

# **ESTIMATIVA DE UMA MATRIZ O-D DE TRANSPORTE INTERURBANO DE VEÍCULOS LEVES, USANDO MODELOS ECONOMÉTRICOS E CONTAGENS VOLUMÉTRICAS**

**Katiani da Conceição Loureiro**

**Mirian Buss Gonçalves**

**Edson Tadeu Bez**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **RESUMO**

Nas últimas décadas, as técnicas de modelagem da demanda por transportes vêm sendo uma das principais ferramentas de auxílio ao planejamento de transportes. Modelos matemáticos, ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados, com o intuito de melhorar no que se refere à precisão das estimativas de viagens. Neste contexto é importante a determinação de uma matriz de origem-destino (O-D) para representar os padrões de fluxos. Buscando contribuir neste processo propõe-se um modelo econométrico, incorporando algumas variáveis do modelo gravitacional clássico, além de variáveis sócio-econômicas, para estimar uma matriz O-D de veículos leves em redes interurbanas, usando contagens volumétricas.

O modelo será testado em uma rede interurbana localizada na região Oeste do Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil, utilizando informações de contagens de tráfego coletadas em alguns links da região.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os deslocamentos de pessoas ou de mercadorias, em uma região, podem ser representados por matrizes O-D. Uma matriz O-D é uma ferramenta que tem utilidade em planejamento, avaliação de alternativas e simulação de fluxos de tráfego, bem como na avaliação de alocação de investimentos em transportes.

O procedimento utilizado para estimar matrizes O-D de viagens depende dos recursos disponíveis e do propósito para o qual se deseja utilizá-las. Tradicionalmente, as demandas são estimadas através de um processo que possui quatro etapas e que requer pesquisas de campo bastante detalhadas, geralmente com custos elevados, de forma a obter as informações necessárias para a realização das etapas (Ortúzar e Willumsen, 2001).

Entretanto, no início da década de 1970, percebeu-se a necessidade de se obter matrizes O-D de viagens de forma rápida e econômica. Nesta década, alguns pesquisadores começaram a estudar as aproximações teóricas da construção de matrizes de viagens a partir de informação facilmente disponível, como por exemplo, os volumes de tráfego em rede de transportes.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso de um modelo econométrico para estimar uma matriz O-D de veículos leves em redes interurbanas, usando contagens volumétricas e alocação proporcional. Para verificação do desempenho do modelo serão realizados testes experimentais, nos quais os fluxos estimados serão comparados com os valores de contagens observados.

## **2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

O processo para calibrar um modelo e assim poder estimar uma matriz O-D em função das contagens volumétricas consiste, basicamente, na resolução de um sistema de equações que envolvem dados referentes aos fluxos observados e ao percentual de utilização dos links da rede viária por parte da demanda.

Segundo Brenninger-Göthe *et al.* (1988) e Willumsen (1981) para estimar uma matriz O-D, de ordem  $N$  e com contagens de tráfego em  $K$  links, usam-se as equações fundamentais expressas por:

$$Vl_k = \sum_{i,j=1}^N p_{ij}^k T_{ij} \quad (1)$$

onde  $Vl_k$  é o fluxo observado no *link*  $l_k$ ;  
 $T_{ij}$  é o número de viagens entre  $i$  e  $j$ ;  
 $p_{ij}^k$  é a proporção de viagens entre  $i$  e  $j$  que usam o *link*  $l_k$ .  
 $k = 1, 2, \dots, K$

Nestas equações, os fluxos estimados devem estar o mais próximo possível dos fluxos observados, ou seja, deve-se minimizar a diferenças entre as contagens volumétricas observadas e estimadas em cada link. Segundo William *et al.* (1991) para estimar uma matriz O-D, os desvios existentes minimizam-se, em algum tempo, satisfazendo o conjunto de equações (1).

Existe a possibilidade de múltiplas soluções para a matriz O-D, pois no problema de estimação é necessário resolver o sistema de equações que relacionam fluxos e viagens. Percebe-se que o número de incógnitas é, em geral, maior que o número de equações, ou seja, geralmente, o número de pares O-D é consideravelmente maior do que o número de *links* onde a contagem do volume de tráfego é realizada. Portanto, pode-se dizer que existem várias matrizes que satisfazem à equação fundamental. A questão é encontrar uma solução, que seja a mais provável ou a melhor de acordo com algum critério de escolha.

### 3. ESTIMAÇÃO DE MATRIZES O-D A PARTIR DE CONTAGENS DE TRÁFEGO

Para facilitar o estudo, em geral, pode-se dizer que os diferentes métodos, encontrados na literatura, para estimar matrizes O-D, a partir de volumes de tráfego observados são definidos especificando-se os seguintes elementos: um modelo de alocação e um método de estimação

#### 3.1 Modelo de alocação

Uma decisão fundamental ligada aos diversos tipos de alocação de tráfego é a identificação de um critério usado na seleção de um caminho dentre os diversos disponíveis. Dependendo do tratamento de congestionamento exógeno ou endógeno a determinação da alocação da matriz pode ser postulada como: alocação proporcional ou alocação de equilíbrio.

O modelo de alocação de equilíbrio os efeitos de congestionamento são mais importantes do que as diferentes percepções de custo. Este tipo de alocação é considerado realista. Segundo Wardrop (1952), apud Abrahamsson (1998), o sistema de tráfego está em “equilíbrio” quando nenhum usuário consegue encontrar uma rota de menor custo do que aquela já escolhida.

Já o modelo de alocação proporcional assume independência entre os volumes de tráfego e as proporções de tráfego  $p_{ij}^k$ . Os volumes nos *links* ( $Vl_k$ ) são proporcionais aos fluxos O-D ( $T_{ij}$ ), onde  $i$  e  $j$  são as zonas de origem e destino, respectivamente, e  $k$  representa o *link* entre  $i$  e  $j$ . A proporção de usuários que escolhe uma dada rota não depende do nível de congestionamento na rede, e sim das características da rede e dos próprios usuários. Os valores das proporções  $p_{ij}^k$  podem ser determinados antes da estimação da matriz O-D e considerados, assim, dados exógenos.

Neste trabalho, como a rede analisada é esparsa, o procedimento a ser utilizado será a alocação tudo ou nada, num primeiro momento, por ser considerada de fácil aplicação. Posteriormente pretende-se adequar um procedimento de alocação proporcional, como o proposto por Bell (1995).

### 3.2 Método de estimação

Para tentar resolver alguns problemas que usam dados de contagens de tráfegos em links, Willumsen (1981) apresentou, em seu artigo, uma forma simples de representar o modelo gravitacional, dado por:

$$T_{ij} = b_1 O_i D_j c_{ij}^{-d}$$

onde  $O_i$  representam as informações nas origens;

$D_j$  representam as informações nos destinos;

$c_{ij}$  é o custo de viagens entre  $i$  e  $j$ ;

$b_1$  e  $d$  são parâmetros a serem calibrados.

Para Willumsen (1981), se um conjunto de observações de contagens volumétricas  $\{\hat{V}l_k\}$  é realizado, valores ótimos de  $b_1$  e  $d$  podem ser encontrados minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre  $\{\hat{V}l_k\}$  e o correspondente valor estimado  $\{Vl_k\}$  (Equação 2). Tal método é denominado de mínimos quadrados não-linear.

$$\min \sum (\hat{V}l_k - Vl_k)^2 \quad (2)$$

Tem-se também o método dos mínimos quadrados não-linear ponderado dado por Tamin e Willumsen (1989).

$$\min \sum \frac{(\hat{V}l_k - Vl_k)^2}{\hat{V}l_k} \quad (3)$$

### 3. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO

Definiu-se um modelo econométrico incorporando variáveis do modelo gravitacional clássico, como a população e a distância. Além disso, foram acrescentadas algumas variáveis sócio-econômicas como tamanho da frota e se o município é ou não um pólo turístico por intermédio de uma variável *dummy*.

A especificação inicial concebida ao modelo é dada por:

$$T_{ij} = \alpha_0 \frac{P_i^{\alpha_1} P_j^{\alpha_2} (TFrota_i)^{\alpha_3} dummy_j^{\alpha_4}}{d_{ij}^{\alpha_5}} \quad (4)$$

onde  $P_i$  e  $P_j$  são as populações dos municípios  $i$  e  $j$ , respectivamente;

$TFrota_i$  é o tamanho da frota de veículos leves do município  $i$ ;

$dummy_j$  é a variável que determina se o município  $j$  é ou não um pólo turístico;

$d_{ij}$  é uma medida da distância rodoviária entre os municípios  $i$  e  $j$ ;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  e  $\alpha_5$  são os coeficientes a serem determinados.

As equações fundamentais dadas em (1) serão construídas de acordo com o número de contadores que se tem informação do volume de tráfego. A partir dessas equações fundamentais realizar-se-á o procedimento de calibração utilizando o método dos Mínimos Quadrados não-linear Ponderado, definido em (3). Como resultado será obtida uma matriz O-D estimada.

#### 4. METODOLOGIA

Na modelagem do problema, primeiramente, é necessário elaborar uma representação em forma de um grafo, no qual os nós representam os municípios e os cruzamentos de rodovias, denominados de centróides e os links representam as rodovias.

A seguir serão calibrados os modelos: gravitacional clássico e o modelo econométrico (equação 4). Inicialmente será usada a alocação tudo ou nada. Os critérios de escolha das rotas na região de estudo também estão sendo investigados, devendo-se propor um procedimento de alocação proporcional adequado para a situação.

Em seguida, serão calibrados o modelo econométrico e o gravitacional clássico usando o procedimento de alocação proporcional proposto e comparar-se-ão os resultados obtidos.

#### 5. APLICAÇÃO E CONCLUSÃO

Com o intuito de testar a modelagem proposta será feita uma aplicação prática em uma rede interurbana, com 91 municípios e 105 links com informações sobre o volume de tráfego.

O trabalho ainda se encontra em fase de desenvolvimento e para fins de verificação da modelagem proposta, realizou-se um teste preliminar em uma parte da região de estudo, em São Miguel do Oeste. Fez-se uma comparação entre os resultados obtidos com o modelo gravitacional e o modelo econométrico, dado na equação (4). Neste teste, utilizou-se somente a alocação tudo ou nada. Os resultados mostraram-se encorajadores para a continuidade do trabalho.

Outros testes serão realizados após adequar o procedimento de alocação proporcional bem como incorporar outras variáveis no modelo proposto, como por exemplo, se o município é ou não um pólo industrial ou uma cidade universitária.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamsson, T. (1998) Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey. Interim Report (IR-98-021/May) IIASA – *International Institute for Applied Systems Analysis*. Laxenburg, Áustria.
- Bell, M. G. (1995) Alternatives to Dial's Logit Assignment Algorithm. *Transportation Research*, 29B, p. 287 – 295.
- Bez, E. T. (2005) *Procedimento de representação de soluções em otimização global: aplicação em modelos de interação espacial*. (Tese de Doutorado) Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Brenninger-Göthe, M., Jörnsten, K. O. e Lundgren, J. T. (1988) Estimation of origin-destination matrices from traffic counts using multiobjective programming formulations. *Transportation Research B*, v. 23B, n. 4, pg. 257-269.
- Ortúzar, J. D. e Willumsen, L. G. (2001) *Modelling Transport*. Wiley&Sons, New York.
- Tamin, O. Z. e Willumsen, L. G. (1989) Transport demand model estimation from traffic counts. *Transportation* 16, p. 3-26.
- William, H.; Lam, K. e Lo, H. P. (1991) Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: a comparison of entropy maximizing and information minimizing models. *Transportation Planning and Technology*, v.16, p. 85-10.
- Willumsen, L. G. (1981) Simplified transport models based on traffic counts. *Transportation* 10, p. 257-278.

---

Katiani da Conceição Loureiro (katiani@joinville.udesc.br)  
UDESC – Joinville  
Mirian Buss Gonçalves (mirianbuss@deps.ufsc.br)  
UFSC – Florianópolis  
Edson Tadeu Bez (edsonbez@gmail.com)  
UNIVALI – São José