

# Uso de Modelos de Oportunidades Intervenientes na Análise da Localização de Novos Pólos Atratores de Tráfego em Áreas Urbanas

PROF. DR. NILO KÜHLKAMP <sup>1</sup>  
PROF. DR. ISMAEL ULYSSÉA NETO <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFSC – Depto. de Matemática  
88.040-900 Florianópolis SC

<sup>2</sup> UFSC – Depto. de Engenharia Civil  
88.040-900 Florianópolis SC  
[ecv1iun@ecv.ufsc.br](mailto:ecv1iun@ecv.ufsc.br)

**Resumo:** Após enfatizar a importância dos modelos de oportunidades intervenientes na estimativa do tráfego veicular atraído pelos pólos atratores de tráfego (PAT) em áreas urbanas, e seus efeitos sobre o sistema viário, os autores oferecem uma análise destes efeitos mediante de um exemplo simulado de rede viária. Através do uso do modelo de oportunidades intervenientes de Schneider, simula-se a abertura de um PAT em um conjunto de zonas alternativas e evidenciam-se os efeitos diferenciados do aumento de tráfego sobre os segmentos viários de maior interesse. Conclui-se que os modelos de oportunidades intervenientes são ferramentas simples e operacionais que podem ser utilizadas no contexto da gestão territorial urbana, especialmente na análise da influência de PAT's sobre as condições de operação veicular nas vias circunvizinhas a estes PAT's.

**Abstract:** After emphasizing the importance of the intervening opportunities model on the estimation of the amount of traffic attracted by traffic attracting hubs (TAH) in urban areas, and their effects upon the traffic on the street system, the authors carry on an analysis of such effects by means of an example using a simulated street network. Using the Schneider's intervening opportunities model, the location of a new TAH is simulated for a set of traffic zones and their different effects on traffic volumes for a certain set of zones is analysed. It is concluded that the intervening opportunities models are indeed very simple and useful tools to estimate spatial distribution effects on traffic, over the street network, caused by changes on the land use pattern. Regarding specially the concern on these effects on the quality of traffic flow such procedure offers an interesting way of foresee future problems and provides an opportunity to curb them so as to prevent traffic congestion.

## 1 Introdução

A contínua monitoração da evolução da estrutura urbana e do sistema viário urbano é condição necessária para que a gestão territorial urbana se processe de forma adequada. Na medida em que o crescimento populacional de uma cidade e sua correspondente expansão territorial, ocorrem de forma acelerada, seus problemas de circulação viária (tráfego de veículos) e de insuficiência de áreas de estacionamento também se avolumam a ponto de despertarem a preocupação dos órgãos responsáveis pela gestão do espaço urbano. De uma forma mais aguda, estes problemas se fazem sentir na “vizinhança” de grandes pólos atratores de tráfego (PAT) tais como hipermercados, shopping centers, escolas, centros de convenções, estádios de futebol, etc. (vide Goldner e Portugal, 2002a).

Isto ocorre porque estes pólos atratores de tráfego, via de regra, promovem uma concentração de tráfego numa área relativamente restrita do sistema viário urbano e, conseqüentemente, levam a um desequilíbrio entre a demanda de espaço viário de circulação (volumes de tráfego, V) e a oferta deste mesmo espaço (capacidade de tráfego das vias, C). De fato, os congestionamentos surgem quando a relação V/C se torna igual ou maior que a unidade.

Assim, a implantação de um novo pólo atrator de tráfego em uma área urbana exige dos administradores públicos um estudo dos efeitos que ele terá sobre o tráfego em suas proximidades, para que as alterações e/ou adaptações necessárias no sistema viário, para atender à nova demanda, sejam realizadas antes que os efeitos deste novo pólo sobre o tráfego passem a afligir a população.

No Brasil, um tipo especial de pólos atratores de tráfego tem despertado a atenção dos planejadores urbanos, em geral, e dos planejadores de transportes, em particular. São os Shopping Centers. De fato, o crescimento do número de Shopping Centers tem sido significativo nas últimas três décadas. Em 1970 havia apenas 1 (um) Shopping Center e em 2001 este número já atingia a cifra de 168 (Grando e Portugal, 2002b).

Embora recentemente tenham surgido novas propostas de metodologias para a realização de estimativas do tráfego atraído por um Shopping Center (vide, por exemplo Grando e Portugal, 2002b, 2003), usualmente estas baseiam-se em alguma medida de atratividade do Shopping (Área Bruta Locável, por exemplo) e não levam em conta os efeitos oriundos das oportunidades intervenientes oferecidas pelo Shopping, vis-à-vis o conjunto de destinos alternativos ao mesmo. Uma análise mais adequada destes efeitos, contudo, deve levar em conta não apenas as modificações causadas sobre o padrão de distribuição espacial da demanda de circulação viária no entorno do Shopping, mas também na área de estudos como um todo.

Os modelos de oportunidades intervenientes constituem um instrumento de grande valia para a realização deste tipo de análise, uma vez que têm o poder de quantificar os efeitos que as oportunidades oferecidas em um novo Shopping Center podem causar sobre a distribuição espacial do tráfego de veículos em toda a área de estudo. Em especial, estes modelos permitem que sejam quantificadas as variações de demanda de circulação viária no entorno e 'a jusante' do Shopping.

## 2 Os modelos de oportunidades intervenientes e os pólos atratores de tráfego

A obtenção dos modelos de oportunidades intervenientes está fundamentada basicamente na probabilidade de um viajante que se desloca a partir de uma zona de tráfego '*i*' ter seu propósito de viagem (i.e. sua necessidade) satisfeito numa determinada zona de tráfego '*j*', levando em conta as oportunidades oferecidas nas demais zonas de destino alternativas. Esta probabilidade será tanto maior quanto maior for o número de oportunidades (que são as possibilidades de satisfazer o desejo, ou a necessidade, do viajante) oferecidas na zona *j* em questão, e tanto menor quanto maior for o número de oportunidades intervenientes entre *i* e *j* (Schneider, 1959).

O modelo usual de oportunidades intervenientes, ou modelo de Schneider, é dado por

$$T_{ij} = O_i \cdot k_i \cdot e^{-\lambda W_{ij}} \left( 1 - e^{-\lambda V_j} \right)$$

onde

- $T_{ij}$  = número de viagens com origem na zona *i* e destino na zona *j*;
- $O_i$  = número de viagens com origem na zona *i*;
- $\lambda$  = probabilidade de uma oportunidade ser aceita se for considerada;
- $W_{ij}$  = número de oportunidades intervenientes entre as zonas *i* e *j*;
- $V_j$  = número de oportunidades oferecidas pela zona *j*, e
- $k_i$  = fator de balanceamento das origens *i* (constante para cada *i*).

As oportunidades intervenientes entre as zonas *i* e *j*, representadas por  $W_{ij}$ , são as oportunidades oferecidas pelas zonas da área de estudo que se interpõem entre as zonas *i* e *j*. Isto é,  $W_{ij}$  representa o conjunto das oportunidades oferecidas pelas zonas que o viajante 'acessa' mais facilmente (a partir da zona *i*) do que a zona *j*. Esta maior ou menor 'acessibilidade' pode ser considerada em termos da distância entre as zonas, ou do tempo de viagem ou do custo generalizado de transporte entre elas. A representação geométrica se torna mais simples quando se considera apenas a distância física entre as zonas como o fator que determina a acessibilidade. Neste caso são consideradas intervenientes entre as zonas *i* e *j* as oportunidades oferecidas pelas zonas cujos centróides estão contidos no círculo de centro no centróide de *i* e raio igual à distância entre os centróides de *i* e de *j*. Uma ilustração é oferecida na Figura 1.

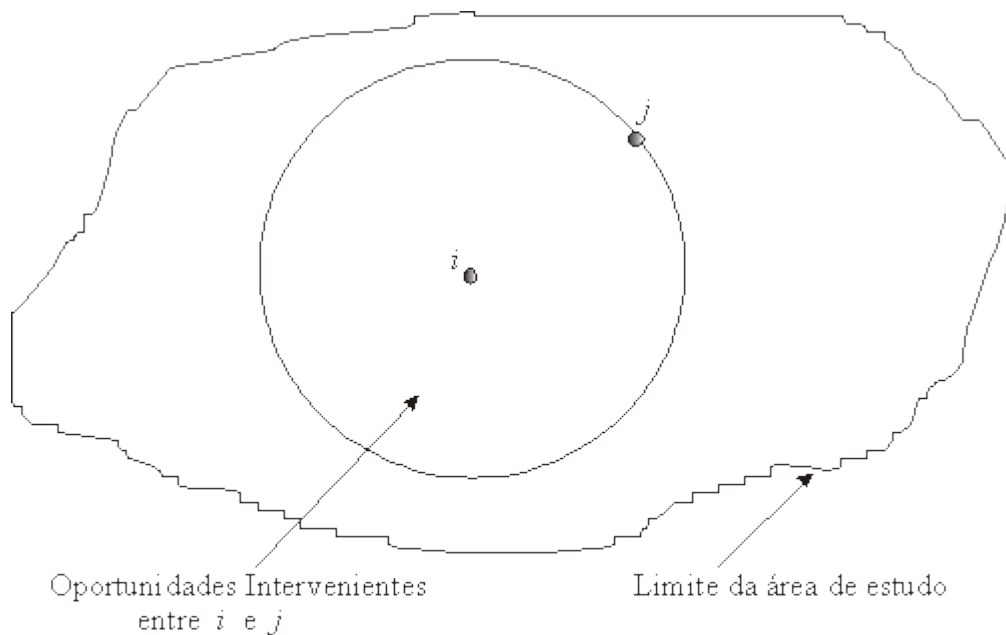


Figura 1 - Delimitação do conjunto das oportunidades intervenientes

Fonte: HUTCHINSON (1979) - Adaptação

Ao se analisar o modelo de Schneider acima, observa-se que a exponencial

$$e^{-\lambda W_{ij}}$$

assegura que, mantidos fixos os números  $V_j$  e  $O_i$ , ocorrendo um aumento no número  $W_{ij}$  de oportunidades intervenientes entre as zonas  $i$  e  $j$ , haverá uma redução no número de viagens da zona  $i$  para a zona  $j$ , estimado pelo modelo. Isto ocorre porque sendo  $\lambda$  e  $W_{ij}$  números positivos, a exponencial em pauta possui expoente negativo e portanto decresce tanto com o crescimento de  $W_{ij}$  quanto com o de  $\lambda$ .

Por outro lado, mantidos fixos os números  $W_{ij}$  e  $O_i$ , o valor da expressão

$$1 - e^{-\lambda V_j} = 1 - \frac{1}{e^{\lambda V_j}}$$

aumenta quando se aumenta o número  $V_j$  das oportunidades oferecidas pela zona  $j$ . Isto assegura que, nestas condições, o número de viagens da zona  $i$  para a zona  $j$ , estimado pelo modelo, cresce quando cresce o número de oportunidades oferecidas pela zona  $j$  e decresce quando  $V_j$  decresce.

Devido aos princípios sobre os quais se fundamentam os modelos de oportunidades intervenientes, ao se fazer com qualquer outro modelo convencional de oportunidades intervenientes a mesma análise aqui feita, obter-se-á a mesma conclusão (obtida com o modelo de Schneider), isto é, o número de viagens  $T_{ij}$  com origem na zona  $i$  e destino em  $j$  é uma função decrescente de  $W_{ij}$  e crescente de  $V_j$ . Conceitualmente é esta a razão pela qual estes modelos são particularmente adequados para analisar o impacto causado sobre a rede viária pela implantação de um novo pólo atrator de tráfego numa área urbana.

### 3 Análise do impacto sobre o número de viagens a zonas de tráfego e em segmentos selecionados do sistema viário, ao se implantar um novo pólo atrator de tráfego em diferentes zonas da área de estudo

Nesta seção o modelo de Schneider será aplicado com a nova calibração para ele desenvolvida por Kühlkamp e Ulysséa Neto (2003), segundo a qual a probabilidade  $\lambda$  de uma oportunidade ser aceita, se considerada, é igual ao inverso do número médio de oportunidades por viagem analisadas pelo viajante. Esta calibração é feita através do processo iterativo descrito no fluxograma apresentado na figura 2.

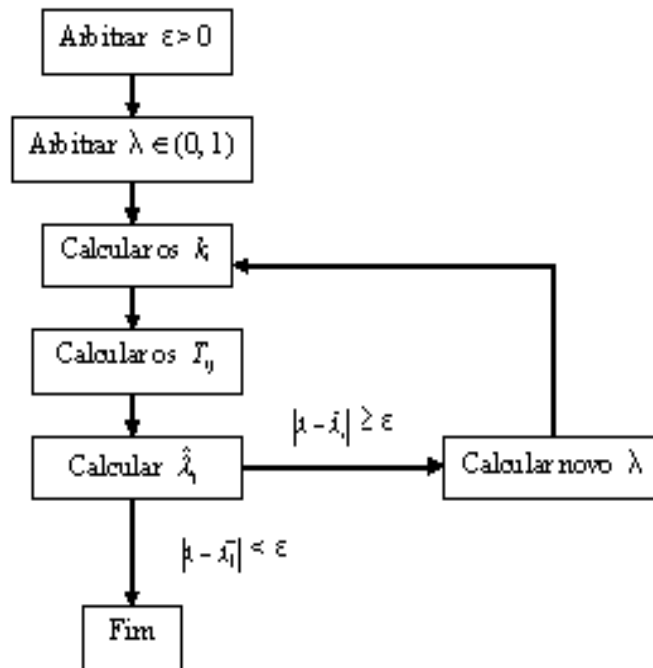


Figura 2 – Fluxograma de caracterização do processo iterativo utilizado para calibrar o modelo de Schneider.

Os valores de  $k_i$ ,  $T_{ij}$ ,  $\hat{\lambda}_1$  e novo  $\lambda$  no processo iterativo descrito pelo fluxograma da figura 2 são calculados através das fórmulas

$$k_i = \left[ \sum_{j=1}^n e^{-\lambda W_{ij}} \left( 1 - e^{-\lambda V_j} \right) \right]^{-1},$$

$$T_{ij} = O_i \cdot k_i \cdot e^{-\lambda W_{ij}} \left( 1 - e^{-\lambda V_j} \right),$$

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{\sum_{i,j} T_{ij}}{\sum_{i,j} T_{ij} (W_{ij} + V_j)}$$

e

$$\text{novo } \lambda = \frac{\lambda + \hat{\lambda}_1}{2}.$$

A aplicação será feita a uma área de estudo hipotética com 30 zonas de tráfego apresentada em Kühlkamp (2003) e reproduzida abaixo na Figura 3.

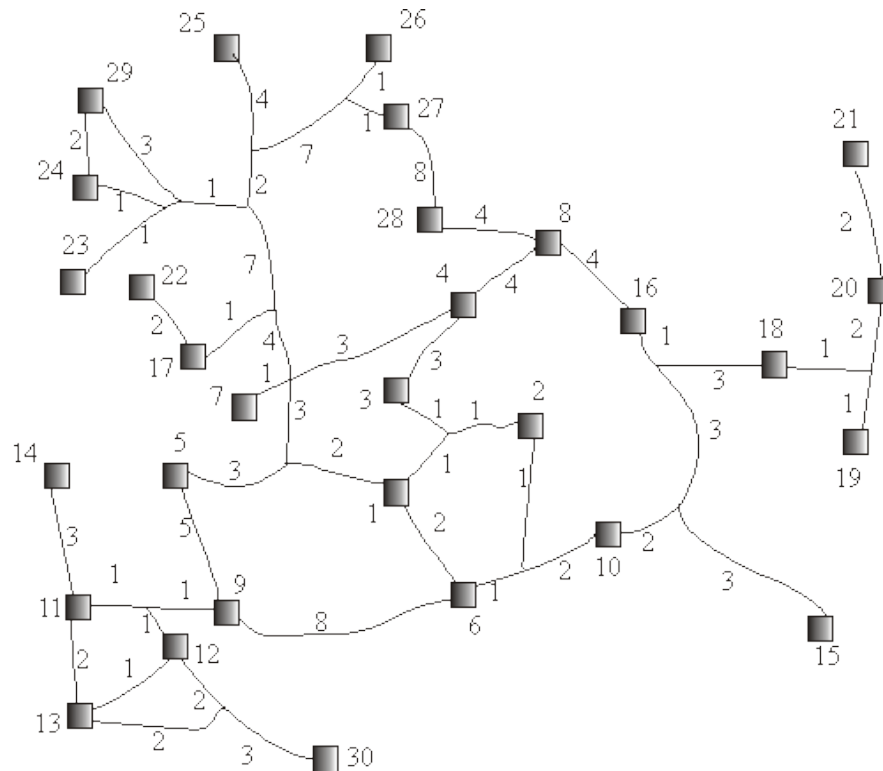


Figura 3 - Representação da área de estudo através de um grafo

O número de viagens originadas em cada zona de tráfego  $i$ ,  $O_i$ , e o número de oportunidades oferecidas em cada uma das zonas  $j$ ,  $V_j$ , são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Viagens originadas e oportunidades oferecidas em cada zona de tráfego.

NÚMERO DA ZONA	$O_i$	$V_j$	Número da zona	$O_i$	$V_j$
1	6000	20000	16	100	100
2	1200	5000	17	450	100
3	2100	100	18	600	200
4	3000	2000	19	300	100
5	1200	500	20	450	100
6	3000	1000	21	300	100
7	3000	200	22	300	100
8	1500	300	23	1500	100
9	4000	60000	24	2400	500
10	450	100	25	4500	1500
11	4000	4000	26	5000	3000
12	1500	200	27	450	100
13	1000	1000	28	450	100
14	300	300	29	300	100
15	900	800	30	1500	500

No que se segue passamos a analisar alguns reflexos da implantação de um novo pólo atrator de tráfego (PAT) sobre o número de viagens atraídas a um conjunto de zonas selecionadas, bem como sobre alguns segmentos selecionados da rede viária. Vamos admitir que um novo PAT, um centro comercial por exemplo, que oferecerá 10.000 oportunidades (as oportunidades oferecidas, neste caso, devem ser

contadas pelo número de itens de venda que se encontram disponíveis aos consumidores), está para ser instalado na área de estudo representada na Figura 3.

Quatro locais diferentes para a localização deste centro comercial são analisados, a saber: as zonas 5, 6, 9 e 11. A Tabela 2 apresenta o número de viagens que têm, simultaneamente, origem e destino em uma das zonas 11, 12, 13, 14 e 30, estimadas pelo modelo de Schneider nas situações da área de estudo antes (original) e após a implantação (nas zonas 5, 6, 9 e 11, respectivamente), do novo pólo atrator de viagens aqui em consideração. Esta tabela apresenta também a variação estimada do fluxo de viagens no segmento da rede viária que liga a zona 9 ao bloco de zonas formado pelas zonas 11, 12, 13, 14 e 30.

Tabela 2 – Número de viagens entre pares selecionados de origem e destino antes e depois da implantação de novo pólo atrator de tráfego (respectivamente nas zonas 5, 6, 9 e 11), o valor de  $\lambda$  com o respectivo número de iterações com o qual o processo iterativo atingiu a estabilidade em cada caso e a variação do fluxo previsto no segmento da rede viária que liga a zona 9 às zonas 11, 12, 13, 14 e 30.

	Situação original	$V_5+10000$	$V_6+10000$	$V_9+10000$	$V_{11}+10000$
$T_{11-12}$	17,545	17,021	17,183	15,509	17,127
$T_{11-13}$	87,068	84,462	85,282	76,998	84,987
$T_{11-14}$	8,131	7,914	7,868	7,147	8,301
$T_{11-30}$	13,469	13,095	13,016	11,828	13,749
$T_{12-11}$	118,553	115,467	116,392	105,924	325,478
$T_{12-13}$	31,083	30,279	30,532	27,596	26,621
$T_{12-14}$	2,702	2,633	2,618	2,401	2,015
$T_{12-30}$	4,465	4,363	4,327	3,977	3,339
$T_{13-11}$	85,034	82,659	83,403	75,387	258,124
$T_{13-12}$	4,427	4,308	4,347	3,908	4,197
$T_{13-14}$	1,938	1,883	1,873	1,718	1,598
$T_{13-30}$	3,226	3,141	3,116	2,844	2,664
$T_{14-11}$	25,134	24,456	24,679	22,304	76,598
$T_{14-12}$	1,204	1,178	1,184	1,076	0,959
$T_{14-13}$	5,983	5,821	5,873	5,356	4,753
$T_{14-30}$	0,928	0,741	0,899	0,817	0,762
$T_{30-11}$	124,954	121,489	122,569	111,053	379,637
$T_{30-12}$	6,506	6,322	6,389	5,745	6,164
$T_{30-13}$	32,886	31,972	32,275	29,028	31,166
$T_{30-14}$	2,847	2,772	2,755	2,514	2,356
Soma	578,083	561,976	566,58	513,13	1.250,6
Valor de $\lambda$	$1,9161 \cdot 10^{-5}$	$1,9120 \cdot 10^{-5}$	$1,9379 \cdot 10^{-5}$	$1,6569 \cdot 10^{-5}$	$1,8430 \cdot 10^{-5}$
Iterações	20	22	22	19	21
Fluxo das zonas 11, 12, 13, 14 e 30 para as demais (i.e. $O_{11}+O_{12}+O_{13}+O_{14}+O_{30}$ – viagens entre estas zonas)	7.721,917	7.738,024	7.733,42	7.786,87	7.049,4
		(+0,208%)	(+0,148%)	(+0,841%)	(–8,709%)
Fluxo para as zonas 11, 12, 13, 14 e 30, provenientes das demais zonas.	1.679,123	1.405,995	1.408,229	1.600,58	3.896,931
		(–16,26%)	(–16,13%)	(–4,67%)	(+132,08%)

As duas últimas linhas da Tabela 2 mostram a variação estimada pelo modelo de Schneider no número de viagens que utilizam o segmento de ligação da zona 9 com o bloco de zonas constituído pelas zonas 11, 12, 13, 14 e 30. Os percentuais registrados na penúltima linha desta tabela mostram que as viagens originadas no bloco de zonas em pauta e com destino fora dele, isto é, as que utilizam o segmento de ligação do mesmo com a zona 9 não sofre alteração considerável pois em nenhum caso o aumento atinge a marca de 1%, e há inclusive uma redução de 8,709% no caso da implantação do novo pólo atrator na zona 11.

A última linha da Tabela 2, por sua vez, mostra que ao se implantar o pólo atrator em questão na zona 5,

na zona 6 ou na zona 9, o número de viagens com origem fora do bloco formado pelas zonas 11, 12, 13, 14 e 30 e com destino dentro dele, sofre reduções que variam de 4,67% a 16,26%. Este número, porém, sofre o aumento significativo de 132,08%, quando o novo pólo atrator for implantado na zona 11. Esta constatação indica a necessidade de uma análise das conseqüências que um elevado aumento no fluxo de veículos, gerado por este aumento de viagens neste segmento, terá sobre as condições da circulação veicular (nível de serviço). Em outras palavras, deve-se verificar se a nova relação V/C é aceitável ou não. Em caso negativo, deverá então ser feito um estudo das ações a serem implementadas a fim de evitar os problemas que serão causados à população com os congestionamentos de tráfego previstos neste segmento viário.

#### 4 Considerações finais

Além da análise simples e direta feita acima, outras análises podem ser feitas tanto com relação a outros segmentos da rede viária quanto em relação a uma determinada zona de tráfego. Por exemplo, com relação à zona 5, na situação original (sem o novo PAT) o número de viagens que tinham ali o seu destino,

isto é, a soma  $\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 5}}^{30} T_{i5}$ , totalizava 353,838 e com a implantação do novo PAT nesta zona esta soma

totalizará 6.484,536. Em termos percentuais este aumento é de 1.732,6%. Certamente este aumento brutal no número de viagens atraídas à zona 5 trará consigo sérios problemas à circulação veicular internamente à zona, mormente se seu sistema viário interno não apresentar condições de capacidade para absorver o incremento de tráfego ocasionado.

De forma preventiva, um estudo pormenorizado em relação à possibilidade do sistema viário da zona 5 absorver este novo volume de tráfego (atraído pelo novo PAT), permitirá que o poder público, antes de conceder a viabilidade ao empreendimento, estabeleça limites de tamanho ao mesmo e/ou programe modificações no sistema viário da zona afetada, no sentido de preservar a qualidade da operação do tráfego. Fica, assim, evidenciada a necessidade de as autoridades responsáveis disporem de uma ferramenta que permita antever os desequilíbrios causados por modificações na estrutura urbana.

#### 5 Conclusões

Neste trabalho mostrou-se a importância dos estudos de localização de pólos atratores de tráfego em áreas urbanas e da necessidade de o poder público dispor de ferramentas que permitam estimar os impactos que estes PAT's causam sobre a circulação veicular em suas circunvizinhanças. Demonstrou-se, através de uma aplicação prática, que os modelos de oportunidades intervenientes oferecem um meio simples e eficiente de estimar os impactos causados pelos PAT's sobre o sistema viário.

Conclui-se que com o uso adequado dos modelos de oportunidades intervenientes mais simples, como o de Schneider, por exemplo, pode-se estimar o número de viagens atraídas pelo PAT e, a partir daí, estimar os incrementos nos volumes de tráfego nas vias que se situam em seu entorno.

Dependendo da localização do PAT as variações de tráfego podem ser brutais, ocasionando muitas vezes problemas de congestionamento em várias vias, problemas de estacionamento nas áreas próximas ao PAT e outros problemas colaterais tais como aumento dos níveis de ruído, poluição atmosféricas, riscos de acidentes, etc.

#### Referências

**Goldner, L.G. e Portugal, L.S.:** *Assessing the impacts of shopping centers on urban road systems*. Traffic Engineering and Control, V. 43, No. 5, p. 199-203. 2002.

**Goldner, L.G. e Portugal, L.S.:** *Trip Generation by Brazilian and Spanish Shopping Centres*. International Planning Studies, V. 7, No. 3, p. 227-241. 2002b.

**Goldner, L.G. e Portugal, L.S.:** *Estudo de pólos geradores de tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transportes*. Editora Edgard Blücher, São Paulo. 2003. 322 páginas.

**Hutchinson, B. G.:** *Princípios do planejamento dos sistemas de transporte urbano*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S. A., 1979.

**Kühlkamp, N.:** *Modelo de oportunidades intervenientes, de distribuição de viagens, com ponderação das*

*posições relativas das oportunidades*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFSC, 2003.

**Kühlkamp, N. e Ulysséa Neto, I.:** *Modelos de oportunidades intervenientes de distribuição de viagens: Um novo método de calibração do modelo de Schneider*. Transportes – ANPET, v. XI, n. 1, p. 19 – 23, 2003.

**Schneider, M.:** *Gravity models and trip distribution theory*. Papers and Proceedings of the Regional Science Association, v. 5, p. 51-56, 1959.