



## **A ATIVIDADE COMERCIAL COMO POTENCIALIZADORA DO MOVIMENTO DE PEDESTRES NOS CENTROS URBANOS: UM MODELO BASEADO EM REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS**

**Fábio Lúcio Zampieri** (flz@yahoo.com.br)

**Décio Rigatti** (driga2000@yahoo.com.br)

Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR  
Faculdade de Arquitetura – UFRGS

### **1. OBJETIVOS**

A sociedade evoluiu através dos agrupamentos humanos em comunidades, vilas, e outros. A forma da cidade representa o resultado das forças entre os vetores da comunidade. Ou seja, cada grupo social tem aspirações sociais e cria pressões que serão espacializadas na malha urbanas e refletidas através de fenômenos como o movimento de pedestres. Cada indivíduo contribui para a formação das cidades por meio de suas características individuais que fazem emergir padrões maiores de comportamento do grupo.

As pessoas entendem a cidade, pois a lógica utilizada na sua criação está implícita através de padrões que podem ser facilmente reconhecidos (Johnson, 2003). Para tentar entender essa vasta gama de agentes e variáveis contidas nos fenômenos urbanos criam-se representações simplificadas da realidade, como modelos urbanos. No entanto, algumas abordagens falham ao reproduzir a cidade e suas complexas relações através de modelagem do tipo centralista onde poucas variáveis são responsáveis por todo um fenômeno. Ao contrário dessa abordagem as redes neurais artificiais (RNA) trabalham com exemplos e permitem criar um modelo paralelo onde as variáveis atuam instantaneamente nas conexões neurais artificiais (Haykin, 2001). Como no cérebro humano, que é composto por bilhões de neurônios, o aprendizado ocorre pelo fortalecimento das conexões ao aprender um fenômeno qualquer a partir de um padrão de comportamento.

Criar uma representação simplificada do movimento de pedestres é necessário para entender a lógica das cidades e, também, compreender como áreas urbanas se tornam abandonadas pelos pedestres. Nessa pesquisa será avaliado o movimento de pedestres como um fenômeno complexo, bem como a importância da variável 'atratores comerciais' para a composição desse fenômeno. Por esse motivo, foi utilizado um sistema paralelo de processamento (RNA).

### **2. METODOLOGIA**

Os modelos utilizados nessa pesquisa foram desenvolvidos com a metodologia apresentada por Zampieri (2006) e utilizam os atributos espaciais referentes à sintaxe espacial (Hillier *et al.* 1993) e ao nível de desempenho dos passeios públicos (Khisty, 1994). Eles funcionam como variáveis de entradas (*inputs*) e são processados por redes neurais artificiais com a saída que é o fluxo de pedestres (*output*). Cada um dos modelos apresentou 17 variáveis de entrada, sendo 10 sintáticas: (1) a integração global (Rn), (2) integração local de raio 3 (R3), (3) controle, (4) conectividade, (5) profundidade, (6) constituições, (7) atratores residenciais, (8) atratores comerciais, (9) atratores de serviços, e (10) outros atratores; 7 de desempenho: (11)

largura, (12) comprimento, (13) atratividade, (14) conforto, (15) manutenção, (16) segurança, (17) segurança pública; e uma de saída para cada modelo: pedestres em movimento e parados. As variáveis de entradas (*inputs*) e a saída (*output*) foram relacionadas com a calçada (unidade básica). A área de estudo situa-se no centro da cidade de Santa Maria-RS e possui 71 calçadas. Mais informações sobre a escolha das variáveis e o método de coleta pode ser encontrado em Zampieri (2006).

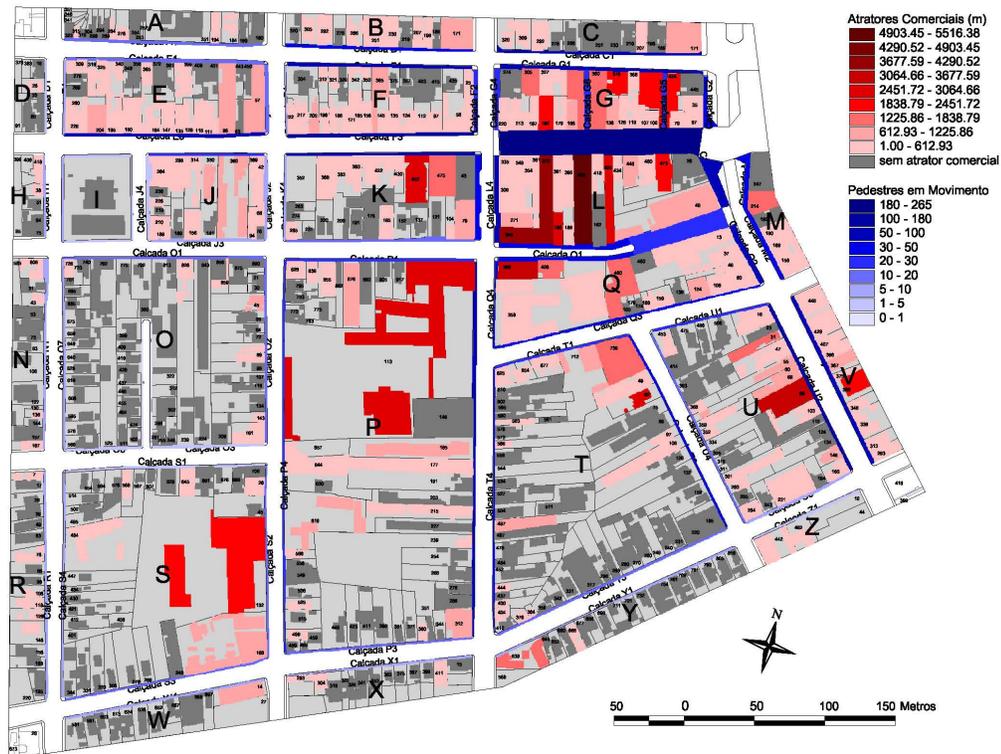


Figura 1 Mapa da área de estudo com as variáveis de 'atratadores comerciais' e 'pedestres em movimento'.  
Fonte: original do autor.

O processamento dos dados para criar os modelos foi realizado através de um *software* de redes neurais artificiais e sua reprodução em planilhas eletrônicas. O modelo foi reproduzido baseando-se no funcionamento dos neurônios em uma RNA e serviu para avaliar a estrutura interna, os coeficientes de correlação e os erros estatísticos. Os resultados de modelo foram considerados satisfatórios obtendo para o modelo dos pedestres em movimento coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9611 e erro quadrático médio (EQM) de 0,0024692 e o modelo de pedestres parados com  $R^2$  de 0,9353 com EQM de 0,000160393. Tanto os coeficientes de determinação quanto os erros foram adquiridos na fase de testes, ou seja, com dados desconhecidos pela rede neural treinada. De posse dos resultados, pôde-se inferir que o fenômeno pode ser explicado pelas variáveis utilizadas e “explicam” o fluxo de pedestres calculado pelo modelo.

Depois de criar e avaliar o modelo existem procedimentos para avaliar o desempenho das variáveis, tais como o método dos pesos desenvolvido por Garson (1991) para obter a ordem de importância do peso das variáveis nas conexões entre os neurônios artificiais, e o de

sensibilidade (Lek *et al.*, 1996), para medir empiricamente como a alteração das variáveis afeta o fenômeno. Embora esse fenômeno seja complexo e não possa ser explicado por apenas uma variável, pois todas estão interligadas interagindo, reforçando e atenuando-se simultaneamente, a variável ‘atratores comerciais’ teve um desempenho marcante por sua duplicidade.

### 3. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

Ao utilizar o método de Garson (1991) todas as variáveis, em ambos os modelos, tiveram desempenhos dentro de uma mesma faixa, ou seja, nenhuma delas teve uma importância tão grande que sozinha explica-se o fenômeno. A variável ‘atratores comerciais’ não apresentou desempenho muito grande como o esperado (gráfico 1, a e b), ficando atrás de outras variáveis como o atrator ‘outros’ que caracteriza exceções como atratores culturais, associações, etc., que ficou entre os maiores potencial para atrair pedestres em ambos os modelos.

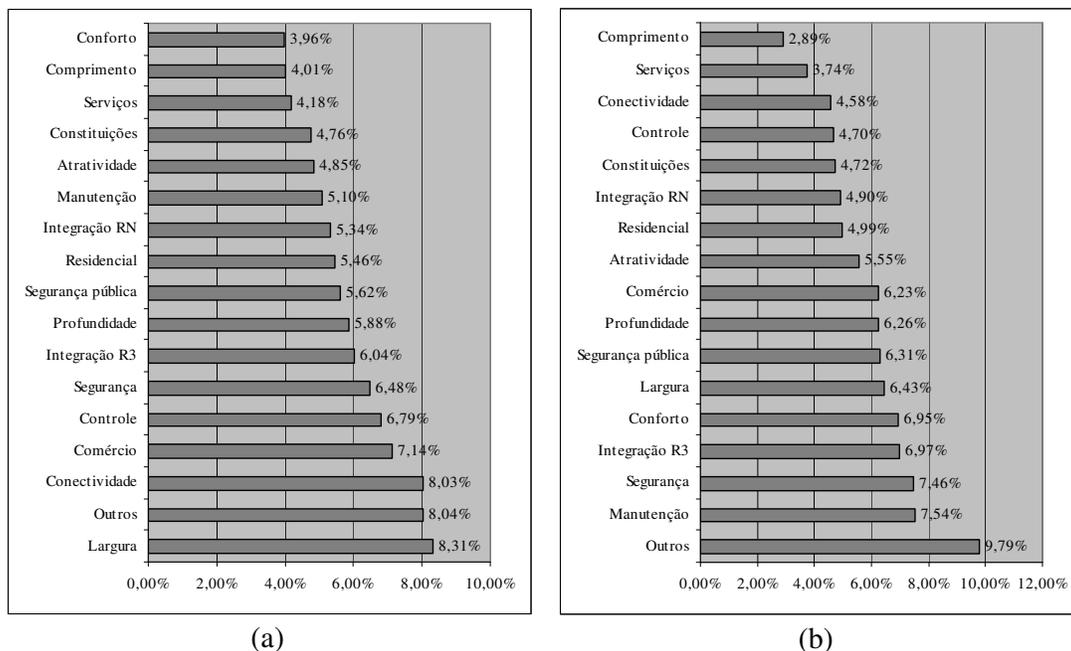
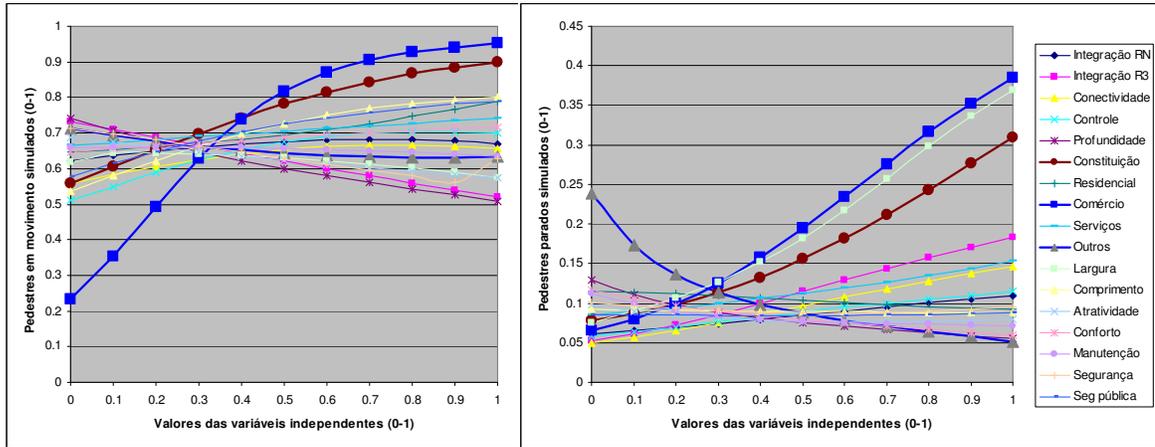


Gráfico 1 Importância das variáveis no fluxo de pedestres em movimento (a) e parados (b) segundo o método de Garson (1991). Fonte: original do autor.

Porém, a análise de sensibilidade para os modelos de pedestres em movimento e parados mostrou um resultado bem diferente do anterior com a maior variação de fluxo ocorrendo justamente com o aumento dos atratores comerciais. A análise de sensibilidade é uma abordagem experimental utilizada para determinar o quanto cada variável contribui para o fenômeno estudado através do cálculo da contribuição de cada uma delas, separadamente, para o modelo mantendo as outras variáveis constantes (bloqueadas em valores arbitrários). A contribuição de cada variável foi calculada em espaços regulares entre os valores mínimos e máximos dos dados encontrados, num total de 11 valores espaçados igualmente. As variáveis avaliadas foram mantidas em valores arbitrários constantes, ou seja, mantidas em seus valores mínimos, um quarto, médios, três quartos e máximos sucessivamente, resultando numa variação de cinco respostas para cada dos 11 valores da variável mantida “livres”. Para eventual comparação entre as variáveis foi calculado o valor médio entre os cinco sistemas

(Gráfico 2a e b). Essa operação foi realizada para cada uma das 17 variáveis de entrada (Lek *et al.*, 1996).

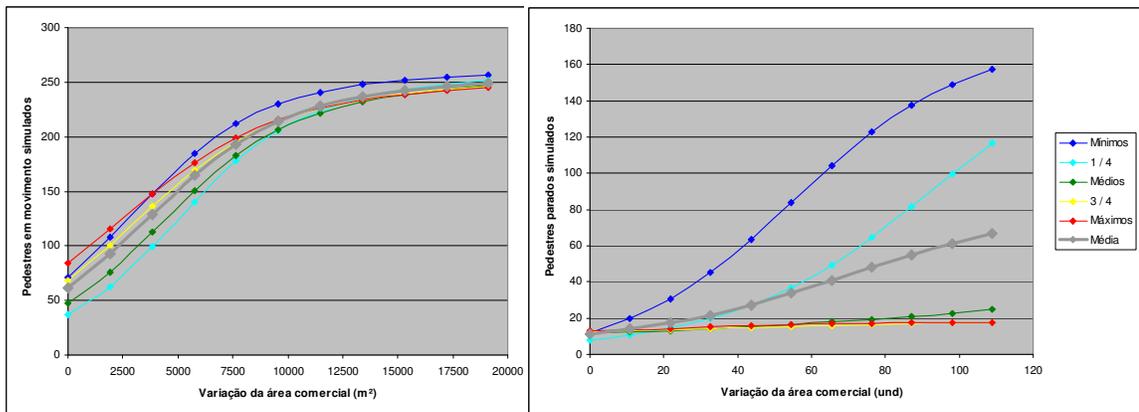


(a)

(b)

**Gráfico 2** Variação da média de sensibilidade das variáveis normalizadas no modelo de pedestres em movimento (a) e parados (b). Fonte: original do autor.

Os 'atratores comerciais' apresentam o maior aumento de fluxo para os modelos de pedestres em movimentação. Sozinhos são capazes de aumentar o fluxo de pedestres em 70,73% nos sistemas no mínimo e 61,34% em sistemas no máximo (Gráfico 3a). Na parte inicial do aumento de atratores, eles dobram o fluxo de pedestres e, conforme o valor passa de 8000 m<sup>2</sup>, começam a estabilizar sua atuação. No modelo de pedestres parados, o aumento só foi significativo quando os 'atratores comerciais' estavam em um sistema com valores baixos de outras variáveis (Gráfico 3b). No momento em que foram aumentados os valores do sistema, esse atrator não foi mais capaz de explicar o fluxo.



(a)

(b)

**Gráfico 3** Variação de sensibilidade da variável 'atratores comerciais' no modelo de pedestres em movimento (a) parados (b). Fonte: original do autor.

Embora com grande potencial de aumentar o número de pedestres em movimento, não foi constatado que esse atrator tenha possibilidade de, sozinho, gerar atração. Isso ocorre devido aos atratores dispostos na área estudada estarem inseridos no sistema urbano e ficarem ligados



as variáveis configuracionais. Este fato não descarta a possibilidade de existir uma situação especial de atrator que supere totalmente o efeito da malha urbana, embora esse caso não tenha sido encontrado nesta pesquisa.

#### 4. CONCLUSÕES

Os 'atratores comerciais' tiveram uma importância de 7,14% no modelo de pedestres em movimento e de 6,23% no de parados. Contudo, esperava-se uma importância maior para esse atrator em ambos os modelos já que eles são responsáveis por boa parte dos destinos das viagens do dia-a-dia dos pedestres. Isso lança uma questão interessante para a movimentação peatonal, pois mesmo apresentando importância menor ou igual que algumas medidas sintáticas e de desempenho ele tem capacidade de amplificar o fluxo por si só. Isso ratifica a afirmação de Hillier e Hanson (1984) de que os atratores dependem de fatores configuracionais para potencializar o fluxo.

Essa pesquisa evidenciou a força de amplificação das características da malha urbana pelos atratores. Os atratores residenciais aumentaram o fluxo de pedestres em sistemas mais segregados, e no caso dos pedestres parados, ele chega a diminuir o número de pedestres quando o sistema está no máximo, ou seja, bem integrado. No entanto, os atratores especiais, como igrejas, teatros entre outros, por mais que gerem fluxo de pedestres não são capazes de aumentar o número de pedestres parados. Isso evidencia que em áreas de revitalização é necessário que além de atratores culturais, existam vários tipos de usos do solo, como comércio, residências e prestação de serviços, pois do contrário, não haverá co-presença e um grande número de pessoas só passará pelo espaço. Por outro lado, os modelos foram capazes de prever e avaliar o fluxo de pedestres sem atratores, apenas com as características da malha mas não pode prever o fluxo somente pela influência dos atratores, pois nesse caso, eles estão sempre localizados em algum lugar da malha urbana e bem localizados de acordo com a integração e conectividade que são variáveis da malha urbana. Confirmou-se que nessa área o movimento natural proposto por Hillier *et al.* (1993) existe, ou seja, que o movimento de pedestres originado somente pela malha foi previsto pelo modelo.

Quando se trabalha com tecnologias relativamente novas é necessário validar os dados encontrados no modelo. A reprodução do modelo em planilha eletrônica possibilitou criar testes para avaliar a importância e o desempenho das variáveis em relação ao fluxo. Foi constatado que mesmo quando as variáveis apresentam importância maior, obtida através do peso de suas conexões, não resulta necessariamente em um acréscimo direto no fluxo de pedestres. Mesmo com um coeficiente de correlação acima de 90% já é considerado como estatisticamente forte, não se pode afirmar que os resultados dessa área são generalizáveis para todas as cidades de malha tradicional. No entanto, não se deve descartar as descobertas dessa pesquisa, que serve inclusive, para ajudar na discussão do assunto. Essa pesquisa levanta outras questões para o estudo desse fenômeno, contudo, serão discutidas em estudos futuros.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Garson, D. G. (1991) *Interpreting neural-network connection weights*. AI Experts, 1991, abril p. 47-51.
- Haykin, Simon; (2001) *Redes Neurais: Princípios e Práticas*. Trad. Paulo Martins Engel. Porto Alegre : Bookman.
- Hillier, B. e J. Hanson (1984) *The social logic of space*. Cambridge, Cambridge University Press.



- Hillier, B.; J. Hanson; A. Penn; T. Grajewski e J. Xu (1993) *Natural movement: or configuration and attraction in urban pedestrian movement*. Environment and Planning B: Planning and Design. v. 20.
- Johnson, S. (2003) *Emergência: A dinâmica de Redes de Formigas, Cérebro, Cidades e Softwares*. Jorge Zahar Editora.
- Khisty, C. J. (1994) *Evaluation of Pedestrian Facilities: Beyond the Level of Service Concept*. Transportation Research Record 1438, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- Lek, S. e M. Delacoste; P. Baran; I. Dimopoulos; J. Lauga, S. Aulagnier; (1996) *Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology*. Ecological Modelling. 90(1): p. 39-52.
- Zampieri, F. L. (2006) *Modelo Estimativo de Pedestres Baseado em Sintaxe Espacial, Medidas de Desempenho e Redes Neurais Artificiais*. Dissertação de mestrado. UFRGS, Porto Alegre.