

# Avaliação da operação de um terminal de transporte público através do micro-simulador DRACULA

*Paula Ariotti (PPGEP/UFRGS)*

*Rita de Cássia Zignani (PPGEP/UFRGS)*

*Davi Ribeiro Campos de Araújo (PPGEP/UFRGS)*

*Helena Beatriz Bettella Cybis (PPGEP/UFRGS)*

## Resumo

*Este trabalho apresenta um estudo de caso onde a operação do Terminal Triângulo Assis Brasil, em Porto Alegre, é modelada através do micro-simulador de tráfego DRACULA. O objetivo do estudo é analisar a circulação de veículos internamente ao terminal. A simulação permite avaliar a disposição das plataformas de embarque e desembarque de passageiros, o efeito no tráfego decorrente do acesso dos veículos aos pontos de parada, e os percursos dos veículos dentro do terminal. No estudo, foram modeladas duas alternativas de circulação das linhas de ônibus acessando o terminal. A simulação viabilizou uma melhor compreensão da operação do terminal, permitindo identificar pontos críticos no que se refere à formação de filas, e auxiliou a determinação da solução mais eficiente. O trabalho decorre de um Acordo de Cooperação Técnica firmado entre o LASTRAN/UFRGS e a EPTC.*

*Palavras chave: DRACULA; micro-simulação; simulação de tráfego.*

## 1. Introdução

O desenvolvimento urbano impulsiona a demanda por transportes, gerando a necessidade de intervenções e ajustes no sistema de transportes. Para a avaliação da eficiência de medidas alternativas, se faz necessário o uso de ferramentas de previsão como modelos de tráfego. A utilização dessas ferramentas permite uma melhor compreensão do sistema de interesse, subsidiando o aperfeiçoamento de soluções, e preservando a sociedade de custos e transtornos associados a medidas de eficácia duvidosa ou desconhecida.

Modelos microscópicos de tráfego são ferramentas apropriadas para estudos que exigem um elevado nível de detalhamento das condições do tráfego viário. Esses modelos representam cada veículo individualmente, avaliando explicitamente as interações entre as entidades. Assim, o uso de modelos microscópicos é adequado para avaliar situações onde os efeitos das interações veículo a veículo são importantes, como por exemplo: a circulação no entorno dos portões de acesso a pólos geradores de tráfego; a circulação em terminais de transporte público; análise de pontos e horários para carga e descarga de caminhões, entre outros.

Este artigo apresenta um estudo de caso utilizando-se o modelo microscópico de simulação de tráfego DRACULA para avaliação da operação do Terminal Triângulo Assis Brasil, em Porto Alegre. O objetivo do estudo é avaliar a circulação de veículos internamente ao terminal, focalizando a disposição das plataformas de embarque e desembarque de passageiros, o efeito no tráfego decorrente do acesso dos veículos aos pontos de parada, e os percursos dos veículos dentro do Terminal. O problema da circulação de veículos no terminal é complexo, envolvendo muitas entidades e sendo afetado por diversos fatores interagindo mutuamente. Assim, a simulação se torna uma ferramenta com grande potencial de contribuição.

O estudo decorre de um Acordo de Cooperação Técnica instituído entre o LASTRAN/UFRGS e a EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação). O convênio objetiva a implantação do micro-simulador DRACULA em Porto Alegre, como medida de qualificação das análises táticas de circulação no município.

## 2. O modelo DRACULA

O modelo DRACULA - *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* - (Liu, 2000), foi desenvolvido pelo *Institute for Transport Studies* da Universidade de Leeds, na Inglaterra. O DRACULA é um simulador microscópico e estocástico, que representa o movimento dos veículos

através de rotas pré-especificadas. A evolução dos veículos ao longo da rede é estimada através 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).

O modelo de *car-following* representa as interações longitudinais entre dois veículos adjacentes. A velocidade do veículo seguidor é função da sua velocidade desejada e do afastamento em relação ao veículo líder, à sua frente. O modelo de *lane-changing*, baseado em aceitação de brechas, representa a negociação dos veículos para troca de faixas na pista.

O DRACULA modela as linhas de transporte público reproduzindo o acesso dos veículos aos pontos de parada, e considerando o tempo estacionário para embarque de passageiros (Liu, 2000).

### **2.1 Dados de entrada**

O DRACULA exige três conjuntos de dados de entrada: descrição da rede viária, demanda de tráfego e características dos veículos e motoristas.

A rede viária é representada por um conjunto de nós e arcos que correspondem, respectivamente, às interseções viárias e aos trechos entre interseções adjacentes. São informados: o número de faixas em cada arco, a velocidade desejada média em cada arco, as restrições de conversões e faixas exclusivas, e o tipo de interseção (prioritárias ou semafóricas) com o respectivo controle de tráfego.

A demanda de tráfego é definida através de fluxos de veículos em rotas informados pelo usuário. Os dados de transporte público exigem informações adicionais: localização e linhas operando nos pontos de parada, demanda de passageiros para modelagem do tempo de embarque, e horário de início do serviço.

O DRACULA permite especificar seis diferentes tipos de veículo com características particulares as quais descrevem aspectos comportamentais dos motoristas e parâmetros operacionais dos veículos. A cada veículo gerado, são atribuídas aleatoriamente as seguintes características, a partir de valores médios e variâncias previamente informados: comprimento do veículo, acelerações, desacelerações, fator de velocidade (que é um multiplicador sobre a velocidade média do arco gerando a velocidade desejada do veículo), tempo de reação, distância mínima de segurança em fila, fator de aceitação de brechas (que define a agressividade dos veículos no modelo de aceitação de brechas), etc.

### **2.2 Dados de saída**

Os parâmetros de saída fornecidos pelo modelo podem ser referenciados a diferentes escalas de aplicação: para a rede, por tipo de veículo, por arco, por par origem-destino, por faixa, por indivíduo, etc. As medidas de performance, como tempo de viagem, distância percorrida, velocidade, tamanho de filas, consumo de combustível e emissão de poluentes, são disponibilizadas na forma de relatórios.

O DRACULA possui, ainda, um módulo de animação gráfica, que permite visualizar a progressão do tráfego em paralelo com a simulação, onde o sistema é atualizado em passos de 1 segundo. Este módulo facilita a calibração do modelo, uma vez que permite uma melhor compreensão do comportamento da rede.

## **3. Estudo de Caso**

Na presente seção, apresenta-se a modelagem da operação do Terminal Triângulo, focando-se as análises na circulação interna. O estudo de circulação nas vias adjacentes externas ao terminal é apresentado em (Giustina *et al.*, 2002).

### **3.1 O sistema de Transporte Público avaliado**

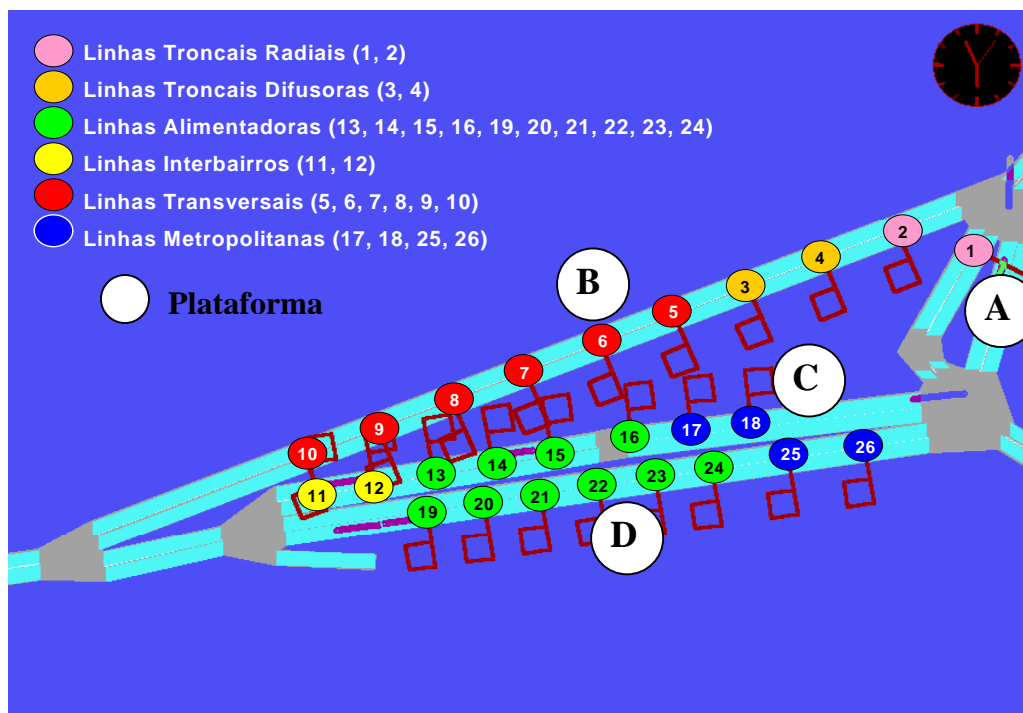
Os dados e a concepção operacional do sistema de transporte público efetivamente modelado corresponde ao previsto pelo Projeto Norte-Nordeste (Consórcio PROTRAN-Oficina, 1997). O Projeto Norte-Nordeste compreende a reformulação do sistema de transporte público que serve as regiões norte e nordeste de Porto Alegre. O período modelado correspondente ao pico vespertino, entre 18h e 19h.

As linhas de ônibus acessando o terminal são agrupadas em seis classes, conforme características operacionais: troncais radiais, troncais difusoras, interbairros, alimentadoras, transversais e metropolitanas. A tabela 1 indica a demanda de passageiros e a frequência horária total de cada grupo de linhas. A frequência total de veículos que acessam o terminal equivale a 372 veículos por hora.

Grupo	Embarque (passageiros)	Desembarque (passageiros)	Frequência (veic/h)
Troncais radiais	3352	4903	48
Troncais difusoras	455	153	13
Linhas interbairros	127	127	22
Linhas Alimentadoras	4903	3352	91
Linhas transversais	1036	1094	102
Linha Metropolitanas	968	290	96
<b>Totais</b>	<b>10841</b>	<b>9919</b>	<b>372</b>

**Tabela 1: Demanda estimada de passageiros e frequência das linhas no terminal**

Geometricamente, o Terminal Triângulo é composto de quatro plataformas (A, B, C e D), onde se localizam os pontos de parada para embarque e desembarque de passageiros. As plataformas são divididas em berços, onde cada berço é um espaço reservado para atender à um grupo específico de linhas. A proposta de alocação de linhas aos berços foi definida por técnicos da EPTC, sendo adaptada da concepção original do projeto Norte Nordeste. A figura 1 apresenta a disposição avaliada de berços nas plataformas e a correspondente alocação de linhas de ônibus às paradas.



**Figura 1: Disposição dos berços na plataformas e alocação de linhas**

O acesso e o estacionamento dos ônibus junto aos pontos de parada exerce significativo impacto na corrente de tráfego adjacente às plataformas. Os tempos estacionários dos veículos junto aos pontos de parada, definidos exogenamente ao modelo, foram determinados levando em consideração três diferentes critérios: tempo de atendimento à demanda, tempo mínimo, e tempo máximo de permanência. O tempo de atendimento à demanda foi estimado a partir da quantificação da demanda de passageiros, e levou em consideração a tecnologia de embarque (largura de porta, desnível relativo, e forma de pagamento da tarifa). O limite mínimo representa o intervalo de tempo em que o veículo permaneceria parado no ponto mesmo não havendo passageiros embarcando; e o limite máximo indica a tolerância para que não se comprometa a rotatividade de veículos associada à frequência horária das linhas. Esses limites foram definidos por técnicos da EPTC responsáveis pela programação operacional das linhas, e refletem valores

usuais de campo.

As taxas para embarque e desembarque de passageiros - conforme o desnível relativo entre a plataforma e o veículo, e a forma de pagamento da passagem - foram obtidas do *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (Kittelson and Associates, 1999). Em cada plataforma do terminal, adotou-se:

- Plataforma A: embarque e desembarque em nível;  
transferência livre;  
embarque: **1s**;  
desembarque: **1s**.
- Plataformas B e C: embarque e desembarque em desnível;  
transferência livre;  
embarque: **2s**;  
desembarque: **1,7s**.
- Plataforma D: embarque e desembarque em desnível;  
diversas modalidades de pagamento;  
embarque: **3s**;  
desembarque: **1,7s**.

No presente estudo, foram avaliadas duas alternativas de percurso das linhas de ônibus no terminal. Os itinerários das linhas consistem em adaptações da proposta do Projeto Norte-Nordeste. As alternativas A e B assumem como variante o ponto de acesso ao terminal para uma parcela das linhas alimentadoras (aproximadamente 40 veic/h). A alternativa A prevê o acesso dessas linhas pela av. Baltazar de O. Garcia; já a alternativa B propõe o acesso pela av. Assis Brasil. A figura 2 ilustra as alternativas de percurso avaliadas (A e B).

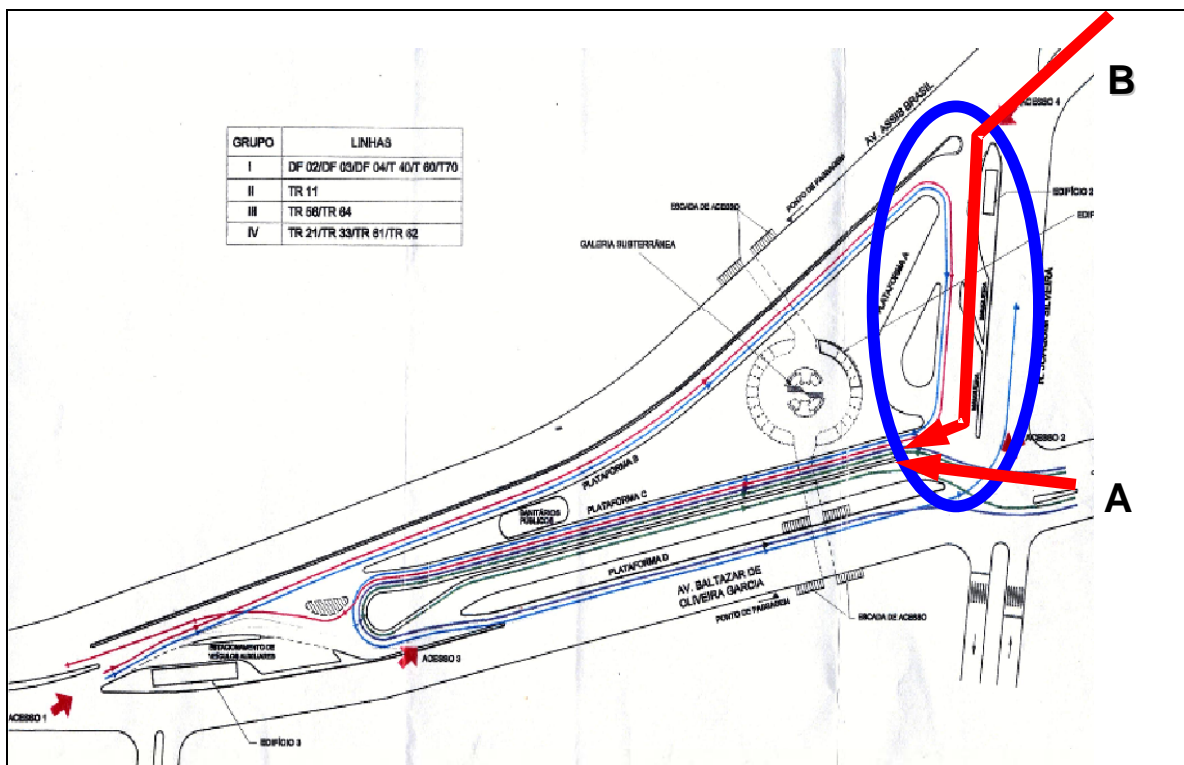


Figura 2: Representação das alternativas de percurso A e B

### 3.2 Modelagem dos cenários

A circulação no interior do terminal foi avaliada através da animação e dos relatórios de saída do Avaliação da operação de Terminal de Transporte Público através do micro-simulador DRACULA

DRACULA. A animação da simulação não revelou formação de filas crescentes, indicando condições satisfatórias de circulação para ambas as alternativas. Os parâmetros de saída agregados nas redes das alternativas apresentam valores similares, conforme a tabela 2.

	Alternativa A	Alternativa B
<b>Atraso em fila (veic x h)</b>	8,2	8,1
<b>Velocidade média (km/h)</b>	16,0	16,1
<b>Tempo total de viagem (veic x h)</b>	12,4	12,4
<b>Distância total percorrida (Km x veic)</b>	196,7	198,5

**Tabela 2: Comparação de parâmetros estimados agregadamente para o Terminal**

As variações entre os percursos das alternativas A e B estão concentradas no arco adjacente à plataforma A. A tabela abaixo apresenta os parâmetros estimados apenas para aquele arco, correspondente a cada alternativa modelada.

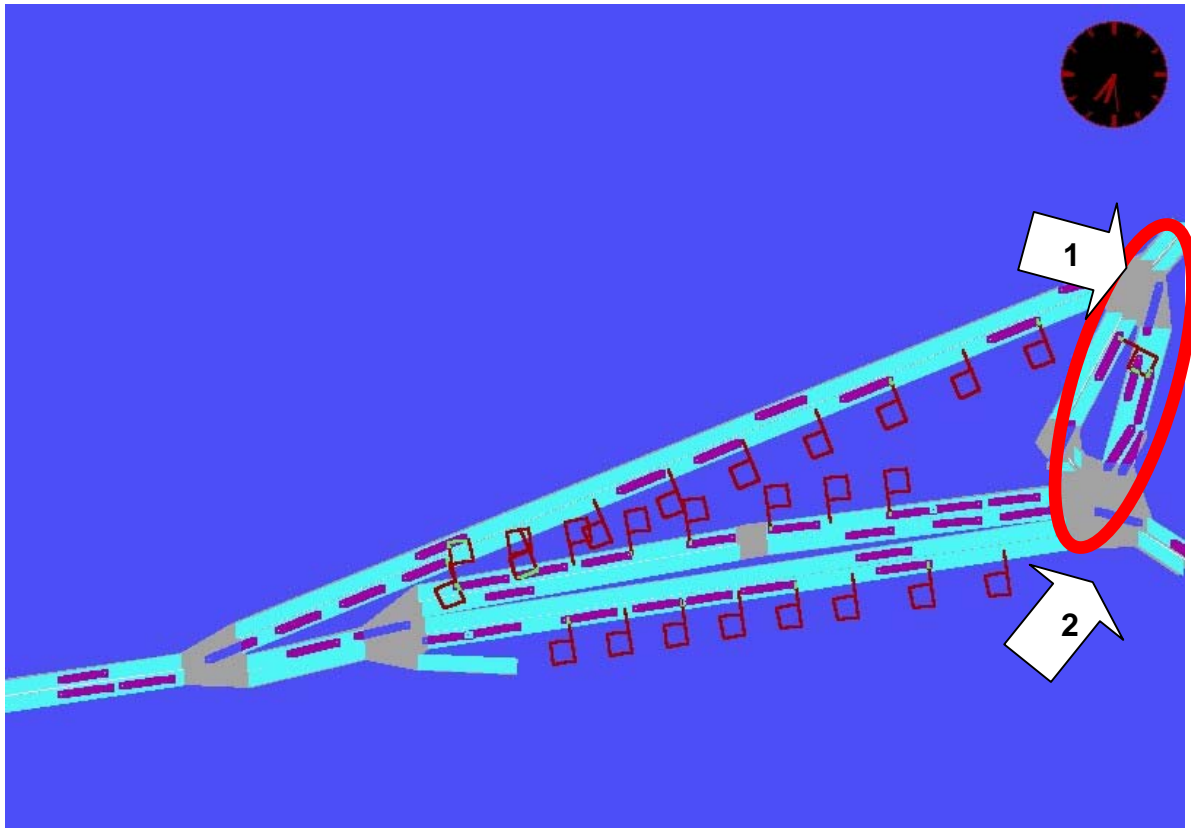
	Alternativa A	Alternativa B
<b>Atraso em fila (veic x h)</b>	0,1	0,3
<b>Tempo total de viagem (veic x h)</b>	0,4	0,8
<b>Velocidade média (km/h)</b>	28,4	20,4
<b>Fluxo médio (veic/h)</b>	211	251
<b>Comprimento médio de filas (m)</b>	0,3	2,2

**Tabela 3: Comparação de parâmetros estimados no arco adjacente à Plataforma A**

A partir da tabela 3, é possível concluir que a modelagem indica condições de circulação menos favoráveis na Alternativa B, onde o arco avaliado apresenta maior fluxo, maior comprimento médio de fila, e maiores atrasos.

#### *Análise de variabilidade*

Para reproduzir os efeitos da variabilidade aleatória, foram simulados dez cenários com configurações de rede e demanda idênticas (para cada alternativa de percurso), porém com diferentes sementes estocásticas. A partir da animação, foi possível observar que no cenário B, ocasionalmente, a fila formada no arco adjacente à Plataforma A crescia até atingir a interseção à montante bloqueando a entrada de veículos no terminal (ponto 1, figura 3). A figura 3, capturada da animação do DRACULA, ilustra esse fato.



**Figura 3: Propagação de fila ocasional, no arco adjacente à plataforma A (Alternativa B)**

A tabela 4 apresenta as velocidades médias estimadas para os dez cenários de cada alternativa, a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação das observações.

Rodada	Alternativa A	Alternativa B
1	28,7	19,7
2	27,9	23,6
3	28,5	18,5
4	28,2	21,7
5	28,2	23,3
6	28,8	20,2
7	28,1	12,2
8	28,3	23,3
9	28,2	21,7
10	28,6	19,7
$\mu$	<b>28,4</b>	<b>20,4</b>
$\sigma$	<b>0,3</b>	<b>3,4</b>
$\sigma/\mu$	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>

**Tabela 4: Variabilidade da velocidade média no arco adjacente à plataforma A**

A tabela 4 indica que a média dentre as velocidades na alternativa A é maior que na Alternativa B. A alternativa B apresenta maiores desvio padrão e coeficiente de variação. O fato se deve ao acréscimo relativo na demanda de veículos através do arco (conforme tabela 3), o que gera maiores atrasos na negociação de brechas junto à interseção de jusante (ponto 2, figura 3).

#### 4. Conclusões

O presente trabalho descreve um estudo de caso avaliando a operação do Terminal Triângulo Assis Brasil, em Porto Alegre. O estudo decorre de um Acordo de Cooperação Técnica instituído entre o LASTRAN/UFRGS e a EPTC, que visa a implantação do micro-simulador DRACULA em Porto Alegre.

O estudo analisou a circulação de veículos internamente ao terminal. A simulação permitiu avaliar a disposição das plataformas de embarque e desembarque de passageiros, o efeito no tráfego decorrente do acesso dos veículos aos pontos de parada, e os percursos dos veículos dentro do terminal.

No estudo, foram investigadas duas alternativas de percurso para parte das linhas do terminal. As variações de percurso estão concentradas no arco adjacente à plataforma A, e envolvem o ponto de entrada no terminal. A partir da animação e da análise dos parâmetros agregados das duas alternativas (A e B) observou-se que ambas não indicam formação de filas crescentes, caracterizando condições de circulação satisfatórias.

A alternativa A, entretanto, apresentou vantagens em relação à alternativa B: menor atraso e maior velocidade no arco adjacente à plataforma A. A alternativa B, por sua vez, apresentou maior variabilidade aleatória nas velocidades médias do arco e, ocasionalmente, revelou propagação de filas bloqueando a interseção à montante.

O modelo de micro-simulação DRACULA permitiu uma melhor compreensão da operação do Terminal Triângulo, avaliando a circulação interna de maneira eficaz. Assim, o modelo constitui-se numa ferramenta de apoio à programação e ao planejamento operacional de terminais de ônibus com grande potencial de contribuição.

#### 5. Referências Bibliográficas

CONSÓRCIO PROTRAN-OFFICINA (1997) *Reformulação Operacional e Tecnológica do Sistema de Transporte do Corredor Norte / Nordeste*. Relatório Técnico, sob contrato PMPA/SMT.

GIUSTINA, C. D., GUZEN, E. R., ARAÚJO, D. R. C., CYBIS, H. B. B. (2002) Aplicação do micro-simulador de tráfego DRACULA em Porto Alegre. *Pesquisas em Engenharia de Produção e Transportes - Anais da 2ª Semana de Engenharia de Produção e Transportes*, Porto Alegre. UFRGS/FEEng, 2002.

KITTELSON AND ASSOCIATES, INC. (1999) *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

LIU, R. (1994). DRACULA Microscopic Traffic Simulator. *ITS Working Paper 431*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds.

LIU, R. (2000). DRACULA Traffic Simulation Model – A User Guide. *Technical Note 407*. Institute for Transport Studies, University of Leeds.