

# APLICAÇÃO DO SIMULADOR DE TRÁFEGO DRACULA EM PORTO ALEGRE – ANÁLISE COMPARATIVA COM O SATURN

**Davi Ribeiro Campos de Araújo**

**Helena Beatriz Bettella Cybis**

Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

O presente artigo compara as estruturas macroscópica e microscópica de simulação de tráfego dos modelos SATURN e DRACULA, respectivamente. A investigação decorre da experiência adquirida num estudo de caso em Porto Alegre. Os modelos foram escolhidos porque podem operar numa plataforma de dados comum, que simplifica o processo de construção da rede e facilita a definição de fluxos para o DRACULA diretamente a partir do SATURN. O trabalho propõe recomendações e cuidados sobre o uso conjunto dos modelos, concentrando-se na modelagem de redes urbanas. Aponta resultados parciais de uma pesquisa de mestrado.

## ABSTRACT

This paper compares the macroscopic and microscopic traffic simulation framework in the models SATURN and DRACULA. This investigation is based on the experience acquired in a case study in Porto Alegre. The models were chosen because they present a common database that simplifies the network coding process and enables the definition of flows for DRACULA directly from SATURN assignment outputs. This work, based on partial results from a master research, is focused in urban network modelling and presents recommendations for the combined use of the models.

## 1. INTRODUÇÃO

Encontra-se na literatura uma grande diversidade de modelos de tráfego que reproduzem a realidade segundo abordagens distintas. Na prática, entretanto, estes modelos acabam concentrando características comuns que permitem classificá-los segundo vários aspectos. Inúmeros são os estudos de classificações e comparações entre modelos reportados na literatura como, por exemplo, Algiers *et al.* (1997).

Uma classificação tradicional na modelagem de tráfego refere-se ao nível de detalhamento com que o sistema é tratado. Sob este ponto de vista, os modelos macroscópicos descrevem as entidades e suas interações de forma agregada, de modo que a corrente de tráfego pode ser representada através de taxas de fluxos, densidade e velocidade. Modelos microscópicos reproduzem o sistema de forma mais detalhada: cada entidade é representada individualmente e são consideradas as interações veículo a veículo. Modelos mesoscópicos, por outro lado, apresentam características mistas, gerando um nível intermediário. Representam ou as entidades, ou suas interações de forma agregada; porém, preservam um nível expressivo de desagregação em algum desses aspectos. Manobras de mudança de faixa, por exemplo, podem ser reproduzidas para cada veículo individualmente, porém a decisão pode ser baseada em densidades de faixa e não nas relações individuais entre veículos. (Lieberman *et al.*, 1997).

Uma aplicação que tradicionalmente faz uso da abordagem macroscópica é a modelagem do processo de escolha de rotas em redes. Modelos macroscópicos de alocação de tráfego baseados no equilíbrio do usuário são largamente utilizados em estudos de planejamento de transportes. Suas hipóteses simplificadas conduzem a estimativas de fluxos em redes satisfatórias para fins de planejamento.

Outras ferramentas bastante utilizadas no meio técnico são os simuladores microscópicos de tráfego, que oferecem uma dimensão mais detalhada às análises ao reproduzirem as interações individuais entre veículos e a representação dinâmica do tráfego na rede.

A associação de modelos macroscópicos de escolha de rotas com micro-simuladores é complementar e altamente atrativa pois agrega as vantagens das duas abordagens e amplia o potencial de investigação. Montero *et al.* (2002) apresentam o sistema GETRAM que integra o modelo macroscópico de escolha de rotas EMME2 com o modelo microscópico AIMSUN2.

A associação de modelos macroscópicos e microscópicos, entretanto, pressupõe a representação de um mesmo cenário através de ferramentas diferentes na sua essência. Modelos distintos com diferentes estruturas de dados exigem esforços multiplicados para assegurar representações compatíveis. A adoção de uma mesma formatação de dados para a descrição da rede, como no caso dos modelos SATURN (Hall *et al.*, 1980) e DRACULA (Liu, 2000), reduz a dificuldade prática da equivalência de cenários.

O modelo macroscópico de alocação e simulação de tráfego SATURN tem sido utilizado em associação com o micro-simulador DRACULA em diversos estudos de caso e trabalhos de pesquisa (Aden, 1995; Liu *et al.* 2001; e Muizelaar, 2002). O uso associado dos modelos permite uma descrição comum da rede viária e a transferência automática de fluxos do SATURN para o DRACULA. Resta compreender, entretanto, o impacto das diferentes formas de modelagem na estrutura de dados comum. Assim, investigações específicas se tornam úteis.

O presente trabalho tem por objetivo descrever e comparar, a partir da experiência obtida em um estudo de caso, as estruturas de simulação de tráfego nos modelos DRACULA e SATURN. A análise envolve a apropriação de dados; a comparação de resultados preliminares; e a proposição de medidas para a calibração. O estudo está focado na simulação de redes urbanas e não aborda o problema de escolha de rotas.

Os modelos investigados têm autoria no ITS – *Institute for Transport Studies*, da universidade de Leeds. O SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks*) é formado por um módulo de alocação de tráfego associado com um módulo de simulação de interseções viárias (Van Vliet, 1982). O modelo é destinado para o planejamento e gerenciamento de tráfego em redes viárias urbanas de pequeno a grande porte. A literatura reporta várias experiências, inclusive no Brasil. Citamos Manchester (Matzoros *et al.*, 1987), Bangkok (May *et al.*, 1992), Kuwait (McSheen e Hale, 1989) e Porto Alegre (Cybis *et al.*, 1999).

A proposta original do DRACULA (*Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation*) é compor uma nova geração de modelos de transportes em relação às abordagens de alocação baseadas em equilíbrio (Timms *et al.* 1997). Consiste numa estrutura de modelagem com representação da variabilidade dentro-do-dia e dia-a-dia (Liu *et al.*, 1995). O DRACULA é formado por dois módulos básicos: os sub-modelos de oferta e demanda. O presente estudo está concentrado no simulador microscópico de tráfego que compõe o sub-modelo de oferta.

## 2. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO NO SATURN E NO DRACULA

A rede viária é representada de forma semelhante nos dois modelos, sendo formada por nós e arcos divididos em faixas. Os arcos possuem como atributos: a velocidade em fluxo-livre (conceito adiante discutido), o número de faixas, e as conversões permitidas (por faixa). O controle nas interseções é representado através de relações de prioridade ou programação semafórica. A seguir, são tratados aspectos básicos sobre as simulações do tráfego nos modelos em estudo.

### 2.1 Simulação no SATURN

Tradicionalmente, o SATURN é classificado como um modelo estático macroscópico. Entretanto, alguns autores o classificam como mesoscópico uma vez que a estrutura de simulação desagrega a corrente de tráfego de modo a reproduzir a progressão de pelotões.

A simulação assume que o fluxo na rede propaga-se a velocidades constantes ao longo dos arcos, havendo formação de fila vertical nas interseções. A descrição dos fundamentos básicos do modelo consta em Hall *et al.* (1980). Maiores detalhes sobre a simulação são descritos em Van Vliet e Hall (2000).

#### *Velocidades nos arcos*

O SATURN faculta assumir duas abordagens diferentes para a velocidade modelada no arco. A velocidade pode ser considerada constante e independente do carregamento, ou variável segundo relações velocidade-fluxo.

A velocidade independente do fluxo é a representação usual para redes urbanas com arcos curtos. A hipótese traz implícita a seguinte idéia: os atrasos nas interseções representam a parcela mais significativa dos tempos de viagem na rede, e os atrasos ao longo dos arcos são desprezíveis. Assim, a velocidade codificada expressa a velocidade média de cruzeiro no arco.

A outra abordagem considera uma relação velocidade-fluxo para reproduzir o atraso decorrente do carregamento ao longo do arco. Assim, exige a velocidade média em fluxo livre como o dado de entrada do arco.

#### *Perfis de fluxo cíclicos*

O SATURN considera a ocorrência de perfis de fluxo cíclicos no tráfego de modo a reproduzir o processo de dispersão de pelotões. O método equivale ao adotado no modelo TRANSYT (Vincent *et al.*, 1980).

#### *Gap Acceptance*

No SATURN, a negociação de prioridades é baseada na probabilidade da corrente secundária encontrar brechas na corrente principal. O modelo permite representar brechas sistematicamente para toda a rede ou para interseções específicas, isoladamente.

#### *Modelagem de escolha de faixa nas interseções*

A modelagem da escolha de faixas nas aproximações exerce grande impacto na capacidade das conversões. Se duas ou mais conversões compartilham faixas, a alocação do fluxo nas faixas é determinada numa analogia ao Princípio do equilíbrio de Wardrop. A distribuição de fluxos estabelecida é tal que todas as faixas usadas por um particular movimento de conversão tem igual atraso na linha de retenção, e todas as faixas não usadas têm atraso maior ou igual.

## 2.2 O Simulador DRACULA

O modelo de tráfego no DRACULA é um simulador microscópico, estocástico, discreto no tempo e contínuo no espaço, que representa o movimento dos veículos através de rotas pré-especificadas. A evolução dos veículos ao longo da rede é estimada em função de modelos de *car-following* e *lane-changing*, considerando o comportamento desejado dos motoristas, a sinalização e o controle nas interseções e arcos. A simulação no DRACULA é descrita em Liu (1994). Detalhes sobre o uso do modelo são apresentados em Liu (2000).

### *Geração de tráfego*

A definição de *headways* nas origens se dá por distribuição exponencial transladada negativa. Cada origem tem sua própria distribuição com taxa média equivalente à demanda pré-definida. O DRACULA permite modelar seis tipos de veículos. A cada veículo gerado, são atribuídas aleatoriamente as seguintes características (a partir de valores médios e suas variâncias): comprimento do veículo, acelerações, desacelerações, fator de velocidade (multiplicador sobre a velocidade do arco gerando a velocidade desejada do veículo), tempo de reação, distância mínima de segurança, fator de aceitação de brechas, etc.

### *Modelo de car-following*

O modelo de *car-following* calcula a aceleração e a velocidade do veículo a partir da posição relativa ao veículo da frente. Conforme a magnitude do afastamento, o modelo é classificado em três regimes com propriedades distintas: movimento livre, movimento seguidor, movimento seguidor aproximado. Os motoristas obedecem aos limites de aceleração mínimo e máximo informados e objetivam atingir a velocidade desejada atribuída na geração do veículo.

### *Modelo de lane-changing*

O modelo de *lane-changing* é baseado em aceitação de brechas. Os desejos de mudança de faixas se dão por cinco motivos: atingir uma parada de ônibus; evitar incidente ou faixa restrita à circulação; viabilizar conversão na próxima interseção; mover para faixa reservada para o tipo de veículo; ou para ultrapassagem de um veículo mais lento.

### *Simulação das interseções*

Os veículos começam a reagir ao controle de tráfego da interseção a partir de uma distância pré-especificada da linha de retenção. Somente o primeiro veículo reage à interseção; os demais reagem ao veículo precedente. A brecha aceitável em interseções prioritárias é baseada no indivíduo e pode decrescer com o aumento do tempo de espera. A definição de GAPS pode ser geral para toda a rede ou baseada nos arcos.

## 2.3 Estrutura básica dos modelos e o uso conjunto

A estrutura básica do SATURN exige dois conjuntos de dados: a descrição operacional da rede viária e a quantificação da demanda na forma de matriz Origem-Destino. Para o DRACULA, são necessários três conjuntos independentes de informações: dados da rede viária; fluxos nas rotas; e o conjunto de parâmetros comportamentais e as características dos veículos.

O uso conjunto dos modelos pressupõe a transferência de informações do SATURN para o DRACULA. Permite o aproveitamento da descrição da rede viária. Faculta também a definição dos fluxos nas rotas com base na alocação de tráfego do SATURN. Nesse aspecto, é bastante importante assegurar a equivalência entre os modelos codificados.

## 2.4 Análise comparativa das estruturas fundamentais dos modelos

A seguir, são apontadas divergências importantes pertinentes ao uso comum dos modelos.

### *Velocidades*

A velocidade informada como dado no arco assume tratamentos diferentes nos modelos. No SATURN, o valor é adotado como velocidade de cruzeiro. No DRACULA, corresponde à velocidade média desejada pelos motoristas. Deste modo, a velocidade de cruzeiro efetivamente estimada no DRACULA agrega reduções devidas às perturbações modeladas entre os veículos. Assim, quando a velocidade codificada no arco assume o mesmo valor, se espera que o DRACULA subestime a velocidade em comparação com o SATURN.

### *Atrasos e tempos de cruzeiro*

Os atrasos nos modelos também apresentam particularidades distintas. No SATURN, o tempo de cruzeiro é associado ao percurso ao longo do arco inteiro. O conceito de atraso, por sua vez, está associado ao tempo perdido junto à interseção viária.

No DRACULA, contabiliza-se atraso quando a velocidade atinge valores inferiores 0.5 m/s, independentemente da localização relativa no arco. Regimes acima desse limite são considerados tempos de cruzeiro. Assim, a comparação de atrasos e tempos de cruzeiro entre os modelos exige cuidados.

### *GAPs defaults*

Além das diferenças na modelagem de aceitação de brechas, os GAPs *defaults* dos modelos assumem valores diferentes.

Para interseções prioritárias do SATURN, o valor do GAP é fixo (o valor *default* é definido em 5.0 seg). Van Vliet e Hall (2000) sugere que o valor é demasiadamente elevado de modo a superestimar os atrasos.

O DRACULA, por sua vez, assume uma abordagem distinta. Permite modelar o decréscimo do GAP à medida que aumenta o tempo de espera na aproximação. Por sugestão *default*, o valor inicial é 3 seg; entre 60 e 180 seg., decresce linearmente até 1 seg.

### *Modelagem do fluxo efetivo de veículos*

A capacidade viária depende de dois fatores associados: da impedância à circulação oferecida pela rede viária e do comportamento dos motoristas em relação àquelas condições. A modelagem desse fenômeno assume abordagens bastante diferentes nas estruturas macroscópica e microscópica.

No SATURN, o usuário define os fluxos de saturação e o modelo calcula a capacidade em função do controle na interseção. O fluxo de saturação deve agregar tanto as restrições à circulação no local da conversão, como o comportamento dos motoristas. Já no DRACULA, a capacidade é consequência dos diversos fenômenos microscópicos, de modo que o controle do usuário sobre o modelo é mais complexo.

### *Modelos de redes próximas à saturação*

A transição entre o estágio não-congestionado e saturado apresenta naturezas distintas nas abordagens micro e macroscópica. No SATURN, os atrasos crescem bruscamente quando é atingido o ponto de saturação do arco. Já para o DRACULA a variação dos atrasos em função

da demanda é gradual e inicia antes da saturação.

Como os atrasos modelados aumentam muito em condições congestionadas, se fazem necessários cuidados especiais na representação de cenários em torno da saturação pois distorções marginais nos dados podem gerar grandes impactos nos resultados.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO REAL MODELADO

O cenário modelado é composto por um trecho viário arterial com suas vias transversais, inserido na concentração urbana de Porto Alegre. É formado pela avenida Independência, trecho entre as ruas Barros Cassal e Ramiro Barcelos. A Figura 1 ilustra a rede modelada.

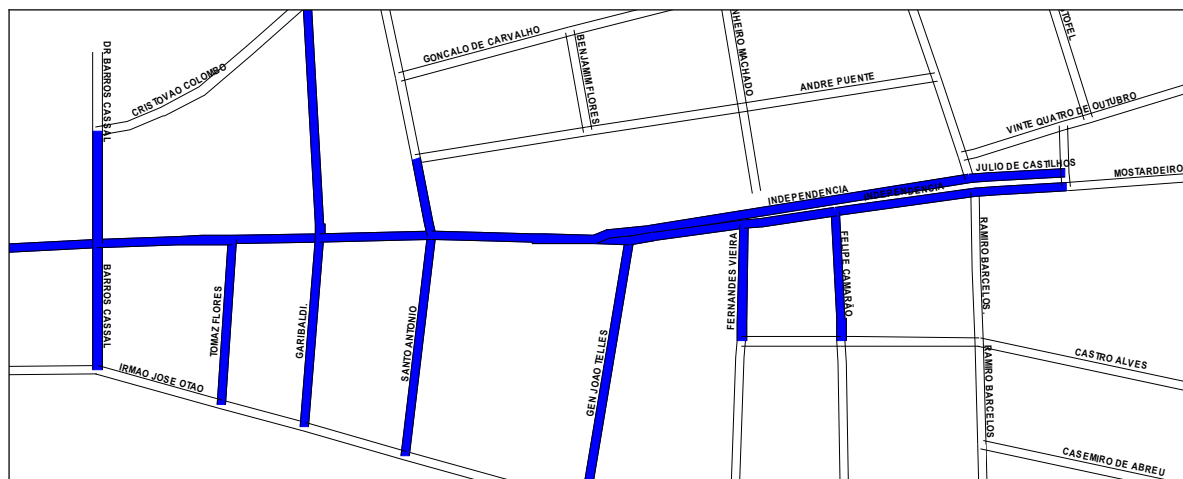


Figura 1: Rede modelada

A rede é formada por arcos curtos. O comprimento longitudinal é de 970 m e a média do arco é 108 m. Foram modeladas oito interseções: duas prioritárias e seis semaforizadas com tempos fixos em sincronismo.

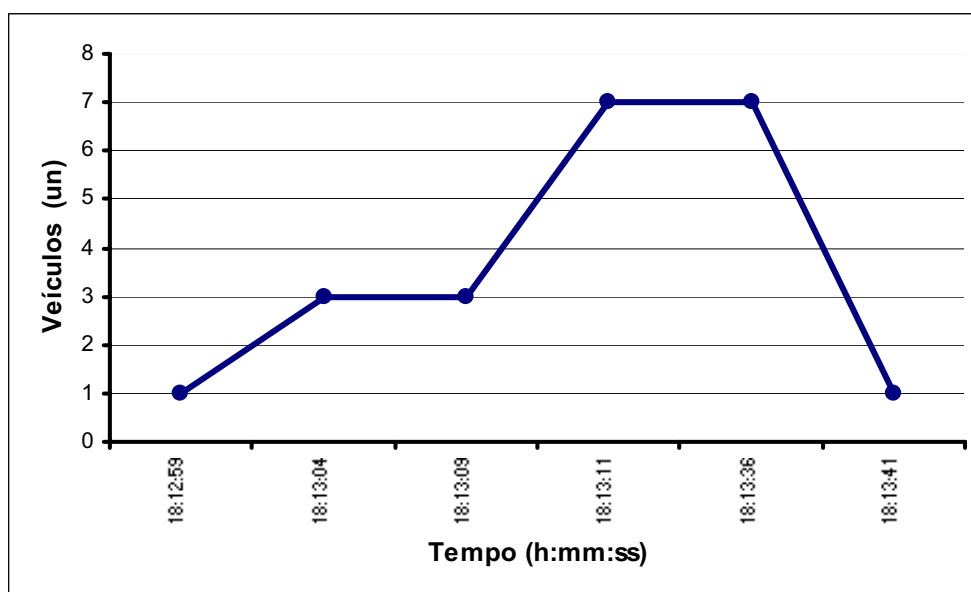
Predominantemente, as vias operam próximo da capacidade, mas ainda abaixo do ponto de saturação. A formação de filas é evidente. O veículo predominante na composição do tráfego é o automóvel particular. A diversidade de tipos de veículos, no entanto, é expressiva. A demanda é formada por usuários habituais, oriundos do centro da cidade, retornando ao domicílio no período de pico vespertino (18:00h às 19:00h).

A seguir, apresentamos as técnicas de coleta, o cálculo, e os valores dos parâmetros que caracterizam a realidade observada em campo. A coleta de dados se desenvolveu num único dia, onde todos os elementos foram coletados simultaneamente, de modo a eliminar efeitos da variabilidade dia-a-dia.

#### *Filas*

A caracterização das filas efetuou-se através de filmagem ininterrupta, em três interseções viárias. A partir das imagens, traçou-se o diagrama de filas relativo a cada ciclo semaforístico. O diagrama indica o total de veículos retidos na fila ao longo do tempo. A partir dos gráficos obtidos, foram calculados por equivalência de áreas os atrasos (total e médio) e os tamanhos das filas (médio e máximo).

A Figura 2 caracteriza a formação de filas durante um ciclo semaforico, na interseção com a rua Ramiro Barcelos.



**Figura 2:** Diagrama de filas com a interseção Ramiro Barcelos

A Tabela 1 apresenta os parâmetros calculados para a interseção da av. Independência com a rua Santo Antônio, como exemplo.

**Tabela 1:** Parâmetros calculados para as filas na interseção com a rua Santo Antônio

Intervalo de tempo	Atraso Total (hh:mm:ss)	Fila Máxima (veic)	Fila Média (veic)	Atraso médio (hh:mm:ss)
18:00-18:15	0:29:31	12,56	1,97	0:00:06
18:15-18:30	0:29:57	12,67	2,00	0:00:07
18:30-18:45	0:27:41	11,74	1,85	0:00:06
18:45-19:00	0:23:34	10,00	1,57	0:00:06
<b>18:00-7:00</b>	<b>1:50:43</b>	<b>11,74</b>	<b>1,85</b>	<b>0:00:06</b>

#### *Demanda*

A demanda de tráfego foi obtida a partir de contagens volumétricas manuais, com pesquisadores em todas as interseções. A coleta foi desagregada em intervalos, de modo a evidenciar a variabilidade da demanda na hora-do-dia. O fluxo médio de entrada é 5054 veíc/h. A variabilidade no tempo é pouco significativa. A variação em relação à média é 3,1%. Assim, a demanda nos modelos foi adotada constante durante a hora modelada.

#### *Composição de tráfego*

A partir das filmagens, foram contabilizados 95,5% de automóveis particulares, 1,1 % de ônibus e caminhões, e 3,3 % de veículos de médio porte. Para o DRACULA, a composição e as dimensões de veículos foram desagregadas em três classes, conforme o porte dos veículos. Para o SATURN, o comprimento da UVP (Unidade de Veículo Padrão) considerou a média entre os tipos de veículos.

#### *Velocidade*

Foram coletadas as velocidades geral e de cruzeiro na hora modelada. A medição efetuou-se com veículo-teste, conforme metodologia disposta em LASTRAN (1997).

A velocidade total média na av. Independência total ficou em 21,7 km/h. A velocidade média de cruzeiro ficou em 25,5 km/h.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A investigação objetivou reproduzir, em cada modelo, o comportamento agregado da rede observado em campo. As análises se deram a partir dos parâmetros de saída comumente estimados por simuladores de tráfego como fluxos, tamanho de filas, atrasos, e velocidades.

##### 4.1 SATURN

Os fluxos de saturação nas conversões do SATURN foram adotados conforme a Tabela 2. O referencial foi adotado por ter sido satisfatório num estudo de calibração anterior para Porto Alegre, descrito em Cybis *et al.*(1999). A medida implicou em resultados realistas também no modelo atual.

**Tabela 2:** Fluxos de saturação adotados no SATURN

		RAIO DE GIRO DA CONVERSÃO								
		Linha reta			20 m			10 m		
		Aclive de 4%	Plano	Declive de 4%	Aclive de 4%	Plano	Declive de 4%	Aclive de 4%	Plano	Declive de 4%
Número de faixas	1 Fx	1670	1900	2130	1550	1760	1980	1450	1650	1840
	2 Fx	3340	3800	4250	2580	2930	3280	2410	2740	3060

Para que a modelagem de atrasos na interseção prioritária gerasse resultados compatíveis com a realidade, o valor *default* do GAP foi reduzido de 5,0 seg para 2,5 seg. A medida concorda com Van Vliet e Hall (2000), que reconhece o valor *default* superestimado.

Na Tabela 3, os resultados estimados pelo SATURN para as interseções são comparados com a realidade observada em campo.

**Tabela 3:** Comparação dos resultados estimados pelo SATURN com a realidade observada nas interseções.

Interseção viária com:	Parâmetro	Realidade	SATURN
Ramiro Barcelos (ramo esquerda)	Fila média (veíc)	1,6	1,6
	Atraso (seg)	8,5	8,7
Ramiro Barcelos (ramo direita)	Fila média (veíc)	4,3	4,6
	Atraso (seg)	7,3	7,9
Sto. Antônio	Fila média (veíc)	1,9	2,7
	Atraso (seg)	2,3	3,4

Os parâmetros agregados estimados, comparativamente à realidade, constam na Tabela 4.

**Tabela 4:** Comparação dos resultados estimados pelo SATURN com a realidade observada agregadamente.

Parâmetro	Realidade observada	Modelado no SATURN
Velocidade av. Independência	21,7 km/h	18 km/h
Fluxo efetivo de veículos na rede	5054 veículos	5054 veículos

O desempenho do SATURN, de maneira geral, foi satisfatório.



Percebemos que o modelo subestimou um pouco a velocidade geral coletada na av. Independência. É importante considerar que, em virtude de restrição de itinerário, os veículos-teste da coleta de dados foram sempre beneficiados pelo sincronismo semaforico. Assim, a expectativa é que a velocidade total estimada fosse, de fato, um pouco menor que a medida de campo.

#### 4.2 DRACULA

O objetivo da investigação foi explorar o impacto de algumas alterações na estrutura *default* de parâmetros do DRACULA. Orientações detalhadas sobre a calibração no micro-simulador são descritos por Timms (1997).

Os parâmetros de saída estimados para o modelo microscópico *default* são comparados com a realidade medida em campo na Tabela 5.

**Tabela 5** : Resultados estimados para os parâmetros *default* do DRACULA

Parâmetro	Realidade observada	DRACULA <i>default</i>
Velocidade av. Independência	21,7 km/h	9,2 km/h
Fluxo efetivo de veículos na rede	5054 veículos	4573 veículos

É possível observar que tanto a velocidade geral quanto o fluxo efetivo modelados são subestimados.

O valor reduzido da velocidade está em acordo à análise teórica no item 2.4. Isso comprova que a velocidade de cruzeiro satisfatória para a modelagem no SATURN não é adequada para expressar a velocidade desejada no modelo de micro-simulação. Sugere-se preservar o valor codificado e aumentar os fatores de velocidade dos veículos, até se reproduzir as velocidades medidas.

No modelo *default*, percebeu-se formação de filas crescentes nas interseções mais carregadas, o que não se verifica na realidade. A Tabela 5 revela que o fluxo que o modelo estimou atravessar a rede é subestimado.

Testes experimentais com o DRACULA revelaram que a taxa de descarga de veículos é função crescente da velocidade desejada no arco. Entretanto, aumentar os fatores de velocidade até se obter valores realistas de velocidades na rede, não foi suficiente para gerar fluxos no modelo similares ao observado em campo. Assim, é possível concluir que são necessárias medidas complementares para aumentar a agressividade dos motoristas no modelo.

Para aumentar a agressividade dos motoristas no DRACULA, testou-se o impacto decorrente de duas medidas: acréscimos nas taxas de aceleração e ajustes no modelo de *lane-changing*.

Os parâmetros de aceleração normal e máxima foram majorados até os valores de 3 m/s<sup>2</sup>. A medida aumentou o fluxo efetivo modelado, mas o resultado ainda continuou aquém do observado em campo.

Observações visuais em vídeo permitiram concluir que os motoristas costumam trocar de faixa freqüentemente de modo a contornar veículos mais lentos. Assim, o modelo de *lane-changing default* foi ajustado para permitir mais ultrapassagens.

Os resultados obtidos através dos aumentos nos fatores de velocidade, nas taxas de aceleração, e de intensificação nas mudanças de faixas foram:

**Tabela 6:** Resultados estimados com os parâmetros no DRACULA alterados

Parâmetro	Realidade observada	DRACULA alterado
Velocidade av. Independência	21,7 km/h	21,9 km/h
Demanda efetiva na rede	5054 veículos	4901

Os atrasos nas interseções medidos em campo não foram confrontados com os atrasos estimados no DRACULA por se tratarem de conceitos diferentes, conforme item 2.4.

### 4.3 Resultados gerais DRACULA e SATURN

Sobre a descrição da rede, é importante ressaltar que algumas simplificações bem absorvidas pelo modelo macroscópico geraram resultados irreais no modelo microscópico. Um exemplo refere-se à codificação da interseção prioritária junto à rua João Telles, onde foi preciso aumentar o número de faixas no DRACULA em relação ao SATURN. A medida foi necessária para reproduzir melhor o movimento de conversão garantindo o fluxo de veículos observado.

Para as três situações modeladas (SATURN, DRACULA *default* e DRACULA ajustado), os resultados estimados pelos modelos, para toda a rede, constam na Tabela 7.

**Tabela 7:** resultados agregados da rede estimados pelos modelos.

Parâmetro	SATURN	DRACULA <i>default</i>	DRACULA ajustado
Tempo total (veíc x h)	192,4	261,9	164,5
Filas totais (veíc x h)	56,3	197,6	123,9
Velocidade Média (km/h)	17,5	11,7	20,2
Viagens efetuadas (veíc)	5054	4573	4901

Os resultados comprovam que os conceitos de atraso em fila no SATURN divergem significativamente em relação ao DRACULA, conforme a análise teórica exposta no item 2.4. Na tabela 7 é possível identificar que os atrasos no DRACULA superaram aqueles estimados pelo SATURN. Por outro lado, os tempos totais de viagem e a velocidade média na rede expressam conceitos semelhantes; na tabela 7, é possível observar que o DRACULA ajustado gerou resultados mais aproximados aos do SATURN.

É importante salientar que o processo completo de calibração do DRACULA não foi concluído. O objetivo das análises é experimentar o impacto de algumas medidas na simulação microscópica.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo compara as estruturas microscópica e macroscópica de simulação de tráfego dos modelos DRACULA e SATURN, respectivamente. Os modelos podem operar numa plataforma de dados comum. A investigação decorre da experiência adquirida num estudo de caso em Porto Alegre e indica os resultados preliminares de uma pesquisa de mestrado.

Apesar de facultarem uma base de dados comum, o estudo permitiu concluir que os modelos apresentam divergências significativas nos conceitos de dados e resultados. Apresentam

também diferenças importantes na definição das características da rede e na modelagem da saturação nos arcos.

Para o cenário modelado, a velocidade de cruzeiro no SATURN não foi adequada para expressar a velocidade desejada no modelo de *car-following* do simulador microscópico. Entretanto, pode ser considerada como base para a definição da velocidade desejada.

As modelagens das condições de saturação nas estruturas macroscópicas e microscópicas são bastante diferentes. No SATURN, a interferência do usuário do modelo é direta, através da definição dos fluxos de saturação e do controle nas interseções. No DRACULA, se dá indiretamente em decorrência da progressão dos veículos estimada pelo modelo microscópico. Cuidados são recomendados especialmente na modelagem de redes com níveis de carregamento em torno do ponto de saturação uma vez que distorções marginais nos dados podem gerar grandes impactos nos resultados.

Os conceitos de atraso nos modelos são apropriados de formas diferentes de modo que as diferenças encontradas foram notáveis. No SATURN refere-se ao atraso na interseção viária, e no DRACULA refere-se a velocidades inferiores a 0,5 m/s.

A avaliação do modelo microscópico *default* do DRACULA sugere que o motorista típico na rede real de Porto Alegre tem comportamento mais agressivo. Para calibração foi sugerido aumentar as velocidades desejadas, as taxas de aceleração normal e máxima, e ajustar o modelo de *lane-changing* de modo a intensificar as mudanças de faixa.

É importante salientar que a calibração no DRACULA envolve, além das características da rede e dos veículos, considerações sobre o comportamento dos motoristas. A diversidade de parâmetros é ampla de modo que existem maneiras alternativas de se obter um mesmo efeito. Assim, a calibração microscópica se torna mais complexa que a macroscópica.

O uso conjunto do SATURN e DRACULA apresenta uma série de vantagens devido à simplificação da codificação da rede e à importação de fluxos do modelo de escolha de rotas. Entretanto, apesar da base de dados comum, são necessários cuidados na apropriação da realidade e na leitura dos resultados pois as divergências na modelagem são significativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aden, T. S. (1995) *Variability studies using SATURN and DRACULA*. Msc Thesis. Institute for Transportation Studies, University of Leeds. Leeds, England.
- Algers, S., E. Bernauer, M. Boero, L. Breheret., C. Di Taranto, M. Dougherty, K. Fox, J. F. Gabard (1997) Review of Micro-Simulation Models. Report of the SMARTTEST Project - Deliverable D3. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.its.leeds.ac.uk/smartest> Arquivo capturado em maio de 2002.
- Cybis, H. B. B., L. A. Lindau, C. T. Nodari, D. R. C. Araújo (1999) Calibração e verificação do ajuste do modelo de alocação SATURN à rede de Porto Alegre. In: Congresso da ANPET, XIII, 1999, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ANPET, 1999b. v. I, p.325-332.
- Hall, M. D., D. Van Vliet e L. G. Willumsen (1980) SATURN – A Simulation-Assignment Model for the Evaluation of Traffic Management Schemes. *Traffic Engineering & Control*, v. 21, 168-176.
- LASTRAN (1997) *Redução das deseconomias urbanas com melhoria do transporte público: cidade de Porto Alegre*. Relatório Técnico. Laboratório de Sistemas de Transportes. Porto Alegre: Convênio TRENSURB, PMPA, UFRGS.

- Lieberman, E., A. K. Rathi (1997) Traffic Simulation. In: Transportation Research Board. *Traffic Flow Theory - Special Report 165*. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www-cta.ornl.gov/cta/research/trb/CHAP10.PDF](http://www.cta.ornl.gov/cta/research/trb/CHAP10.PDF). Arquivo capturado em maio de 2002.
- Liu, R. (2000) DRACULA Traffic Simulation Model – A User Guide. *Technical Note 407*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds. Leeds, England.
- Liu, R. (1994) DRACULA Microscopic Traffic Simulator. *ITS Working Paper 431*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds. Leeds, England.
- Liu, R., D. Van Vliet, D. Watling (1995) DRACULA – microscopic, day-to-day dynamic modeling of traffic assignment and simulation. In: Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering. *Proceedings...Capri: 1995*. p. 444-448.
- Liu, R., S. Shepherd, J. Schmöcker (2001) *Results of micro-simulation applied do the simple network and to the Minicam network*. Technical Report of DETR Project PPAD/9/84/30: Analysis of congested Networks - Annex C from Deliverable no 5/6. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.dft.gov.uk/itwp/economic/> Arquivo capturado em maio de 2002.
- Matzoros, T., D. Van Vliet, J. Randle, B. Weston (1987) A validation of the SATURN and ME2 models using before-and-after survey data from Manchester. *Traffic Engineering & Control*, London, v.28, n.12, p.641-643, dec., 1987.
- May, A. D., K. Phiu-Nual, F. O. Montgomery, S. Paksarsawan, T. Van Vuren (1992) Applications of SATURN in Bangkok. *Traffic Engineering & Control*. London, v. 34, n.1, p.20-27, dec., 1992.
- McSheen, J. R., R. C. Hale (1989) Traffic Modelling in Kuwait: – 1. Development of a SATURN network database. *Traffic Engineering & Control*. London, v.30, n.10, p.466-473, oct., 1989.
- Montero, L., E.Codina, J. Barceló, P. Barceló (1998) Combining macroscopic and microscopic approaches for transportation planning and design of road networks. In: 19th Conference of the Australian Road Research Board. *Proceedings...* Sidney: 1998. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.tss-bcn.com/arrb2.pdf>. Arquivo capturado em maio de 2002.
- Muizelaar, T. J. (2002) *One-way inner ring road in the city of York – Effects on traffic and the environment*. Technical Report. Leeds, England.
- Timms, P., D. Watling, R. Liu (1997) A calibration manual for DRACULA. *ITS Working Paper 478*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds. Leeds, England.
- Van Vliet, D. (1982) SATURN – A modern assignment model. *Traffic Engineering & Control*. London, p.578-581, dec., 1982.
- Van Vliet, D., M. Hall (2000) *SATURN 10.1 - User Manual*. Leeds: Institute for Transport Studies, University of Leeds. Leeds, England.
- Vincent, R. A., A. I., Mitchell, D. I. Robertson (1980) *User Guide to TRANSYT - version 8*, TRRL, LR 888. England.