

## **SIMULADORES POTENCIALMENTE INDICADOS PARA ESTUDO DE IMPACTOS DE AEROPORTOS NA QUALIDADE DO AR**

**Patricia Ingrid de Souza Coelho**

**Licínio da Silva Portugal**

**Suzana Kahn Ribeiro**

Programa de Engenharia de Transportes - COPPE/UFRJ

### **RESUMO**

A multiplicação de empreendimentos classificados como PGVs (Pólos Geradores de Viagens) tendem a afetar negativamente o desempenho dos transportes nas cidades brasileiras. Tratar um aeroporto como PGV é levar em conta que a sua demanda veicular pode gerar um esgotamento da oferta do espaço viário e um conseqüente impacto na qualidade do ar em sua área de influência. Como forma de avaliar as potenciais externalidades causadas por este tipo de empreendimento e oferecer subsídios técnicos para maximizar as de natureza positiva e minimizar as negativas, foram criadas ferramentas computacionais que simulam a realidade. Este artigo propõe o uso de simuladores como um instrumento que pode contribuir na avaliação da qualidade do ar impactada pelo tráfego gerado devido à existência do aeroporto. Investigar as ferramentas computacionais mais indicadas poderá ser fundamental no planejamento urbano e ambiental.

### **ABSTRACT**

The multiplication of entrepreneuring classed as TGP (Traffic Generation Poles) could negatively affect the transportation performance in Brazilian cities. To consider an airport as a TGP is to take into account its vehicular demand considering that it produces a lack of road space offers and consequently, an impact in the air quality within its area of influence. Computational tools have been created to simulate the reality in order to evaluate the potential consequences caused by this type of entrepreneuring and also to offer technical subsidies which maximize positive consequences and minimize the negatives ones. This article points at the use of simulators as an instrument that can contribute in the evaluation of the air quality impacted by the traffic generated due to the existence of an airport. Searching computational tools could be the key path for the urban and ambient planning.

### **PALAVRAS CHAVE**

Aeroporto, simuladores, qualidade do ar.

## **1. INTRODUÇÃO**

A partir de 1990 a indústria aeroportuária começou a sentir os efeitos da pressão ambiental (Graham, 2001). Em muitas cidades a busca pela qualidade de vida tornou as pessoas mais sensíveis aos impactos causados ao meio ambiente. Por esta razão, ficou mais difícil para se construir ou expandir um aeroporto e tudo indica que no futuro a dificuldade será maior na medida em que as questões ambientais se tornem mais complexas.

Atualmente, os impactos ambientais são abordados em dois níveis: global (aquecimento global e depleção da camada de ozônio) e local (ruído e qualidade do ar) (Graham, 2001). Entretanto, vale destacar que os impactos ambientais aeroportuários podem ser divididos em cinco categorias (Coelho, 2006): ruído (oriundo principalmente das aeronaves e considerado o mais preocupante nos aeroportos), poluição do ar (oriunda do tráfego de acesso e egresso, das

atividades de veículos de apoio em terra, dos sistemas de manipulação e armazenagem de combustíveis, dos testes de motores, da movimentação de aeronaves e da incineração de resíduos sólidos), poluição do solo (causada pela condução da chuva de produtos químicos encontrados nos pátios e pistas dos aeroportos), poluição da água (causada pela erosão e drenagem do solo e, desvio dos cursos dos rios) e problemas ambientais diversos (causados por acidentes aeronáuticos, incidentes ou procedimentos de emergência - despejo de combustível em vôo para tornar possível a aterrissagem com segurança; problemas resultantes da construção ou expansão dos aeroportos e das infra-estruturas associadas - perda de terreno, poluição visual, e outros impactos durante as obras).

Para o desenvolvimento deste artigo, o foco será o impacto na qualidade do ar derivado do tráfego rodoviário considerando o aeroporto como um Pólo Gerador de Viagens (PGV).

Os PGVs são empreendimentos de grande porte, que possuem a capacidade de atrair um número significativo de viagens terrestres, podendo causar impactos negativos na qualidade do ar. Contudo, verifica-se que poucos estudos se desenvolvem focando o aeroporto como PGV e sua conseqüente influência na qualidade do ar da região em que está inserido.

Para se ter idéia da área de abrangência de um sistema aeroportuário, o diretor Mário Yoshinaga (2002), do Núcleo de Estudos Urbanos de Guarulhos, São Paulo, cita que se um aeroporto possuir um fluxo de cerca de doze milhões de passageiros por ano, isto poderá afetar o tráfego rodoviário de uma cidade em um raio de três a cinco quilômetros da sua vizinhança. Dependendo da concentração e do tipo dos poluentes essa dispersão pode alcançar até dez quilômetros quadrados (Rogers et al, 2002). Portanto, um aeroporto possui características de PGV que implica na análise em duas escalas espaciais: uma que compreende a rede viária adjacente (área crítica) e outra que contempla as vias de uma área mais abrangente e que inclui as origens e destinos das viagens produzidas pelo aeroporto (área de influência). Uma opção para analisar os efeitos na rede viária é a utilização de ferramentas computacionais. Estas possuem uma importância considerável entre os planejadores de transporte na busca de melhor representar a realidade facilitando o processo de tomada de decisão (Tolfo, 2006).

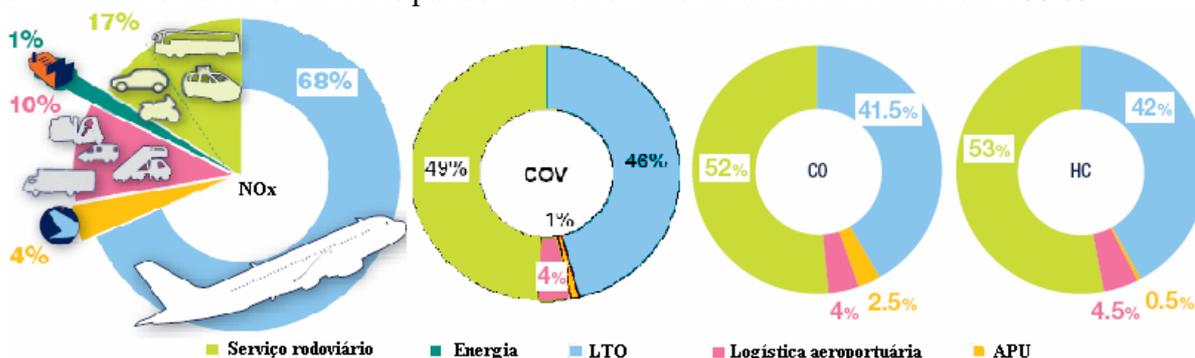
Por isso, o objetivo deste artigo é destacar a importância do uso de ferramentas computacionais (simuladores) e indicar aquelas potencialmente mais aplicáveis para a análise do sistema rodoviário impactado por um aeroporto, particularmente quanto a sua influência na qualidade do ar.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Diversos estudos voltados para a emissão de poluentes atmosféricos consideram somente as aeronaves como uma única fonte do sistema aeroportuário, contudo, passageiros, companhias aéreas tanto no lado terra quanto no lado ar, áreas de manutenção de aeronaves, veículos de apoio, entre outros contribuem para os níveis de poluição do ar em um raio entre quinze e vinte quilômetros do aeroporto. É importante ressaltar que a ocupação do solo também interfere na qualidade do ar uma vez que há necessidade de disponibilizar área para a construção das pistas de pouso/decolagem, terminais, estacionamento, áreas de serviços

diversos e rede de transportes (Whitelegg e Cambridge, 2004). Os aeroportos possuem dois tipos tradicionais de localização: um perto do centro e outro na periferia da metrópole; e quanto maior a demanda do aeroporto, maior será o seu potencial impacto não só aos habitantes, mas também a biodiversidade local.

Para ilustrar a informação supramencionada, a Figura 1 mostra em proporção percentual as principais emissões aeroportuárias ( $\text{NO}_x$  – óxidos de nitrogênio, COV – compostos orgânicos voláteis, CO – monóxido de carbono e HC – hidrocarbonetos) por tipo de atividade. Este levantamento foi feito em Paris para o Relatório Ambiental da Air France em 2004/5.



Fonte: AIRFRANCE, 2005.

Legenda: LTO – Landing and Take Off. De acordo com a ICAO o ciclo é definido em quatro módulos: aterrissagem, taxiamento, decolagem e subida;  
APU – Auxiliary Power Unit. Geradores a bordo da aeronave que fornecem energia elétrica quando os motores do avião estão desligados

Figura 1 – Contribuição das Atividades da Air France

Um estudo mais recente de qualidade do ar local, desenvolvido pelas autoridades da Inglaterra, culminou no AQMS (*Air Quality Management Areas*). Este se baseia nas emissões médias anuais de  $\text{NO}_x$ , principal poluente emitido na aviação. Nas cidades mais industrializadas, especificamente em áreas aeroportuárias, as emissões de  $\text{NO}_x$  que chegaram a 44% são oriundas, em sua maioria, do transporte rodoviário contra 1,2% das aeronaves (Peace et al, 2006).

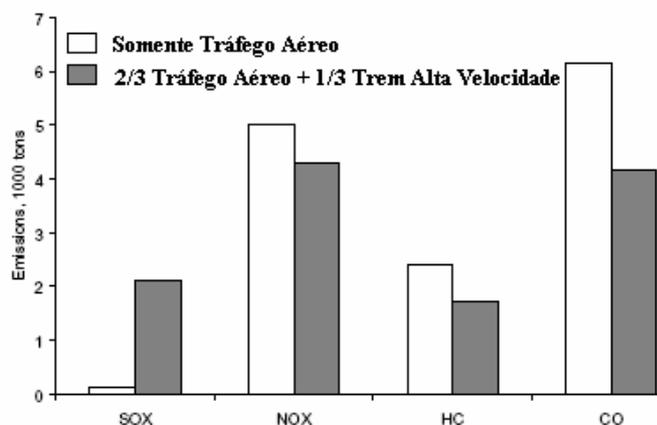
Adicionalmente, o Aeroporto de Manchester desenvolveu um Plano Diretor para 2030 e no tópico Estratégia de Transporte propõe a intermodalidade com o uso de trem, ônibus, metrô, bicicleta e até a pé, como item que irá beneficiar a longo prazo o meio ambiente e a qualidade de vida da população. Em 2003, foi feito um levantamento da aplicação do Plano Diretor entre os funcionários e passageiros deste Aeroporto e o processo de implementação que se iniciou em 1996 se desenvolveu como mostram as Tabelas 1.

Tabela 1 – Divisão Intermodal: Passageiros e Funcionários

	Passageiros (sem transferências)		Funcionários	
	14,5 milhões	19,5 milhões	14.500	16.500
<b>Modal</b>	1996	2003	1996	2003
Táxi	23%	30%	1%	1%
Trem	5%	7%	1%	2%
A pé	-	-	0%	2%
Ônibus cortesia do hotel/agência	-	4%	-	-
Bicicleta	-	-	2%	2%
Motocicleta	-	-	1%	2%
Ônibus	4%	2%	4%	7%
Carro particular/cortesia aeroporto	65%	39%	-	-
Carro alugado	3%	2%	-	-
Carro com passageiro	-	-	6%	4%
Carro (motorista como passageiro)	-	-	2%	8%
Carro (motorista sozinho)	-	-	83%	72%

Fonte: MANCHESTER AIRPORT, 2006.

Como forma de exemplificar os benefícios ambientais de integração entre modais tem-se a pesquisa desenvolvida nos EUA, onde se substituiu parte da viagem feita de avião pelo trem. Neste caso (Figura 2) ocorreu uma redução nas emissões de NO<sub>x</sub> e CO de cerca de 15%, apesar de ter ocorrido um aumento no óxido de enxofre (SO<sub>x</sub>), devido a queima de carvão oriunda do modal ferroviário, fato facilmente contornável utilizando um modal elétrico, por exemplo (JAMIN et al., 2004).



Fonte: JAMIN et al, 2004.

Figura 2 – Diferença entre as Emissões Atmosféricas

De maneira geral a preocupação é alocar melhor os estacionamentos e minimizar os congestionamentos no entorno dos aeroportos e não o impacto ambiental que este acarreta. Contudo, algumas pesquisas fornecem dados interessantes sobre o deslocamento de pessoas para o aeroporto.

- no Aeroporto de Munique (Munich Airport International, 2005), 31% dos passageiros usavam o trem, 53% o carro, 6% ônibus ou carro alugado e 10% táxis.
- o Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre (Goldner e Andrade, 2001) e o Aeroporto Internacional Hercílio Luz de Florianópolis (Goldner e Andrade, 2002) recebem,

respectivamente, cerca de 75% e 60% de viagens em automóveis.

No Brasil ainda não existe uma preocupação de traçar uma política consistente de intermodalidade no sistema aeroportuário, fazendo com que os usuários sejam obrigados a usar carros particulares. Essa atitude é feita, basicamente, de duas formas: acompanhantes que deixam ou buscam os passageiros e, táxis usados por turistas a passeio ou de negócios (Goldner et al, 2005).

A expansão de empreendimentos classificados como PGVs podem contribuir negativamente com a questão dos transportes nas cidades brasileiras, além disso a demanda pode gerar um esgotamento da oferta do espaço viário e um conseqüente impacto na qualidade do ar no sítio onde o PGV está implementado. Como forma de avaliar as externalidades causadas por este tipo de empreendimento e oferecer subsídios técnicos para maximizar as de natureza positiva e minimizar as negativas, foram criadas ferramentas computacionais que simulam a realidade e podem contribuir na avaliação deste tipo de PGV.

### 3. SIMULADORES - FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Segundo Portugal (2005), o propósito da simulação é representar ou modelar o comportamento próprio e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho. Portanto, é uma técnica prática e orientada para a aplicação, na qual uma versão simplificada de um sistema real é codificada e transferida para o computador de maneira que o mesmo é capaz de simular o conjunto real.

Os simuladores podem ser classificados através do nível de representação do tráfego na rede. Sendo assim, tem-se: macroscópicos (em geral, determinísticos, permitindo a descrição de toda uma área), mesoscópicos (geralmente utilizados para a simulação de redes semaforizadas) e microscópicos (consideram os veículos individualmente ao se deslocarem pela rede em intervalos de tempo muito pequenos e suas trajetórias em tempo e espaço podem ser determinadas a cada segundo) (Tolfo, 2006).

Para se alcançar o objetivo deste artigo, foi considerado os seguintes pontos para a seleção dos *softwares*:

- Disponibilidade de se obter informação sobre a ferramenta em questão;
- Foco ou disponibilidade para a previsão dos poluentes atmosféricos e;
- A utilização, a aplicabilidade e a divulgação da ferramenta não só no meio acadêmico, mas também na prática.

Portanto, nas Tabelas 2a e 2b estão descritos, em ordem alfabética e de forma resumida, os tipos de simuladores existentes que correspondem aos critérios estabelecidos anteriormente e as características pertinentes a cada uma destas ferramentas.

Tabela 2a – Levantamento das Ferramentas Computacionais Existentes

Tipo	Nome	Definição	Objetivo	Dados de Saída	Vantagens
Microscópico	ALAQS ( <i>Airport Local Air Quality Studies</i> )	Aplicação GIS para capturar as fontes de emissão aeroportuárias.	Avaliar diversas emissões e métodos de dispersão.	Fatores de emissão de aeronaves, dos equipamentos de apoio, das fontes estacionárias e dos veículos rodoviários.	O resultado pode ser em informação geo-referenciada
	CORSIM ( <i>Corridor Simulation</i> )	Modelo norte-americano com 2 módulos: NETSIM para redes e FRESIM para vias expressas.	Modelar a interface entre vias urbanas e expressas, avaliar impactos dos congestionamentos.	Topologia, fluxo do tráfego e dispositivos de controle, tempos semafóricos, canalização de faixas, especificação do sistema de ônibus e comportamento dos motoristas.	Avaliar a evolução dinâmica dos problemas de congestionamento. Modelar a variabilidade das características dos motoristas e veículos.
	DRACULA ( <i>Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation</i> )	Modelo de alocação de tráfego urbano.	Associar um modelo de demanda e o comportamento diário de escolha de rotas e tempo de partida do condutor.	Caracterização individual do veículo e descrição comportamental do condutor.	O modelo de emissão é flexível permitindo a entrada de novos valores.
	INTEGRATION	Modelo que integra a alocação e a simulação de tráfego.	Elaborar uma rede de transportes padrão e analisar a capacidade viária.	—	A interface gráfica permite a entrada de dados, visualização da simulação do tráfego e a consulta dos dados de entrada e saída.
	HCM/CINEMA ( <i>Highway Capacity Manual</i> )	Programa de animação gráfica.	Visualizar níveis de interseção determinando problemas operacionais e melhorias na geometria das vias.	Consumo de combustível, emissões, velocidades médias e atrasos.	O programa permite visualizar interseções gráficas durante a entrada de dados e a dinâmica da animação com o NETSIM.
	PARAMICS ( <i>Parallel Microscopic Traffic Simulator</i> )	Simulador de redes de tráfego que considera as características de cada veículo.	Gerenciamento do tráfego e de impactos ambientais.	O transporte público e suas interações com outras modalidades nas paradas e medidas de prioridade para os ônibus.	Interface gráfica que facilita a entrada de dados e apresenta a animação da simulação em 3D
	TRANSYT ( <i>Traffic Network Study Tool</i> )	Simulador de tráfego de uma rede viária semaforizada.	Determinar quais os parâmetros semafóricos que apresentam o melhor desempenho em relação a um Índice.	Funções de demanda e de serviço.	—
	VISSIM	Modela o tráfego em redes e vias expressas	Analisar o tráfego e as operações multi-modais.	—	Configura composição e faixas do tráfego, paradas de ônibus, semáforos etc.
	SIDRA ( <i>Signalised and Unsignalised Intersection Design and Research Aid</i> )	Programa analítico para sinalizar interseções e desvios.	Desenvolvido na Austrália para auxiliar na análise de desempenho, tempo e capacidade de interseções.	Paradas e atrasos, emissões veiculares, consumo de combustível, custos operacionais.	Considera cenários futuros.

Fonte: adaptado DUCHENE, 2005; JACONDINO, 2005; PORTUGAL, 2005; SABRA, WALLACE, LIN, 2000; VILANOVA, 2006 e TOLFO, 2006.

Tabela 2b – Levantamento das Ferramentas Computacionais Existentes

Tipo	Nome	Definição	Objetivo	Dados de Saída	Vantagens
Mesoscópico	CONTRAM ( <i>Continuous Traffic Assignment Model</i> )	Modelo britânico desenvolvido para redes e vias expressas.	Analisar redes e gerenciar o tráfego.	Tempo mínimo de viagem, menor percurso, menor custo ou uma combinação destes.	Prever a reação dos motoristas, identificar novas rotas de deslocamentos.
	DYMOS ( <i>Dynamic Models for Smog Analysis</i> )	Sistema que permite a predição da difusão de partículas tanto em função de parâmetros meteorológicos quanto de condições de emissão e absorção.	Simular e prever o grau de concentração de poluentes em diferentes partes da cidade.	Topografia da região (altitude média, tipo de vegetação e percentagem de utilização) e emissão dos principais poluentes.	Visualizar diferentes aspectos da simulação (concentração de cada poluente, campos de pressão e vento etc)
	SIRI (Simulador de Redes de Semáforos)	Modelo brasileiro de programação semafórica.	Causar os menores tempos e n° de paradas dos veículos, respeitadas as condições da segurança viária.	Tamanho, localização e velocidade do veículo, tempos semafóricos, entre outros.	A nacionalidade permite executar adequações e melhorias requeridas
Macroscópico	EMME/2 ( <i>Equilibre Multimodal / Multimodal Equilibrium</i> )	Programa para planejamento de transportes multi-modal com ferramentas para modelagem, da demanda, análise e avaliação da rede.	Modelagem de redes multimodais, interação modal.	—	Flexibilidade na manipulação de matrizes, geração de viagens e modelos de repartição modal.
	FREQ	Ferramenta determinística.	Simular linhas prioritárias e otimizar auto-estradas.	Consumo de combustível, emissões, otimizações, variação de demanda do tráfego.	Possui um processador de que permite selecionar <i>outputs</i> específicos.
	SATURN ( <i>Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks</i> )	Simulador para alocação de tráfego	Análise de redes e impactos ambientais.	Em dois níveis - Detalhado: sobre os arcos de via e: Simplificado: sobre as interseções para cada aproximação viária.	Possibilidade de integração com o GIS e representa áreas de estudo de características diferentes.
	SIGNAL97	Baseado na otimização do HCM em 1997	Analisar as condições do tráfego existente.	Consumo de combustível, emissões atmosféricas, n° de veículos parados e média total de atrasos.	Flexibilidade em controle no desenvolvimento de interseções individuais
	SYNCHRO (Windows que contem: HCS, CORSIM, PASSER II e TRANSYT-7F)	Modelo simplificado de simulação da quantidade de poluentes emitidos pelos veículos.	Realizar o prognóstico da emissão dos veículos predizendo o consumo de combustível.	Veículos por milhas, atraso total em veículos hora/hora, paradas totais em paradas/hora e fatores de ajustes (diferem dependendo do tipo de emissão).	Após a entrada de dados é possível rodar o simulador em qualquer um dos programas que ele contém.
	TRANSCAD ( <i>Traffic Network Stud Computer Aided Design</i> )	SIG para aplicações como gerenciamento, instalações, transporte público e logística.	Análise de redes, planejamento de transportes e logística.	Quantidade de zonas de tráfego, número de nós, linhas de transporte público e número de modais.	Extensa biblioteca de dados geográficos, demográficos e de transportes, faz alocação de tráfego dependendo da memória do computador.

Fonte: adaptado, DUCHENE, 2005; JACONDINO, 2005; PORTUGAL, 2005; SABRA, WALLACE, LIN, 2000; VILANOVA, 2006 e TOLFO, 2006.

Complementando as informações das Tabelas supramencionadas, existem alguns estudos que contemplaram de alguma forma os PGVs utilizando as ferramentas computacionais. Entre eles tem-se:

- Duchene (2005) apresentou o ALAQS como ferramenta que captura as diversas fontes de poluição do ar interna e externa ao aeroporto e processa os diferentes tipos de emissão em um formato padrão para um modelo de dispersão;
- Gunnarson (2000) recomendou o CONTRAM como o mais usual em sistema dinâmico de simulação, possibilitando o controle do fluxo de tráfego e o monitoramento, uma vez que, a demanda por movimento cresceu e “na sociedade industrializada os meios de transportes mais utilizados são: trens de alta-velocidade, aeronaves e automóveis”;
- TransSolutions (2002) apresentou o CORSIM como um modelo base para análise interna e externa do lado terra dos seguintes aeroportos: Intercontinental Houston George Bush (IAH), Internacional de São Francisco (SFO) e Aeroporto Internacional de Dallas Fort Worth (DFW). Além disso, Tolfo (2006) comenta a capacidade do simulador em modelar a interface entre vias urbanas e expressas e avaliar seus impactos nos congestionamentos;
- Wilmink et al (2005) e Foresight (2005) utilizaram o DRACULA com outros modelos para desenvolvimento de metodologia de estudo de impactos da poluição sonora ocasionados por rodovias, aeroportos e indústrias. No Brasil ele foi utilizado para avaliação da operação do Terminal de Ônibus Triângulo Assis Brasil, em Porto Alegre (Ariotti et al, 2004);
- Jacondino e Cybis (2003) e Guzen, Giustina e Cybis (2002) utilizaram DRACULA e SATURN em suas pesquisas. Os primeiros, com o auxílio de um modelo de emissão CMEM (*Comprehensive Modal Emissions Model*), compararam as variáveis do tráfego nas emissões veiculares. Os segundos avaliaram as prováveis perturbações do tráfego no entorno do Terminal Triangulo da Avenida Assis Brasil, em Porto Alegre.
- Cybis e Ariotti (2002) utilizaram o SATURN para avaliar a acessibilidade a uma instituição de ensino e o impacto no tráfego que esta traz à sua área de abrangência.
- SEA (2006) aplica DYMOS como auxiliar na análise de PGVs. O elemento de estudo em questão era a ampliação do Aeroporto de Malpensa na Itália no ano de 2000. ERCIM (1998) exemplifica através de Berlim, Budapeste e Munique como locais que utilizaram DYMOS como instrumento de análise da poluição do ar causada pelo fluxo de tráfego;
- Reymond (2003) desenvolveu um estudo para o transporte urbano e a poluição do ar em Bogotá utilizando o EMME2 como ferramenta de análise.
- A empresa de consultoria em engenharia e planejamento SIMCO (2005) cita os seguintes *softwares*: HCM-CINEMA para análise de tráfego, e FREQ, CORSIM, SYNCHRO, para estudos de planejamento de corredores. Vale destacar dentre os vários projetos representativos estão: redimensionamento, programa de acessos, reabilitação e melhorias de estacionamento em aeroportos;
- O ITS (1997) cita em seu relatório anual a ferramenta FREQ como instrumento de análise do sistema de transportes. Dentre estes temas: gerenciamento de tráfego, transporte aéreo, infra-estrutura e políticas para o sistema de transportes;
- No Brasil o INTEGRATION foi utilizado, em geral, como instrumento de análise em rodovias: avaliação de alternativas de intervenções físicas e operacionais para resolver os problemas de conflitos nas rotatórias (Bessa Júnior et al, 2006), para simular rotas alternativas de acesso ao terminal de ônibus (Maia et al, 2006) e para determinar a capacidade em interseções rodoviárias (Demarchi e Setti, 1997).
- Stevenson (2004) utilizou o PARAMICS para criar um esquema de regeneração de rotas

considerando entre outras coisas as emissões atmosféricas dos veículos envolvidos. Um relatório para a cidade de Edimburgo (CETM, 2003) cujo objetivo é criar um sistema de trânsito rápido entre o centro da cidade, a estação de estacionamento principal, as estradas e o aeroporto, envolvendo corredores de ônibus, trens de alta velocidade, esquema integrado de tiquete e melhorias no transporte público foi feito com o auxílio do PARAMICS

- Vélez (2006) apresenta SIDRA e VISSIM como ferramentas de análise para o Western Plaza em Porto Rico. ITS (2003) utiliza o SIDRA como instrumento de análise de interseções semaforizadas. Na Austrália o SIDRA foi utilizado como auxiliar no planejamento de assentamento urbano e ambiental de um presídio (ACT, 2004).
- Colyar (1999) e Frey et al (2001) sugerem o SIGNAL97 e Synchro como ferramenta de auxílio na análise de operações de tráfego. Este último possui a vantagem de conter um modelo de emissões veiculares simplificado considerando CO, NO e VOC. Já o SIGNAL 97 pode estimar emissões veiculares de CO.
- Vilanova (2006) criou o Siri durante seu trabalho na CET/SP. Atualmente, existem 118 semáforos que operam segundo as programações semaforicas calculadas por esta ferramenta.
- Silva (2006) apresenta o TRANSCAD como o único produto do mercado que contempla as quatro fases da modelagem de planejamento de transportes urbanos (geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego). A empresa Bolton & Menk Inc. (2006) propõe rotas mais seguras para as escolas em Minnesota utilizando preferencialmente a bicicleta ou indo a pé. Este estudo é desenvolvido usando algumas ferramentas computacionais, dentre elas são citados o TRANSCAD, CORSIM e SYNCHRO.
- Silva (1992) analisou o TRANSYT como ferramenta de avaliação de comportamento de tráfego aplicando esta ferramenta como instrumento de simulação das ruas de Copacabana/RJ.

#### 4. ANÁLISE COMPARATIVA

Para se analisar comparativamente as ferramentas computacionais, Freitas (2004) sugere seguir alguns critérios para embasar a escolha. Estes são: “habilidade” do aplicativo (tamanho da rede, capacidade de representação e saídas do modelo); disponibilidade de dados (lista de itens a considerar, localização dos elementos conhecidos do sistema, conjunto de instalações candidatas à abertura, demanda, taxas e custos de transporte, tempos de trânsito, custos em geral, capacidades dos modos de transporte e padrão atual); facilidade de uso (pré-requisitos em aplicativos de qualquer natureza); recursos necessários (bases de dados georeferenciadas, otimizadores capazes de solucionar os modelos embutidos e consultorias para implantar o aplicativo); histórico de implantações; bem como validação e calibração.

Outro ponto a considerar é que quando o aeroporto é tratado como PGV existe a necessidade de uma análise adjacente e abrangente da área na qual está inserido. Em ambas as escalas espaciais a partição modal influencia no impacto na qualidade do ar. Na área imediatamente

próxima ao aeroporto, os conflitos e conseqüentes emissões de poluentes atmosféricos são mais visíveis e intensos, em função da maior quantidade de veículos concentrados na rede viária no entorno. Esta é considerada como área crítica, na qual uma abordagem microscópica abarca diretamente a natureza das viagens, permitindo o detalhamento das manobras e necessidades de circulação e estacionamento dos automóveis, principalmente carros particulares e táxis. Por outro lado, na abordagem abrangente, deve-se considerar a quantidade de viagens e a sua distribuição espacial, identificando os efeitos do tráfego na área de influência aeroportuária em função do seu porte e localização.

Após a análise, algumas ferramentas apresentaram aplicações mais amplas e outras mais específicas para o estudo em questão. O critério para esta seleção prévia foi considerar que estes instrumentos possuem requisitos para a análise de emissão de poluentes atmosféricos (diretos – próprios, ou seja, já embutido na ferramenta; ou indiretos – combinação de dois instrumentos ou mais que serviram como base de análise das emissões). Sendo assim, a partir das informações consultadas, aqueles que se mostraram diretamente aplicáveis estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos Simuladores em Função do Tipo de Intervenção

Intervenção	Simulador
âmbito da cidade e regional (de médio a longo prazo)	EMME2, TRANSCAD, SATURN e SYNCHRO (Macroscópico) CONTRAM e DYMOSS (Mesoscópico)
âmbito de bairro (curto prazo)	ALAQS, CORSIM, FREQ, SIDRA, HCM-CINEMA e PARAMICS (Microscópico)

## 5. CONCLUSÕES

É claro que o levantamento destas ferramentas computacionais não se encerra aqui. Existem muitas que podem não ter sido citadas neste estudo e outras que podem ser consideradas adequadas e na prática não ofereçam base suficiente para o desenvolvimento do trabalho. Entretanto, a importância deste artigo está na apresentação dos instrumentos disponíveis mais utilizados no âmbito aeroportuário e dentre eles quais os mais possivelmente apropriados para tratar o provável impacto que este PGV acarreta na qualidade do ar.

A situação mais adequada seria a manipulação direta de cada *software* para só assim reduzir a possibilidade de erro no processo de escolha. Mesmo assim, esta situação é impraticável devido aos seguintes motivos:

- Indisponibilidade de alguns fornecedores destes *softwares* para o usuário testar as ferramentas;
- Indisponibilidade de tempo e pessoal para recolhimento de dados básicos necessários para os testes nestes *softwares*.
- Indisponibilidade de dados (existentes, confiáveis e atualizados), principalmente dados meteorológicos e ambientais. Como não há pesquisas no Brasil que tratem diretamente do assunto impacto ambiental aeroportuário, as informações são na maioria das vezes incipientes (Coelho, 2006).

Portanto, o processo de escolha para uma ferramenta é complexo. O necessário é ter consciência de que é fato que o sistema aeroportuário está em expansão e estes instrumentos são fundamentais para ajudar a análise de um empreendimento deste porte.

Propor implementações que ajudem o setor aeroportuário crescer de maneira sustentável é afetar de maneira positiva o sistema de transporte como um todo. Portanto, a utilização de ferramentas computacionais para análise de projetos pode trazer ganhos significativos na tomada de decisão e é fundamental no planejamento urbano e ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACT (2004). Australian Capital Territory Prison Project – Preliminary Assessment. July. Disponível em: <[http://www.cs.act.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/27321/PA\\_Report\\_Excluding\\_Figures.pdf](http://www.cs.act.gov.au/_data/assets/pdf_file/27321/PA_Report_Excluding_Figures.pdf)> Acesso em: 02/04/2007.
- AIRFRANCE (2005). **Sustainability report 2004/5**. France.
- ARIOTTI, P., ZIGNANI, R. S., ARAÚJO, D. R. C., CYBIS, H. B. B. (2004). Avaliação da operação de um terminal de transporte público através do micro-simulador DRACULA. In: III Semana de Produção e Transportes. Jan. UFRGS, Porto Alegre, RS. Disponível em: <[http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/cybis\\_ariotti\\_zignani\\_araujo\\_2004.pdf](http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/cybis_ariotti_zignani_araujo_2004.pdf)> Acesso em: 02/04/2007.
- ARIOTTI, P., CYBIS, H. B. B. (2002). Estudo do tráfego e acessibilidade para a implantação de um pólo atrator de viagens. Disponível em: <<http://seberi.propesq.ufrgs.br/cdsalao2002/eng02.pdf>> Acesso em: 05/04/2007.
- BESSA JÚNIOR, J. E., OLIVEIRA NETO, F. M., PAULA, F. S. M., LOUREIRO, C. F. G. (2006). Avaliação de intervenções em interseção do tipo rotatória usando o simulador INTEGRATION. In: XX ANPET. Brasília. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/ANPET2006.pdf>> Acesso em: 02/04/2007.
- BOLTON & MELCK INC. (2006). Funds Available for Trail Development. Volume XVI. Number 1. Disponível em: <[http://www.bolton-menk.com/news/documents/BOLT-1350\\_Nw.pdf](http://www.bolton-menk.com/news/documents/BOLT-1350_Nw.pdf)> Acesso em: 02/04/2007.
- CETM, (2003). Central Edinburgh Traffic Management - Report Edinburgh. Disponível em: <<http://download.edinburgh.gov.uk/CETM/>> Acesso em: 02/04/2007.
- COELHO, P. I. S. (2006). **A importância da localização aeroportuária na qualidade do ar – o caso do aeroporto Santos Dumont na cidade do Rio de Janeiro**. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- COLYAR, J. D. (1999). **An Empirical Study of the Relationships Between Macroscopic Traffic Parameters and Vehicle Emissions**. Tese de M. Sc. Faculty of North Carolina State University.
- DEMARCHI, S.H., SETTI, J.R.A. (1997). Determinação da capacidade e nível de serviço em interseções rodoviárias através de simulação. ANPET, v. 5, n. 2, p. 37–63.
- DUCHENE, N., CELIKEL, A., FULLER, I., FLEUTI, E., HOFMANN, P. (2005). **Airport Local Air Quality Modelling: Zurich airport emissions inventory using three methodologies**. IX Air Transport Research Society World Conference. Rio de Janeiro, Brasil, 3-7 Julho.
- ERCIM (1998). European Research Consortium for Informatics and Mathematics. Number 34. Disponível em: <<http://www.ercimnews.org>> Acesso em: 13/01/2007.
- FORESIGHT (2005). Environmental factors in future transport. In: Institute for Transport Studies, University of Leeds. Disponível em: <[http://www.foresight.gov.uk/Previous\\_Projects/Reviews.pdf](http://www.foresight.gov.uk/Previous_Projects/Reviews.pdf)> Acesso em: 31/03/2007.
- FREITAS, A. A. M. (2004). **Análise Crítica do Projeto de Cadeias de Suprimento: Modelagem e Estudo de Caso**. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FREY, H. C., ROUPHAIL, N. (2001). Emissions Reduction Through Better Traffic Management: an empirical evaluation based upon on-road measurements. North Carolina Department of Transportation. December/NC.
- GRAHAM, A. (2001). Managing airports: an international perspective. British Library. Butterworth-Heinemann publications.
- GOLDNER, L.G., ANDRADE, L.G. (2001). **Uma Análise do Aeroporto Salgado Filho com um Pólo Gerador de Tráfego**. ANTP. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br>> Acesso em: 05/05/2006.
- \_\_\_\_\_, (2002). **Estudo do Estacionamento de Automóveis em Aeroportos: o caso do Aeroporto Internacional de Florianópolis – Hercílio Luz**. ANTP. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br>> Acesso em: 05/05/2006.
- GOLDNER, L.G., GOLDNER, N., PEDROZO, E.D. (2005). **Ground Access Mode Choice for two Major Airports in Southern Brazil**. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br>> Acesso em: 30/08/2005.
- GUNNARSON, S. O. (2000). Studies in travel behaviour and mobility management need a special scientific discipline: “mobilistics”. In: IATSS Research Vol.24 n°1, pp69-75. Disponível em: <<http://www.fot.se/admin/editor/files/Rapporter/mobilistics.pdf>> Acesso em: 31/03/2007.
- GUZEN, E. R., GIUSTINA, C. D., CYBIS, H. B. B. (2002). Aplicação do micros simulador de tráfego DRACULA em Porto Alegre. Disponível em: <<http://seberi.propesq.ufrgs.br/eng2.pdf>> Acesso em: 05/04/2007.
- ITS (1997). Annual Report. Institute of Transportation Studies. University of California, Berkeley.
- ITS (2003). Annual Report. Institute of Transportation Studies. Australian Key Centre in Transport Management, April.

- JACONDINO, G. B. (2005). **Quantificação das Emissões Veiculares Através do Uso de Simuladores de Tráfego**. Tese de M. Sc., PPGE/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- JACONDINO, G. B., CYBIS, H. B. B. (2003). Análise do efeito da agregação das variáveis do tráfego na estimativa de emissões veiculares. In: III Semana de Engenharia de Produção e Transportes. UFRGS, Porto Alegre, RS. Dez. Disponível em: <[http://www.lepa.ufrj.br/cursox/art\\_cybis18.pdf](http://www.lepa.ufrj.br/cursox/art_cybis18.pdf)> Acesso em: 05/04/2007.
- JAMIN, S., SCHAFER, A., BEM-AKIVA, M. E., WAITZ, I. A. (2004). **Aviation Emissions and Abatement Policies in the United States: a city-pair analysis**. Transportation Research D, pp.295-317.
- MAIA, F. V. B., MAIA, N. M., LOUREIRO, C. F. G. (2006). Avaliando os benefícios de intervenções viárias nas rotas de transporte coletivo com o auxílio do simulador INTEGRATION. In: XX ANPET. Brasília. Disponível em: <[http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/maia\\_maia\\_ANPET2006.pdf](http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/maia_maia_ANPET2006.pdf)> Acesso em: 02/04/2007.
- MANCHESTER AIRPORT (2006). Ground Transport Strategy – Part of the Manchester Airport Master Plan to 2030. Disponível em: <<http://www.manchesterairport.co.uk>> Acesso em: 19/03/2007.
- MUNISH AIRPORT INTERNATIONAL (2005). Perspectives – Environmental Statement. Disponível em: <<http://www.munich-airport.de>> Acesso em: 31/03/2007.
- PEACE, H., MAUGHAN, J., OWEN, B., RAPER, D. (2006). **Identifying the contribution of different airport related sources to local urban air quality**. In: Environmental Modelling & Software. Feb. pp.532-538.
- PORTUGAL, L. S. (2005). **Simulação de tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem**, Ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- REYMOND, Y. (2003). Urban transport and air pollution in Bogotá, Colombia. In: 3<sup>rd</sup> Swiss Transport Research Conference. Monte Verità/Ascona, March 19-21. Disponível em: <[http://www.mobility-bovy.ch/pdf/yves\\_reymond\\_strc03.pdf](http://www.mobility-bovy.ch/pdf/yves_reymond_strc03.pdf)> Acesso em: 05/04/2007.
- ROGERS, H. L., LEE, D. S., RAPER, D. W., FORSTER, P. M. F., WILSON, C. W., NEWTON, P. (2002). **The impacts of aviation on the atmosphere**. The Aeronautical Journal. Feb. pp.1-84.
- SABRA, Z., WALLACE, C. E., LIN, F. (2000). Traffic Analysis Software Tools. Transportation Research Board/National Research Council. U. S.
- SEA - Strategic Environmental Assessment (2006). The SEA Manual – a sourcebook on strategic environmental assessment of transport infrastructure plans and programs. European Commission, DG Tren. Disponível em: <<http://www.transport-sea.net/docs/SEA%20Manual%20-%202021-10-05c.pdf>> Acesso em: 01/04/2007.
- SILVA, D. F. P. (2006). **Sistemas de Informação Geográfica para Transportes – uma aplicação aos transportes urbanos de Guimarães**. Tese M. Sc. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Portugal.
- SILVA, P. C. M. (1992). **Contribuição Metodológica à Simulação do Tráfego urbano. Uma Adaptação do Modelo TRANSYT/8**. Tese de M. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- SIMCO (2005). Engineering and Planning – Consulting Services. NY. Disponível em: <<http://www.simcopc.com/projects.htm#10>> Acesso em: 01/04/2007.
- STEVENSON, M. (2004). Fittingly and Rossington Route Regeneration Scheme – Paramics Model. Jan. TPDONFIL/58678. Disponível em: <<http://www.doncaster.gov.uk/Images/WP10.pdf>> Acesso em: 02/04/2007.
- TOLFO, J. D. (2006). **Estudo Comparativo de Técnicas de Análise de Desempenho de Redes Viárias no Entorno de Pólos Geradores de Viagens**. Tese de M. Sc., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- TRANSSOLUTIONS (2002). TRACS – Terminal, Roadway, and Curbside Simulation: airport landside analysis tools. Disponível em: <[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec042/06\\_.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec042/06_.pdf)> Acesso em: 31/03/2007.
- VÉLEZ, E. G. (2006). **Adaptation of VISSIM, a Dynamic Simulation Model, to the Traffic Behavior at Intersections in Mayaguez, Puerto Rico**. Tese de M. Sc. Civil Engineering. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus. Maio.
- VILANOVA, L. M. (2006). SIRI – um novo simulador para redes de semáforos. ANTP.
- WHITELEGG, J.; CAMBRIDGE, H. (2004). **Aviation and Sustainability**. Jul. SEI - Stockholm Environment Institute.
- WILMINK, I., GOODMAN, P., BELL, M., VERSTEEGT, E. (2005). The role of ITS in noise mapping and noise action planning. Disponível em: <<http://www.imagine-project.org/bestanden.pdf>> Acesso em: 31/03/2007.
- YOSHINAGA, M. (2002). **Meio Ambiente: Guarulhos e Macaé, ou Infraero e Petrobrás?** Minha cidade 040. (Jan). Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/minhacidade/texto.asp>> Acesso em: 26/08/2005.

---

Patricia Ingrid de Souza Coelho (jusconix@pet.coppe.ufrj.br)

Licínio Portugal (licinio@pet.coppe.ufrj.br)

Suzana Kahn Ribeiro (skr@pet.coppe.ufrj.br)

PET/COPPE/UFRJ – Centro de Tecnologia, Bloco H, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP:21.945-970.