 – Diagrama *link/node* do Modelo Proposto**

O desenvolvimento desse Modelo, assim como o Modelo Futuro, foi o mesmo desenvolvimento discutido na seção 3.3, para o Modelo Base.

Os *inputs* desse Modelo são mostrado na Figura 15.

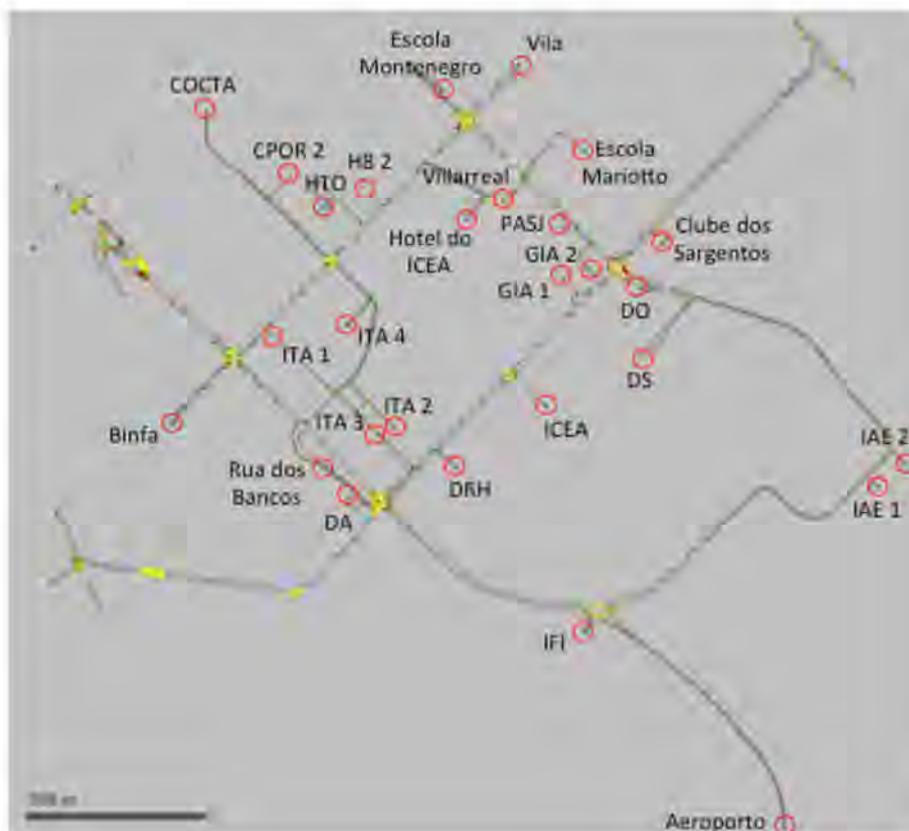


Figura 15 – Inputs do Modelo Proposto

### 3.7 Validação

Fez-se basicamente dois tipos de validação neste trabalho. Uma validação numérica, comparando-se o número de veículos que saem pela portaria principal, verificado em campo (1339 veículos), com o mesmo número resultado da simulação (1128 veículos, em média), ou seja, houve um desvio de -15,8% com relação ao número verificado em campo. Uma explicação para esse desvio está no modo como a rede foi modelada, onde cada *input* de volume de tráfego foi inserido conforme a curva de contagem do período de pico da tarde, e sabe-se que isso pode não ser necessariamente verdade, já que apenas a portaria se comporta assim. O ideal a ser feito seria defasar cada curva de *input* conforme a distância de cada instituto à portaria principal. Assim, os veículos do pico da curva chegariam todos ao mesmo tempo na portaria, representando melhor a curva obtida das contagens e aumentando o número de veículos que saem pela portaria. Porém, para efeito de simplificação na inserção desses *inputs*, assumiu-se como aceitável essa diferença de -15,8%.

É importante perceber a diferença entre a validação e a calibração do modelo: enquanto a validação é apenas uma verificação entre os dois números, estabelecendo uma diferença

percentual, a calibração é o processo pelo qual se busca o máximo de aproximação entre os números, através de adequação da rede e mudança de parâmetros.

### 3.8 Resultados Técnicos

#### 3.8.1 Indicadores de desempenho da rede

Os indicadores de desempenhos escolhidos para serem gerados como *outputs* foram os indicadores relativos aos dados gerais da rede (*Network Performance*) e os indicadores relativos aos dados de tempos de viagem (*Vehicle Travel Times*). Para ambos os tipos, coletou-se os dados durante 1 hora, a partir de 900 s de simulação até 4500 s de simulação. A simulação foi rodada 5 vezes em cada cenário. Foram gerados, também, para cada indicador de desempenho, a média entre as 5 simulações, o desvio padrão, o valor mínimo e o valor máximo. A Figura 16 mostra os tipos de dados de saída gerados pelo VISSIM.

	Collect data	From time	To time	Interval	
Area measurements	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Areas & ramps	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	More...
Data collections	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Delays	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Links	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	More...
Network performance	<input checked="" type="checkbox"/>	900	4500	3600	
Nodes	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	More...
Pedestrian travel times	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Queue counters	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	More...
Vehicle travel times	<input checked="" type="checkbox"/>	900	4500	3600	More...

Figura 16 – Dados de saída gerados pelo VISSIM

Os indicadores de *Network Performance* gerados são:

- DELAYAVG (s): tempo médio de atraso dos veículos da rede;
- STOPS AVG: número médio absoluto de paradas dos veículos da rede;
- SPEEDAVG (km/h): velocidade média dos veículos da rede;

- DELAYSTOPAVG (s): tempo médio de atraso, em paradas, dos veículos da rede;
- DISTTOT (km): distância total média percorrida pelos veículos da rede;
- TRAVTMTOT (s): tempo total de viagem dos veículos da rede;
- DELAYTOT (s): tempo total de atraso dos veículos da rede;
- STOPSTOT: número de paradas totais dos veículos da rede;
- DELAYSTOPTOT (s): tempo total de atraso, em paradas, dos veículos da rede;
- VEHACT: número total de veículos presentes na rede ao final da simulação;
- VEHARR: número total de veículos que completaram suas rotas;
- DELAYLATENT (s): tempo total de espera dos veículos que não conseguiram entrar na rede;
- DEMANDLATENT: número de veículos que não conseguiram entrar na rede (devido a alguma obstrução ou congestionamento).

Os Apêndices 3, 4 e 5 mostram os resultados de *Network Performance* para os Modelos Base, Futuro e Proposto, respectivamente.

Os indicadores de *Vehicle Travel Time* gerados são:

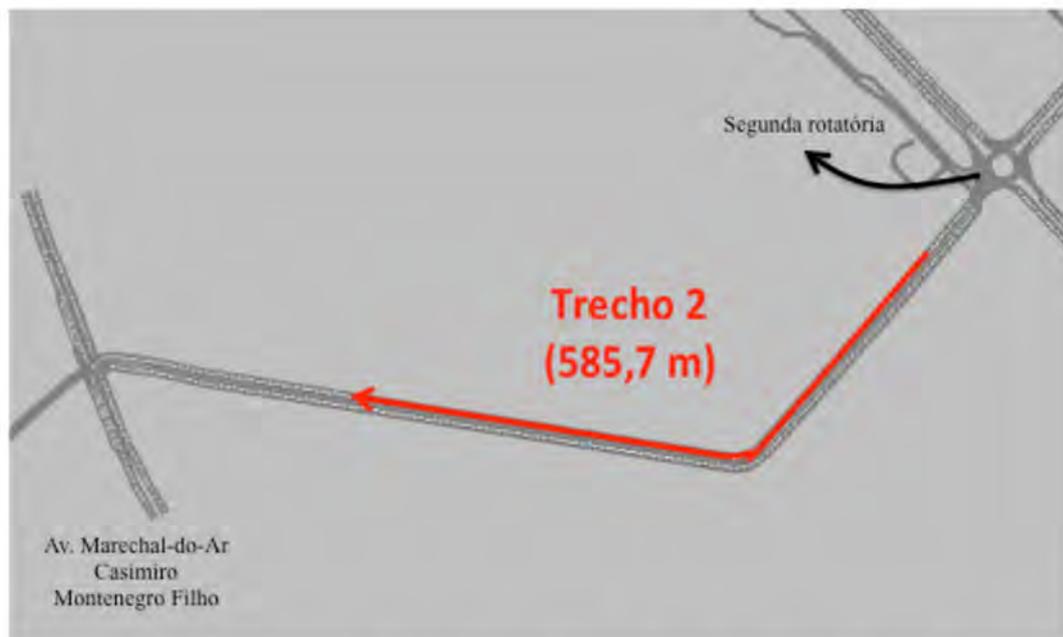
- VEHS: número de veículos que passaram pelo trecho definido;
- TRAVTM (s): tempo médio que os veículos gastaram para percorrer o trecho definido.

A seguir, na Figura 17 é mostrado o Trecho 1, onde foram coletados os dados de *Vehicle Travel Time* nos Modelos Base e Futuro.



**Figura 17 – Trecho 1, definido para coleta de dados de *Vehicle Travel Time* (Fonte: GOOGLE, 2014)**

Adicionalmente, para o Modelo Proposto, com o intuito de se verificar o número total de veículos que saem do DCTA, também foram coletados dados em outro trecho: o Trecho 2, mostrado na Figura 18.



**Figura 18 – Trecho 2, definido para coleta de dados de *Vehicle Travel Time***

A seguir, nas Tabelas 4, 5 e 6 são mostrados os resultados de *Vehicle Travel Time* para cada um dos modelos.

Tabela 4 – *Vehicle Travel Time* – Modelo Base

	VEHS	TRAVTM (s)
<b>Simulação 1</b>	1157	122.97
<b>Simulação 2</b>	1105	135.99
<b>Simulação 3</b>	1124	134.47
<b>Simulação 4</b>	1123	125.56
<b>Simulação 5</b>	1129	129.10
<b>Média</b>	1128	129.62
<b>Desvio Padrão</b>	19	5.59
<b>Mínimo</b>	1105	122.97
<b>Máximo</b>	1157	135.99

Tabela 5 – *Vehicle Travel Time* – Modelo Futuro

	VEHS	TRAVTM (s)
<b>Simulação 1</b>	1144	138.38
<b>Simulação 2</b>	1104	148.22
<b>Simulação 3</b>	1127	147.40
<b>Simulação 4</b>	1141	141.35
<b>Simulação 5</b>	1113	143.64
<b>Média</b>	1126	143.80
<b>Desvio Padrão</b>	17	4.12
<b>Mínimo</b>	1104	138.38
<b>Máximo</b>	1144	148.22

Tabela 6 – *Vehicle Travel Time* – Modelo Proposto

	Trecho	VEHS	TRAVTM (s)
<b>Simulação 1</b>	1	940	37.97
	2	627	38.13
<b>Simulação 2</b>	1	943	36.19
	2	615	38.08
<b>Simulação 3</b>	1	971	31.41
	2	603	38.16
<b>Simulação 4</b>	1	945	30.42
	2	597	38.08
<b>Simulação 5</b>	1	920	28.72
	2	619	38.11
<b>Média</b>	1	944	32.94
	2	612	38.11
<b>Desvio Padrão</b>	1	18	3.95
	2	12	0.03
<b>Mínimo</b>	1	920	28.72
	2	597	38.08
<b>Máximo</b>	1	971	37.97
	2	627	38.16

### 3.8.2 Comparativos entre os indicadores de desempenho

Com a finalidade de fazer comparações entre os cenários, foram geradas tabelas comparativas com valores absolutos e aumentos/diminuições percentuais, de alguns indicadores de desempenho da rede. Os indicadores escolhidos para as análises comparativas foram: DELAYAVG (tempo de atraso médio, em minutos), STOPS AVG (número médio de paradas), SPEEDAVG (velocidade média, em km/h) e VEHARR (número de veículos que completaram as suas rotas). Apenas esses quatro indicadores foram escolhidos para efeito de comparação, pois são os que melhor representam a fluidez do tráfego e possuem unidades mais usuais no dia-a-dia (minutos e km/h). A Tabela 7 mostra os valores comparativos para os Modelos Base e Futuro.

**Tabela 7 – Comparativos de indicadores de desempenho entre o Modelo Base e o Modelo Futuro**

	<b>Modelo Base</b>	<b>Modelo Futuro</b>	<b>Diferença percentual</b>
<b>DELAYAVG (min)</b>	3,93	6,58	67,6%
<b>STOPS AVG</b>	7,75	12,18	57,2%
<b>SPEEDAVG (km/h)</b>	12,17	7,93	-34,8%
<b>VEHARR</b>	2693	2702	0,3%

Nota-se, através da tabela acima, um aumento do tempo de atraso médio em 67,6%, aumento do número médio de paradas em 57,2% e diminuição da velocidade média em 34,8%. Contudo, praticamente não há diferença entre o número de veículos que completaram suas rotas nos dois modelos. Isso quer dizer que não houve diminuição no número de veículos que deixaram o DCTA. Ou seja, mesmo aumentando a taxa média de saída de veículos dos institutos, o número de veículos que efetivamente saíram pelas portarias permanece o mesmo. Este último resultado também pôde ser verificado nos resultados de contadores de *Vehicle Travel Time*, em que se observou que o número de veículos que passaram pelo contador foi de 1128 veículos no Modelo Base e de 1126 veículos no Modelo Futuro.

A seguir, na Tabela 8 são mostrados os valores comparativos para os Modelos Futuro e Proposto.

Tabela 8 – Comparativos de indicadores de desempenho entre o Modelo Futuro e o Modelo Proposto

	Modelo Futuro	Modelo Proposto	Diferença percentual
<b>DELAYAVG (min)</b>	6,58	0,87	-86,7%
<b>STOPSAVG</b>	12,18	1,96	-83,9%
<b>SPEEDAVG (km/h)</b>	7,93	24,91	214,1%
<b>VEHARR</b>	2702	3989	47,6%

Nota-se, através da Tabela 8 uma diminuição do tempo de atraso médio em 86,7%, diminuição do número médio de paradas em 83,9%, aumento da velocidade média em 214,1% e aumento do número de veículos que completaram duas rotas em 47,6%.

### 3.8.3 Diagramas de cores com velocidades médias por trecho

Um dos resultados técnicos mais palpáveis e representativos do nível de serviço é a velocidade média dos veículos, uma vez que esse parâmetro representa bem a fluidez do tráfego. Sendo assim, foram geradas figuras com esquemas de cores representativas da velocidade média, para cada *link* da rede. A legenda de cores encontra-se na Figura 19, onde cada cor representa um intervalo de velocidade média.

LowerBound	UpperBound	Color
MIN	10,000	(255, 0, 0, 0)
10,000	20,000	(255, 255, 0, 0)
20,000	30,000	(255, 255, 128, 0)
30,000	40,000	(255, 255, 198, 0)
40,000	50,000	(255, 255, 255, 0)
50,000	60,000	(255, 198, 255, 0)
60,000	80,000	(255, 128, 255, 0)
80,000	100,000	(255, 0, 255, 0)
100,000	120,000	(255, 0, 187, 0)
120,000	200,000	(255, 0, 128, 0)
200,000	MAX	(0, 0, 0, 0)

Figura 19 – Legenda de cores das velocidades médias (em km/h)

Na Figura 20 encontra-se a representação gráfica das velocidades médias para o cenário base. Na Figura 21 encontra-se a mesma representação para o cenário futuro. E na Figura 22, para o cenário futuro com a proposta. Nota-se que a quantidade de *links* com coloração preta (velocidade média abaixo de 10 km/h) aumenta no segundo cenário, representando uma piora

do nível de serviço, e nota-se também que a os *links* com coloração preta não aparecem muito no terceiro cenário, representando uma melhora do nível de serviço.



**Figura 20 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário base**



**Figura 21 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário futuro**



**Figura 22 – Esquema de cores das velocidades médias para o cenário futuro com a proposta**

### 3.8.4 Vídeos 3D comparativos

Com o software VISSIM, além de arquivos com dados técnicos que podem ser gerados, é possível a criação de vídeos em 3D da modelagem realizada, em câmera aérea e com transição entre as câmeras. Desse modo, foram gerados três vídeos, relativamente a cada cenário. Para efeito de ilustração, editou-se dois vídeos, um comparando os vídeos 3D do Modelo Base e do Modelo Futuro (Figura 23) e outro comparando os vídeos 3D do Modelo Futuro e do Modelo Proposto (Figura 24).

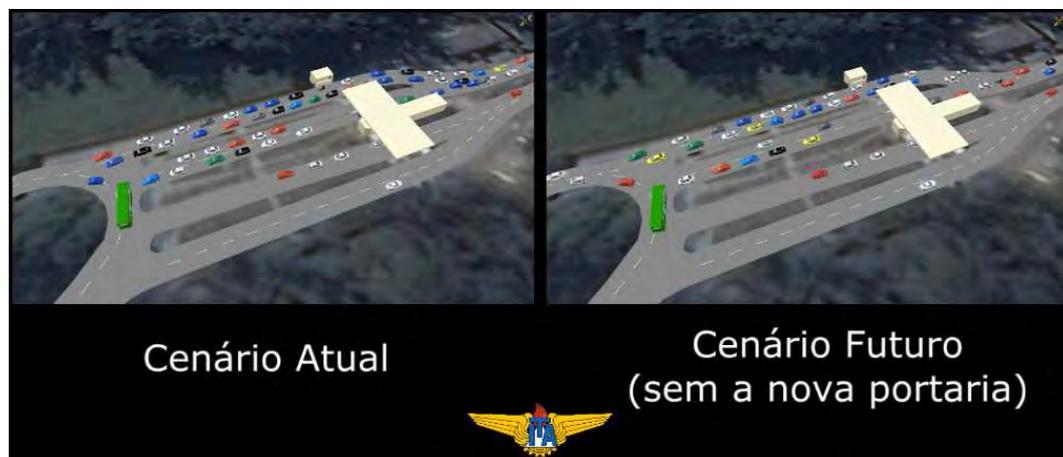


Figura 23 – Vídeo 3D comparativo entre os Modelos Base e Futuro

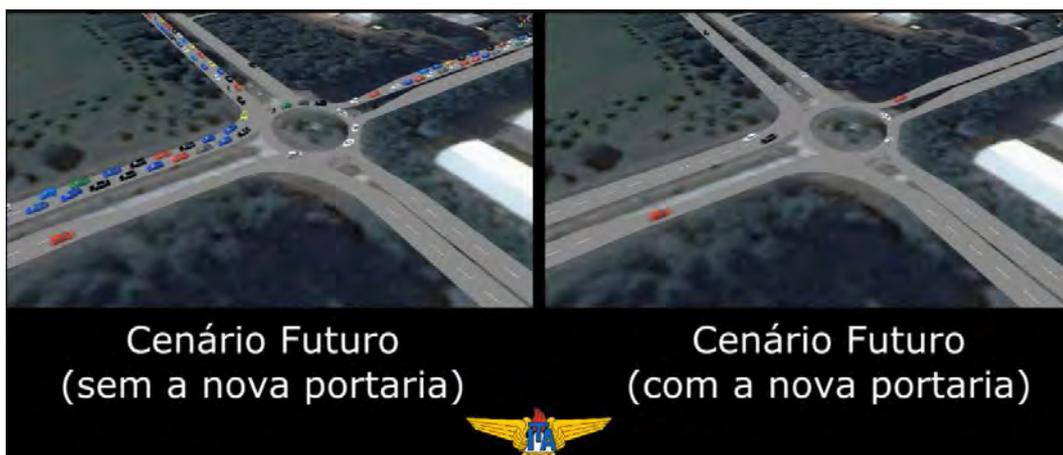


Figura 24 – Vídeo 3D comparativo entre os Modelos Futuro e Proposto

## 4 Conclusões

Foi criado um Modelo Base de microsimulação que conseguiu representar com bastante fidelidade a realidade atual do viário do DCTA. Um Modelo Futuro foi criado, considerando que o impacto da expansão do ITA corresponderia à duplicação do volume de veículos relativo ao ITA. A partir daí, alternativas puderam ser testadas e melhorias propostas. Foi criado, então, um Modelo Proposto, com uma via pavimentada que dá acesso à Avenida Marechal-do-Ar Casimiro Montenegro Filho. O modelo gerou indicadores de desempenho que representaram bem o nível de serviço do viário, e assim, comparações entre os cenários puderam ser feitas.

Os resultados comparativos finais demonstraram que houve piora entre o Modelo Base e o Modelo Futuro (diminuição de 34,8% na velocidade média de saída do DCTA) e melhora entre o Modelo Futuro e o Modelo Proposto (aumento de 214,1% na velocidade média de evacuação do DCTA).

## 5 Recomendações

Como recomendações para futuros trabalhos, sugere-se que sejam feitos estudos para o período de pico da manhã, já que todas as simulações deste trabalho são relativas ao período de pico da tarde, período em que os efeitos no viário são mais relevantes no interior do DCTA, enquanto que no período de pico da manhã esses impactos são maiores no exterior do DCTA. Para o esse estudo é recomendável que seja feita uma nova contagem volumétrica considerando um intervalo maior de tempo no período da manhã. Se possível, fazer mais de uma contagem em dias diferentes da semana, com o intuito de investigar a sazonalidade semanal do volume de tráfego.

Recomenda-se, para futuras pesquisas Origem-Destino, que o formulário (folheto do Apêndice 1) seja revisto e reformulado. Notou-se, após o processamento dos dados, que este formulário possui perguntas ambíguas, já que foram recebidas respostas do tipo “Bairro” apenas, para a pergunta “Qual o seu destino quando SAI do DCTA?” e respostas do tipo “Local de Trabalho” apenas, para a perguntas “Qual o seu destino quando ENTRA no DCTA?”. Esses tipos de respostas não possuem significado para o tipo de modelagem que foi feito nesse trabalho, portanto tiveram que ser descartadas. Recomenda-se, também, para o folheto, que seja colocado um campo para sugestões dos entrevistados.

Recomenda-se, também, que sejam feitos outros tipos de análises das propostas aqui recomendadas, como uma análise de viabilidade financeira.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, Eduardo Araújo de. **Validação do modelo mesoscópico de tráfego do SCOOT para o desenvolvimento de redes viárias urbanas microssimuladas**. 2013. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CUNTO, Flávio José Craveiro; LOUREIRO, Carlos Felipe Grangeiro. O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. **Transportes**, v.19, n. 3, p. 5-11, nov. 2011.
- GOOGLE. **Google Maps**. Dados do mapa © 2014. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- HELLINGA, Bruce R. **Requirements for the calibration of traffic simulation models**. Waterloo: University of Waterloo, 1998. Disponível em: <[www.its.uci.edu/~lchu/cee298/references/universityofwaterloo-calibration.pdf](http://www.its.uci.edu/~lchu/cee298/references/universityofwaterloo-calibration.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2014.
- MAIA, Felipe Viana Bezerra. **Calibração e validação de modelos de meso e microssimulação do tráfego para a avaliação de intervenções tático-operacionais na malha viária urbana**. 2007. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MEDEIROS, André Luis. **Aplicabilidade de algoritmos genéticos para calibração de redes viárias urbanas microssimuladas**. 2012. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- PEREIRA, Chico. Com investimento de R\$ 300 milhões até 2019, ITA inicia seu grande salto para o futuro. **O VALE**, São José dos Campos, 13 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.ovale.com.br/com-investimento-de-r-300-milh-es-ate-2019-ita-inicia-seu-grande-salto-para-o-futuro-1.544179>>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- PORTUGAL, Lucinio da Silva. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. 198f. apud MAIA, Felipe Viana Bezerra. **Calibração e validação de modelos de meso e microssimulação do tráfego para a avaliação de intervenções tático-operacionais na malha viária urbana**. 2007. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- PLANUNG TRANSPORT VERKEHR. **Vissim 5.30-05 User Manual**. Karlsruhe, 2011. 680p.
- RAKHA, H. et al. W. Systematic verification, validation and calibration of traffic simulation models. In: Annual Meeting of the TRB, 75., 1996, Washington, DC. **Proceedings...** Kingston: Queen's University, 1996.

RUSSO, Christopher S.. **The calibration and verification of simulation models for toll plazas**. 2007. 132f. Thesis (Master of Science) – Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida, Orlando, Florida, EUA.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **HCM. Highway Capacity Manual**. Washington, DC, EUA, 2000.

United States. Federal Highway Administration. **Operation benefits/Cost analysis desk reference, Chapter 5**. Washington, DC: 2012. Disponível em: <<http://www.ops.fhwa.dot.gov/>>. Acesso em: 03/11/2014.

United States. Federal Highway Administration. **Traffic analysis toolbox volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software**. 2004. McLean, 2004. 146p.

VILARINHO, Cristina Alexandra Teixeira. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas**. 2008. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, Portugal, 2008.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 – Folheto entregue na Pesquisa Origem/Destino

#### PESQUISA ORIGEM/DESTINO

Prezado motorista do DCTA,

Com o intuito de propor melhorias no tráfego interno do DCTA, o ITA está realizando esta Pesquisa Origem/Destino para entender o comportamento do fluxo de veículos que utilizam as portarias.

É muito importante que responda às perguntas abaixo conforme sua rotina diária. **NÃO PRECISA SE IDENTIFICAR.**

Qual o seu destino quando ENTRA no DCTA (local de trabalho/instituto/residência)?

---

Qual o seu destino quando SAI do DCTA (bairro ou cidade vizinha)?

---

Quantas vezes por semana você realiza este trajeto?

---

E-mail para contato: [filipi88ita@gmail.com](mailto:filipi88ita@gmail.com)

**FAVOR DEVOLVER PREENCHIDO NA PORTARIA ONDE FOI ENTREGUE**

## Apêndice 2 – Todas as Sugestões dadas pelos entrevistados da pesquisa

1. "A melhor solução seria um portão próximo à Vila Nair, pois seria importante para os residentes na Zona Sul, onde residem a maioria dos funcionários do Campus"
2. "Há uma conversa antiga a respeito de se fazer uma portaria na Tamoios, muito provavelmente isso ajudaria muito no trânsito interno do DCTA."
3. "Já sugerimos uma saída igual a Brejauveira, mas para a Tamoios (somente para portadores de crachá); eu acho que isto aliviaria bem o transito na saída do DCTA."
4. "Minha sugestão: abrir uma saída/entrada para a Tamoios"
5. "Opção de abertura pelo menos do início do expediente e término do expediente uma portaria na caixa d'água para acesso ao pessoal da Zona Sul e adjacências. Grata"
6. "Por que não fazer portão (portaria) da caixa D/A Suo. Hoje muitos funcionários moram na Zona Sul"
7. "Portaria nova para DCTA saindo pela rodovia dos Tamoios URGENTE. Atende Zona Sul, Jacareí, Santa Branca, Caraguatatuba, São Paulo, etc"
8. "Precisa de mais uma portaria no DCTA saindo pela porta do ETA -> Rodovia dos Tamoios. URGENTE: Tem muito soldado na portaria, dá pra fazer isso tranquilo"
9. "Recomendo Abertura Portão Tamoios" e "Abertura do Portão da Tamoios com acesso direto ao 2º balão dos institutos"
10. "Tem muitos servidores que moram na Zona Sul, Aquarius, Urbanova, Putim e até Paraibuna. Gostaria de propor um estudo entre o DCTA e o Poder Público de São José dos Campos sobre a viabilidade de construir uma portaria de acesso a Tamoios. No fim da rua da Caixa Econômica já existe um portão e em frente a este portão na Tamoios já tem um Semáforo e consequentemente dá acesso à Rua Talim que vai até a Av. Mário Covas. Talvez por questão de falta de militares para trabalhar nesta portaria, a mesma poderia funcionar só nos horários de picos, ou seja, das 07:00 as 09:00 e das 16:00 as 18:00. Grato pela atenção"

11. "Se possível melhorar a saída no horário de pico. Deveriam fazer uma portaria para a saída da Tamoios. Para melhorar a saída da portaria principal (Dutra)."
12. "Sugestão: colocar uma nova portaria saindo no bairro São Bento, vai melhorar para fluir o trânsito dos moradores do Satélite, Bosque dos Eucaliptos, São Judas, Rodovia dos Tamoios, Caçapava, Taubaté (podem pegar a rodovia Carvalho Pinto), Vila Nair, Shopping Vale Sul, São Bento, etc. Assim, reduz muito o fluxo de veículos na portaria principal. Grata. R. 4868"
13. "Sugestão: Saída para Tamoios"
14. "Sugestões: 1) Um portão de entrada/saída no sentido da Rodovia dos Tamoios para facilitar o acesso de militares/servidores que moram na Zona Sul de SJC. 2) Disponibilizar um ônibus COMAER que circule no campus nos horários de pico, transportando militares/servidores/moradores com crachá. (7 h - 11h30 - 13h - 16h30)"
15. "Sugiro que faça uma portaria com saída para a rodovia Tamoios, acredito que com isso sanaria o transtorno de trânsito na portaria principal na hora da entrada e na saída dos expedientes"
16. "Precisamos de mais uma portaria ou horário diferenciado dos institutos na hora da saída"
17. "Você está querendo encontrar uma solução para o trânsito no DCTA ?? É só fazer mais uma portaria para a saída dos funcionários em um lugar estratégico. Se quiser podemos conversar para maiores detalhes. Isso ainda aliviaria o trânsito na rotatória em frente à portaria."
18. "Entra pelo portão da Brejauveira. Gostaria na saída os dois portões abertos. OK"
19. "O maior problema do CTA não é fila (trânsito) em alguns horários, mas a falta de educação e excesso de velocidade, inclusive de alguns moradores (residentes) e dos ônibus urbanos (que trafegam à noite). Pessoalmente, quando ando no CTA (à noite) tomo mais cuidado com as barbeiragens dos ônibus que correm demais. Veículos de entrega e terceirizados, nem se fala"
20. "Sei que não é o objetivo da pesquisa, mas aproveito o ensejo para uma triste constatação, ou seja, quando é que alguém aqui do DCTA irá utilizar o rigor da lei sobre os motoristas e motoqueiros que desobedecem os sinais de velocidade, ou melhor, os limites de velocidade"

nas vias aqui do DCTA, digo isso porque coisas horríveis poderá acontecer caso uma providência não seja tomada. Muito obrigada"

21. "Sugestão: Escalonar os horários de entrada dos institutos"
22. "Utilizar informação para abrir outra portaria e aliviar o tráfego nas horas pico. O ideal seria que fosse feita uma observação do trânsito na saída (5-6 horas) ou entrada (8 horas) para que se tomem decisões quanto a novas saídas ou bem horários flexíveis"
23. "Parabéns pela iniciativa. Gostaria de saber se não é possível iniciar um projeto para se pavimentar uma via para o fluxo de saída do portão principal, que se iniciaria no primeiro balão depois do portão principal, passaria em frente à seção mobilizadora (smob), seguiria fazendo curva para a direita, passando onde está o Tucano que enfeita a entrada do portão principal e desembocaria no acesso à Dutra sentido Rio de Janeiro. Grande parte do fluxo vai para este sentido e não precisaria passar pelo portão principal, e sim por um portão secundário que ficaria aberto no momento de pico. Obrigado."
24. "Uma sugestão para seu trabalho seria a Administração estabelecer jornadas de trabalho em horários diferenciados, por exemplo:
  - uma turma entraria às 7h e sairia às 16h
  - uma turma entraria às 8h e sairia às 17h
  - uma turma entraria às 9h e sairia às 18hCom isso, a quantidade de veículos trafegando na entrada e na saída seria diluída. Mas é só uma sugestão."

### Apêndice 3 – *Network Performance* – Modelo Base

**Tabela 9 – *Network Performance* – Modelo Base – Parte 1**

	<b>DELAYAVG (s)</b>	<b>STOPSAVG</b>	<b>SPEEDAVG (km/h)</b>	<b>DELAYSTOPAVG (s)</b>	<b>DISTTOT</b>
<b>Simulação 1</b>	240.02	7.65	12.13	108.36	36
<b>Simulação 2</b>	248.98	8.29	11.63	110.88	35
<b>Simulação 3</b>	241.32	8.09	11.96	104.12	35
<b>Simulação 4</b>	219.75	7.14	12.74	89.49	35
<b>Simulação 5</b>	227.90	7.60	12.39	93.70	35
<b>Média</b>	235.59	7.75	12.17	101.31	35
<b>Desvio Padrão</b>	11.64	0.45	0.42	9.31	
<b>Mínimo</b>	219.75	7.14	11.63	89.49	35
<b>Máximo</b>	248.98	8.29	12.74	110.88	36

**Tabela 10 – *Network Performance* – Modelo Base – Parte 2**

	<b>DELAYTOT (s)</b>	<b>STOPSTOT</b>	<b>DELAYSTOPTOT (s)</b>	<b>VEHACT</b>	<b>VEHARR</b>	<b>DELAYLATEN</b>
<b>Simulação 1</b>	726765.72	23156	328125.84	303	2725	
<b>Simulação 2</b>	751174.64	25021	334535.91	328	2689	
<b>Simulação 3</b>	720105.58	24126	310680.76	316	2668	
<b>Simulação 4</b>	659691.27	21423	268647.93	317	2685	
<b>Simulação 5</b>	683941.56	22799	281190.63	301	2700	
<b>Média</b>	708335.75	23305	304636.21	313	2693	
<b>Desvio Padrão</b>	36313.65	1364	28840.70	11	21	
<b>Mínimo</b>	659691.27	21423	268647.93	301	2668	
<b>Máximo</b>	751174.64	25021	334535.91	328	2725	

## Apêndice 4 – *Network Performance* – Modelo Futuro

Tabela 11 – *Network Performance* – Modelo Futuro – Parte 1

	DELAYAVG (s)	STOPSAVG	SPEEDAVG (km/h)	DELAYSTOPAVG (s)	DISTTOT
<b>Simulação 1</b>	400.71	12.68	7.91	203.13	37
<b>Simulação 2</b>	412.24	12.52	7.59	213.99	36
<b>Simulação 3</b>	408.72	12.20	7.70	213.87	36
<b>Simulação 4</b>	380.57	11.99	8.19	187.27	36
<b>Simulação 5</b>	371.98	11.50	8.28	185.99	36
<b>Média</b>	394.84	12.18	7.93	200.85	36
<b>Desvio Padrão</b>	17.72	0.46	0.30	13.71	
<b>Mínimo</b>	371.98	11.50	7.59	185.99	36
<b>Máximo</b>	412.24	12.68	8.28	213.99	37

Tabela 12 – *Network Performance* – Modelo Futuro – Parte 2

	DELAYTOT (s)	STOPSTOT	DELAYSTOPTOT (s)	VEHACT	VEHARR	DELAYLATEM
<b>Simulação 1</b>	1323555.42	41881	670928.61	591	2712	
<b>Simulação 2</b>	1358754.33	41259	705312.11	602	2694	
<b>Simulação 3</b>	1336104.40	39882	699131.59	589	2680	
<b>Simulação 4</b>	1249014.85	39364	614632.95	574	2708	
<b>Simulação 5</b>	1218970.92	37688	609501.69	561	2716	
<b>Média</b>	1297279.98	40015	659901.39	583	2702	
<b>Desvio Padrão</b>	60080.49	1650	45585.37	16	15	
<b>Mínimo</b>	1218970.92	37688	609501.69	561	2680	
<b>Máximo</b>	1358754.33	41881	705312.11	602	2716	

## Apêndice 5 – Network Performance – Modelo Proposto

Tabela 13 – Network Performance – Modelo Proposto – Parte 1

	DELAYAVG (s)	STOPSAVG	SPEEDAVG (km/h)	DELAYSTOPAVG (s)	DISTTOT
<b>Simulação 1</b>	54.73	2.10	24.59	28.16	44
<b>Simulação 2</b>	57.43	2.11	24.05	28.19	43
<b>Simulação 3</b>	51.01	1.89	25.15	26.17	44
<b>Simulação 4</b>	48.44	1.82	25.52	24.43	44
<b>Simulação 5</b>	50.07	1.89	25.25	26.20	44
<b>Média</b>	52.34	1.96	24.91	26.63	44
<b>Desvio Padrão</b>	3.66	0.13	0.59	1.58	
<b>Mínimo</b>	48.44	1.82	24.05	24.43	43
<b>Máximo</b>	57.43	2.11	25.52	28.19	44

Tabela 14 – Network Performance – Modelo Proposto – Parte 2

	DELAYTOT (s)	STOPSTOT	DELAYSTOPTOT (s)	VEHACT	VEHARR	DELAYLATEN
<b>Simulação 1</b>	226576.14	8678	116582.64	124	4016	
<b>Simulação 2</b>	236256.28	8685	115964.00	125	3989	
<b>Simulação 3</b>	208834.51	7723	107119.62	120	3974	
<b>Simulação 4</b>	199387.98	7487	100564.22	134	3982	
<b>Simulação 5</b>	206481.90	7804	108046.18	141	3983	
<b>Média</b>	215507.36	8075	109655.34	129	3989	
<b>Desvio Padrão</b>	15320.38	565	6698.03	9	16	
<b>Mínimo</b>	199387.98	7487	100564.22	120	3974	
<b>Máximo</b>	236256.28	8685	116582.64	141	4016	

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO  TC	2. DATA  21 de novembro de 2014	3. REGISTRO N°  DCTA/ITA/TC-080/2014	4. N° DE PÁGINAS  65
5. TÍTULO E SUBTÍTULO:  Análise do impacto da expansão do ITA no tráfego viário do DCTA utilizando microsimulação e uma proposta para um novo acesso.			
6. AUTOR(ES):  <b>Felipe Moreira Ribeiro</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):  Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:  Engenharia de Tráfego, Microsimulação de Tráfego, Simulação de Tráfego, Tráfego Viário, Campus Universitário, Estudo de Acessibilidade, Transportes.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:  Controle de tráfego; Simulação computadorizada; Engenharia de tráfego; Engenharia civil; Transportes.			
10. APRESENTAÇÃO: <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"><b>X Nacional</b>      <b>Internacional</b></div> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Major Ronaldo Gonçalves de Carvalho; coorientador: Prof. Dr. Anderson Ribeiro Correia. Publicado em 2014.			
11. RESUMO:  Este trabalho faz uma análise, utilizando microsimulação, do impacto no tráfego viário do DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), em função da expansão prevista de ocorrer no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) de 2015 a 2019, período no qual pretende-se duplicar o número de alunos (graduação e pós-graduação), professores e funcionários. A análise foi feita utilizando o microsimulador VISSIM, da PTV. Foram simulados três cenários distintos: um cenário base (tráfego e infraestrutura como são atualmente), um cenário futuro (tráfego relativo ao ITA duplicado e infraestrutura como é atualmente), e, por fim, um cenário futuro com proposta (tráfego relativo ao ITA duplicado e proposta de mudança na infraestrutura). A proposta de mudança na infraestrutura é um novo acesso ao DCTA, através de uma via pavimentada que dá acesso à Avenida Marechal do Ar Casimiro Montenegro Filho. A escolha da localização dessa portaria foi feita a partir dos resultados da pesquisa Origem-Destino, realizada na portaria principal do DCTA, que revelou que 53,3% dos funcionários do DCTA residem em região favorecida, ao sair do DCTA, por essa futura implantação. Os cenários simulados correspondem ao período de pico da tarde, entre as 16:45 e 17:45. Além dos resultados da pesquisa Origem-Destino, foram utilizados dados de contagens volumétricas, realizadas no portão principal. Os resultados obtidos pelas microsimulações (indicadores de desempenho da rede) permitiram comparações entre os níveis de serviço dos cenários. Por exemplo, entre o cenário base e o cenário futuro houve uma piora de 34,8% na velocidade média dos veículos saindo do DCTA (de 12,7 km/h para 7,93 km/h), enquanto que entre o cenário futuro e o cenário proposto houve uma melhoria de 214,1% na velocidade média dos veículos saindo do DCTA (de 7,93 km/h para 24,91 km/h).			
12. GRAU DE SIGILO:  <b>(X) OSTENSIVO</b> ( ) RESERVADO      ( ) CONFIDENCIAL      ( ) SECRETO			