

# INCORPORARAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA A PREVISÕES DE ESCOLHA MODAL

Viviani Antunes Gomes  
Cira Souza Pitombo

Universidade de São Paulo/ Escola de Engenharia de São Carlos

## RESUMO

Este texto traz uma síntese do projeto de pesquisa de doutorado em Engenharia de Transportes. O trabalho visa estimar a escolha modal aplicando técnicas de geoestatística. A área de estudo será a Região Metropolitana de São Paulo e os dados da Pesquisa Origem/Destino realizada no local em 2007. Com o trabalho pretende-se, após identificar as relações existentes entre escolha modal e variáveis socioeconômicas, de viagens, do sistema de transporte e de uso do solo, aplicar a técnica de geoestatística para estimar as escolhas modais para os domicílios pesquisados e também para os desconhecidos. A utilização de variáveis espaciais e de coordenadas geográficas em estudos relativos à escolha modal possibilita novas avaliações e um aperfeiçoamento das estimativas, o que pode tornar-se uma ferramenta importante para planejadores urbanos e de transportes.

## 1. INTRODUÇÃO

A análise da demanda por transportes requer avaliações relacionadas aos fatores que determinam a tomada de decisão individual relacionada a viagens, como por exemplo, à escolha do modo de transporte. Alguns trabalhos não só relacionam a demanda e a escolha modal às características dos usuários, mas também a um conjunto de variáveis relacionadas ao espaço urbano, às características das viagens (em especial, ao tempo de viagem e custo) e ao sistema de transporte. Na literatura recente encontram-se alguns trabalhos de análise de escolha modal incluindo o fator espacial.

Costa *et al.* (2013) estimaram a probabilidade de escolha modal em coordenadas conhecidas e desconhecidas, através de dados desagregados e geoestatística. Partiu-se do pressuposto de que a opção do modo de transporte possui influência espacial, considerando que a escolha modal está diretamente relacionada à posse de veículos e à renda, variáveis que apresentam um padrão de distribuição espacial.

O desenvolvimento de modelos de escolha discreta ocorrido nos últimos anos foi no sentido de dar maior flexibilidade de previsão de relações comportamentais. No intuito de estudar demandas indiretas por serviços de transportes, onde algum fator de dependência espacial pudesse ser aplicado, Silva (2013) aplicou modelos logit com estrutura espacial nos erros, obtendo ganhos no poder preditivo em relação ao logit simples.

Páez *et al.* (2013) citam que modelos de escolha discreta são cada vez mais implementados utilizando dados georreferenciados. Embora existam abordagens para análise exploratória espacial de variáveis contínuas, os estudos tratando variáveis discretas, em que a variável de interesse é categórica, são recentes.

Segundo Loureiro *et al.* (2006), estudos relacionados a viagens urbanas são influenciados por atributos eminentemente geográficos, tais como: adensamentos residenciais e de atividades socioeconômicas, proximidade entre zonas, cobertura espacial da rede de transporte, impedância de viagem na malha rodoviária, etc. A utilização de técnicas que permitam estudar a correlação espacial desses aspectos amplia as possibilidades de análises da demanda por transportes e da escolha modal, como por exemplo, a estatística espacial, que mescla conceitos da análise espacial com cálculos estatísticos tradicionais. Estudos que relacionem o

espaço com a escolha modal, considerando a forte influência do espaço urbano nas decisões de utilização de determinado modo de transporte, poderão trazer resultados mais precisos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é incorporar a krigagem a previsões de escolha modal, buscando boas estimativas de probabilidades de escolha do modo de transporte em coordenadas geográficas pesquisadas e também desconhecidas.

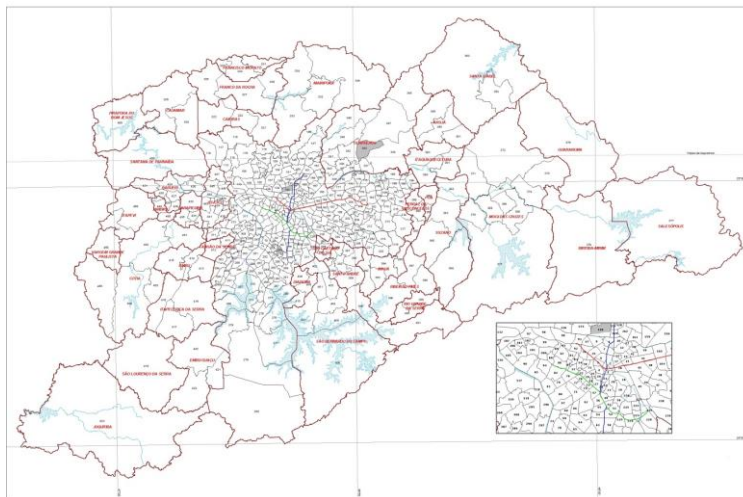
### **2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos propostos são:

- Identificar as variáveis que afetam as escolhas do modo de transporte e a relação entre elas;
- Calibrar modelos de escolha modal;
- Estimar a escolha do modo de transporte em domicílios amostrados, considerando características de viagem, dos indivíduos, do uso do solo e de sistemas de transportes;
- Obtenção de uma superfície de probabilidade de escolha modal, através de dados interpolados espacialmente.

## **3. REGIÃO DE ESTUDO E DADOS**

Os dados que serão utilizados neste trabalho são referentes à Pesquisa Origem-Destino, realizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMS) em 2007 que compreende 39 municípios. Para o processamento dos dados a área foi dividida em 460 zonas de pesquisa, das quais 320 representam o Município de São Paulo e as restantes representam os demais municípios. A Figura 1 ilustra a área de estudo que será trabalhada.



**Figura 1** - Pesquisa Origem Destino – RMS 2007. Fonte Metrô (2008)

Na Pesquisa O/D de 2007 foram levantadas informações de 30 mil domicílios, escolhidos aleatoriamente onde foram entrevistadas aproximadamente 120 mil pessoas. Desta forma, o banco de dados desagregado é composto por características individuais, domiciliares, da zona de tráfego da origem e da zona de tráfego do destino.

## **4. MÉTODO**

Para o desenvolvimento do trabalho, cinco etapas deverão ser cumpridas, sequencialmente, para que os objetivos sejam atingidos.

**Etapa 4.1 - Estudo bibliográfico:** Permitirá conhecer o referencial teórico já desenvolvido a respeito do tema “análise espacial e demanda por transportes, especialmente sobre geoestatística”.

**Etapa 4.2 – Estudos das ferramentas:** Nesta etapa deve-se aprender e aprimorar o uso do *software* para tratamento geoestatístico - GeoMs - desenvolvido em 1999, pelo Instituto Superior Técnico (Lisboa) para a análise de dados que demonstram dependência espacial.

**Etapa 4.3 – Tratamento dos dados e obtenção das amostras finais:** Contemplará a coleta de informações georreferenciadas e desagregadas da área de estudo, bem como tratamento da amostra. O intuito é identificar as variáveis socioeconômicas dos indivíduos, das viagens, do sistema de transportes e uso do solo, que possivelmente, influenciam a escolha modal.

**Etapa 4.4 - Calibração de modelos tradicionais:** As informações coletadas serão analisadas e processadas a fim de servir como parâmetro para o restante do trabalho. Nessa etapa será escolhida a técnica a ser utilizada (Modelo logit multinomial, Probit, Árvore de Decisão, etc.) para identificar as relações existentes entre a variável que se deseja avaliar (o modo de transporte mais utilizado) e as variáveis socioeconômicas, de viagens, do sistema de transporte e de uso do solo. A calibração do modelo de escolha modal permite obter a variável numérica para posterior aplicação da krigagem ordinária (probabilidade de escolha dos modos de transporte em coordenadas conhecidas).

**Etapa 4.5 - Aplicação da técnica de Análise Espacial de dados (Geoestatística):** Na quinta etapa pretende-se aplicar a técnica geoestatística de krigagem ordinária ou krigagem com deriva externa para estimar a escolha modal para os domicílios pesquisados e também para os desconhecidos, levando-se em consideração a autocorrelação espacial da variável regionalizada. Os procedimentos geoestatísticos necessários seguem uma sequência de sub etapas:

*4.5.1. Escolha das variáveis regionalizadas:* Camargo *et al.* (2004) apontam que a variável regionalizada é distribuída no espaço, acrescentando que seus valores são considerados como realizações de uma função aleatória e que a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual.

A primeira etapa do procedimento de modelagem geoestatística corresponde à escolha das variáveis regionalizadas. Neste trabalho, é provável que essas variáveis sejam probabilidade de escolha do modo de transporte (numérica) ou modo de transporte principal (categórica).

*4.5.2. Visualização espacial da distribuição dos pontos*

Através da visualização da dispersão de cada uma das variáveis no espaço pode-se ter uma ideia de como estas se comportam, quais as direções que provavelmente devem ser observadas e enfim adotar parâmetros para a próxima etapa dos procedimentos geoestatísticos que é o cálculo de variogramas experimentais.

#### 4.5.3. Obtenção de variogramas experimentais e modelagem

O variograma é a ferramenta que permite descrever quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. O variograma gera informações, utilizadas na krigagem, servindo para encontrar os pesos ótimos a serem associados às observações que irão estimar um ponto, uma área ou um bloco (Landim, 2006).

O variograma é a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância separando estas observações (h). Na determinação experimental do variograma, para cada valor de “h”, distância entre as observações, considera-se todos os pares de observações  $z(x)$  e  $z(x+h)$ , conforme Equação 1.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde  $\gamma(h)$  é a variância;  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos;  $z(x)$  e  $z(x+h)$  são pares de observações separados pelo vetor “h”.

#### 4.5.4. Validação cruzada

A validação cruzada consiste na técnica que obtém a estimativa dos pontos amostrados (coordenadas conhecidas), usando os valores dos pontos vizinhos e o modelo teórico do variograma ajustado. Para cada ponto amostrado (valor real) existirá um valor estimado, podendo-se assim estimar o erro e, dessa forma, aferir a qualidade dos variogramas.

#### 4.5.5. Krigagem – obtenção de mapas interpolados

Landim (2006) descreve krigagem como um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, considerados como interdependentes pelo variograma. A krigagem é um estimador utilizado principalmente para previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local dentro do campo geométrico.

Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de qualquer interpolação, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no variograma. Além disso, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima.

#### REFERÊNCIAS

- Camargo, E.; C. G. Camargo; S. Druck e G. Câmara (2004) Análise Espacial de Superfícies. In: Druck, S.; M. S. Carvalho; G. Câmara e A. M. V. Monteiro (eds.) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA. p.46-82.
- Costa, A.S ; Pitombo, C. S. ; Salgueiro, A. R. (2013). Estimacão de escolha modal através da geoestatística. In: XXVII ANPET, 2013, Belém, Brasil. Congresso de Pesquisa e ensino em transportes.
- Landim, P.M.B. (2006) Sobre Geoestatística e mapas. Terra e Didática, 2(1): p.19-33, Disponível em <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica>>. Acesso outubro 2013.
- Loureiro, C. F. G.; H. N. Silva e L. E. X. Carvalho (2006) Metodologia de análise de regressão geograficamente ponderada aplicada ao fenômeno das viagens intermunicipais. *Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes*, XX ANPET, v.1, p.479-491.
- Metro (2008). Síntese de resultados da Pesquisa Origem-Destino 2007. *Secretaria dos Transportes Metropolitanos. Governo do Estado de São Paulo*. São Paulo, Disponível em <[http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/files/sintese\\_od\\_2007.pdf](http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/files/sintese_od_2007.pdf)>. Acesso junho 2014.
- Páez, A., López, F. A., Ruiz, M., Morency, C. (2013) Development of an indicator to assess the spatial fit of discrete choice models. *Transportation Research Part B*. Elsevier Science, p. 217-333.
- Silva, F. G. F. (2013) Correlação espacial em modelos logit – uma aplicação ao caso do transporte de passageiros. XXVII ANPET. Belém, Brasil. Congresso de Pesquisa e ensino em transportes.