

MODELO DE PREDIÇÃO DE FLUXO DE PEDESTRES APLICADO A AMBIENTES URBANOS

Fábio Lúcio Zampieri

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

Mara Chagas Diogenes

Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE/P/FRGS

Décio Rigatti

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

RESUMO

As viagens a pé estão relacionadas à melhoria da qualidade de vida e da saúde. Diversos recursos públicos são investidos em projetos que visem aumentar a incidência de viagens a pé e a segurança dos pedestres. Porém, pouco se sabe sobre a contribuição destes para alcançarem os objetivos planejados. Uma forma de monitorar o desempenho das medidas adotadas é utilizar dados sobre o fluxo de pedestres. A determinação do fluxo de pedestre é uma tarefa difícil devido à complexidade do movimento das pessoas. Os modelos existentes para este fim apresentam deficiências sejam elas de aplicação ou precisão. Objetivando resolver esses problemas, este trabalho buscou desenvolver um novo modelo de previsão de fluxo de pedestres, baseando-se em teorias já existentes: sintaxe espacial e nível de serviço. O modelo desenvolvido apresentou grande potencial para prever o fluxo de pedestres nos centros urbanos com precisão e simplicidade.

ABSTRACT

Walking journeys are related to a better quality of life and health. Several public resources are invested to develop projects that aim increase in the number of walking trips and pedestrian safety. However, little is known about the contribution of these projects in order to achieve their planned objectives. Use of pedestrian flow data is one of the means of monitoring the performance of the adopted measures. Determining the pedestrian flow is a difficult task, since people's movement is very complex. The existing models for estimating pedestrian flow present deficiencies related either to their application or accuracy. In order to solve these problems, this paper aims at developing a new model for estimating the pedestrian flow. The model is based on existing theories: space syntax and level of service. The developed model showed a great potential for forecasting the pedestrian flow in urban centers, with precision and simplicity.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de transportes desempenham um importante papel na saúde pública. Diversas doenças estão relacionadas à poluição do ar e ao estilo de vida sedentária associado ao uso dos veículos motorizados (Dora e Phillips, 2000). Ferreira *et al.* (2005) demonstram que as atividades físicas reduzem os fatores de risco e o aparecimento de doenças crônico-degenerativas, tais como a obesidade infantil, que atinge o patamar de epidemia mundial (Oliveira e Fisberg, 2003). Dados do IBGE (1998) apontam que 80,8% dos adultos brasileiros são sedentários. Observa-se que na cidade mais industrializada do país, São Paulo, apenas 31,3% dos adultos realiza alguma forma de atividade física (Mello, 2000). O quadro do sedentarismo pode ser alterado através de pequenas mudanças nas atividades rotineiras, tais como andar poucas quadras, ir à padaria a pé ou levar os filhos caminhando para a escola, uma vez que para manter uma vida saudável, uma pessoa deve praticar atividades físicas moderadas pelo menos 30 minutos por dia, cinco vezes por semana (Killingsworth e Lamming, 2001).

Para conseguir que as pessoas realizem um maior número de viagens a pé, é necessário investir em medidas de planejamento urbano e de melhoria da segurança do pedestre. A importância do “sentir-se seguro no trânsito” é essencial para os pedestres e aparece em vários

estudos que avaliam qualidade dos passeios (Khisty, 1994; Ferreira e Sanches, 2001). Essas medidas devem estar atreladas a um planejamento estratégico, onde o desempenho das ações deve ser monitorado. A avaliação da eficiência pode ser feita utilizando dados precisos sobre o fluxo e comportamento dos pedestres. Desta forma será possível avaliar se o número de viagens a pé foram incrementados e se o risco de acidente dos pedestres foi diminuído através das medidas adotadas.

Diversos modelos foram desenvolvidos para descrever e avaliar o comportamento e fluxo dos pedestres. Porém ainda não existe um modelo único que tenha fácil aplicação, seja preciso e possa ser amplamente utilizado. A maior dificuldade de se modelar o fluxo do pedestre reside na complexidade da viagem a pé. Os pedestres são extremamente flexíveis em suas escolhas de rota se locomovendo à sua própria maneira, com suas características mentais e físicas únicas que os distinguem de todos os outros pedestres (Clifton e Krizek, 2004). Desta forma, ainda é um desafio compreender o que leva os pedestres a escolherem uma determinada rota, ou ainda, uma calçada em detrimento da outra.

Visando aprimorar os modelos já existentes, desenvolveu-se neste trabalho um modelo para estimar do fluxo de pedestres utilizando como estrutura de processamento as Redes Neurais Artificiais (RNA). Este modelo baseou-se em duas teorias existentes para avaliar o fluxo de pedestres, a sintaxe espacial e o nível de serviço dos passeios. As principais premissas que fundamentaram o desenvolvimento do modelo foram simplicidade e precisão. O modelo deveria então ser de fácil aplicação e fornecer resultados com alto grau de confiabilidade. O modelo foi calibrado e validado utilizando dados coletados em campo.

2. MODELOS DE AVALIAÇÃO DE FLUXO DE PEDESTRES

Existem várias formas para entender um fenômeno, entre as quais a criação de modelos. Os meios de representação mesmo sendo físicos ou conceituais, ainda assim, são representações de uma realidade e não a realidade em si. Um modelo visa representar um fenômeno através de sua observação e abstração de maneira simplificada por um processo de verificação e obtenção de conclusões. Para modelar o fluxo dos pedestres é necessário o entendimento de como o pedestre faz suas escolhas e se comporta durante as viagens.

O comportamento humano baseia-se em um processo de tomada de decisões. Ao construir um modelo desse comportamento, presume-se que as atitudes dos pedestres apresentam certas regularidades. Existem diversos tipos de representações possíveis para descrever os pedestres, sua movimentação e o ambiente onde ocorrem. Dentre esses, um grande número de modelos têm sido desenvolvido, os quais buscam explicação para os fenômenos em uma ampla variedade de suposições e teorias, que podem ser agrupados em: (i) modelos de simulação, (ii) modelos de base física, (iii) modelos de nível de serviço, (iv) modelos configuracionais, e (v) modelos de multiagentes (Zampieri, 2006).

Os modelos de simulação buscam representar as escolhas dos pedestres, de forma a maximizar os ganhos na seleção da rota, como por exemplo, minimizando o caminho percorrido. Entre os modelos de simulação existentes pode-se destacar: (i) modelos de espera - *queueing models* (Hoogendoorn e Bovy, 2004; Løvås, 1994), (ii) modelo de transição de matrizes - *transition matrix model* (Helbing *et al.*, 2001; Kurose e Hagishima, 1995), (iii) modelos estocásticos - *stochastic model* (Ashford, 1976) e (iv) modelo de escolha de rotas - *route choice model* (Hoogendoorn e Bovy, 2004). Os modelos de simulação existentes

encontram-se pelo menos parcialmente relacionados entre si e são utilizados para descrever o comportamento de pedestres em situações como saídas de incêndio e evacuação em caso de emergência. No entanto, nenhum deles leva em consideração os efeitos da auto-organização de grupos de pedestres.

Outra abordagem utilizada para modelar o comportamento do pedestre é feita através da analogia do movimento de pedestres com certos gases e fluídos, conhecida como modelos de base física (Helbing, 1991; 1992; Helbing *et al.*, 2001). Nestes modelos são relevadas características específicas dos pedestres, tais como suas intenções e interações. Para serem realmente eficazes, as formulações que utilizam analogias aos fenômenos físicos devem possuir muitas correções e calibrações, considerando os aspectos únicos encontrados no fluxo de pedestres (Helbing, 1992). Devido a suas formulações complicadas e dificuldade de aplicação, o uso dessa metodologia é limitado e muitas vezes economicamente inviável.

Para compreender como, quais e de que forma as variáveis do ambiente influenciam o deslocamento do pedestre no sentido de se sentir confortável e seguro por onde anda, existem os modelos de nível de serviço. Estes modelos avaliam a qualidade da calçada, e com isso, a percepção de segurança e conforto dos pedestres (Khisty, 1994; Ferreira e Sanches, 2001; Landis *et al.*, 2001; Dixon, 1996). A relação entre o pedestre e seu meio ambiente é vital para a circulação. Diferente de outros meios de transporte, uma via para pedestres precisa ser projetada para suprir as necessidades de todos indivíduos, inclusive aqueles com menores habilidades, tais como idosos, crianças e portadores de necessidades especiais.

Os modelos do tipo configuracional, partem da afirmação que “as cidades são mecanismos para geração de um campo potencial de probabilísticos encontros sociais e co-presença” (Hillier, 1997), ou seja, não é o efeito da cidade, mas sim, o efeito social que potencializa o fluxo de pedestres. Hillier e Hanson (1984) afirmam que é possível construir um modelo que traduza as relações sociais utilizadas na criação do espaço através da análise desses padrões. O exemplo mais utilizado desses modelos é a sintaxe espacial, a qual baseia-se no desenho do tecido urbano. A vantagem da sintaxe espacial encontra-se na simplicidade de sua aplicação.

Os modelos de multiagentes apresentam uma nova abordagem aos modelos de simulação, ressaltando a interação das pessoas. Esta abordagem apresenta a vantagem de não tratar o comportamento do pedestre como único, e sim como classes, enfatizando a influência no comportamento existente entre os indivíduos (Batty e Torrens, 2001). As críticas aos modelos de multiagentes recaem na dificuldade de validar os dados obtidos através da comparação com a realidade.

Analisando os modelos existentes para representar o fluxo de pedestres, observa-se que aqueles que apresentam potencial para obterem resultados mais precisos, possuem um processamento complicado e uma metodologia muito complexa, tornando-os de difícil aplicação. No entanto, os modelos de melhor implementação e fácil processamento, não conseguem alcançar uma alta correlação no fluxo de pedestres. A dificuldade da análise dos fluxos de pedestres a partir da modelagem está na falta de ferramentas que simulem as alterações do fluxo a partir de mudanças no ambiente urbano e que possam validar tais alterações através de dados reais. Existe então a necessidade de elaborar um modelo capaz de explicar o fluxo de pedestres de fácil aplicação.

3. MODELO PROPOSTO

Um modelo urbano que pretenda retratar o fluxo de pedestres deve levar em consideração muito mais do que simplesmente as características físicas do passeio, deve abranger também as características morfológicas da cidade. Desta forma, o modelo deve ser capaz de explicar os fluxos de pedestres com alto nível de confiabilidade e representar uma metodologia de fácil aplicação (Zampieri, 2006).

A primeira etapa no desenvolvimento do modelo foi a escolha das bases teóricas para sua geração. A teoria é muito importante para a caracterização de um modelo (Echenique, 1976) e deve ser suficientemente relevante para explicar o fenômeno, ou estar relacionada de alguma maneira com ele, mesmo não existindo uma regra explicitada e formulada, ao utilizar teorias plausíveis, mas difíceis de demonstrar (Batty e Torrens, 2001). Desta forma, foram escolhidas duas bases teóricas agregadas, a sintaxe espacial e o nível de serviço dos passeios. Essas bases foram selecionadas por apresentarem características adequadas à análise das relações entre o fluxo de pedestres e as propriedades do espaço urbano e por sua simplicidade. Para o processamento dos dados optou-se por utilizar as Redes Neurais Artificiais (RNA), pois os atributos incorporados nessas são relacionados na estrutura interna do modelo e não apoiam-se em regras específicas, mas sim em um conjunto de dados treinados em paralelo. Desse modo, parte-se do princípio que não existem regras definindo o comportamento das variáveis, somente a base teórica da qual elas se originaram aplicadas no modelo.

Para o desenvolvimento metodológico, foi realizado um estudo de caso em uma parte da área central da cidade de Santa Maria-RS. Essa cidade situa-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, possui uma população de quase 300 mil habitantes e um território de aproximadamente 1800 km². A área selecionada consiste em 71 calçadas, que por ser um número pequeno, possibilita trabalhar adequadamente com o instrumental proposto, principalmente no levantamento dos dados e seu conseqüente processamento.

4. METODOLOGIA

O modelo proposto visou utilizar teorias existentes que tiveram seus métodos comprovados cientificamente através de outras pesquisas e, ainda, que já tenham sido implementadas, como é o caso da sintaxe espacial e do nível de desempenho dos passeios públicos. Desta forma, a obtenção dos atributos do modelo adotada foi a mesma empregada para as medidas sintáticas e para os níveis de serviço. Os atributos obtidos, de sintaxe espacial e de medidas de desempenho, funcionam como variáveis de entradas (*inputs*), tendo como saída o fluxo de pedestres (*output*). O processamento desses atributos para obtenção de seus pesos e suas relações foi feito através de redes neurais artificiais. As variáveis de entradas (*inputs*) e a saída (*output*) foram relacionadas com a calçada (unidade básica).

A metodologia de desenvolvimento do presente modelo compreendeu cinco etapas:

- Criação e processamento do mapa axial de toda a cidade;
- Medição e contagem das constituições que ligam os passeios às edificações;
- Obtenção da base de dados das edificações existentes na área;
- Escolha dos atributos quantitativos e qualitativos;
- Coleta do *output* do modelo, o fluxo de pedestres por calçada na área de estudos.

4.1. Criação e processamento do mapa axial de toda a cidade

A primeira etapa abrangeu o traçado do mapa axial da cidade de Santa Maria. Segundo Hillier

et al. (1999), a representação através do mapa axial tem mostrado um desempenho melhor do que outros métodos de sintaxe espacial em modelos de predição de pedestres. Para fazer um mapa axial, são traçadas linhas axiais que atravessam a maior quantidade de espaços convexos possíveis sem haver nenhuma deflexão nelas. Depois de traçado, o mapa é processado pelo programa Axman, que analisa as relações entre as linhas axiais através de algoritmos matemáticos que calculam as medidas sintáticas que o desenho urbano possui. A produção do mapa axial é importante pelo grande número de linhas e de conexões entre elas, além de sua interface gráfica facilitar o entendimento da estrutura da cidade por suas caracterizações de distinção de cores entre as informações contidas nas linhas. Com essas informações, compreende-se as características configuracionais do sistema urbano como um todo, e como as diversas partes dele interagem.

Como resultado dessa etapa, diversas variáveis quantitativas foram geradas, das quais apenas cinco foram selecionadas: (i) a integração global (R_n), (ii) integração local de raio 3 (R_3), (iii) controle, (iv) conectividade, e (v) profundidade. Essas variáveis foram escolhidas por serem facilmente comparadas entre si, característica necessária à pesquisa, que procura comparar a diferença entre os fluxos por calçadas. Uma via pode ter seus atributos espaciais medidos e relacionados com as demais, tanto em sua organização global quanto local.

4.2. Medição e contagem das constituições que ligam os passeios às edificações

O sistema de espaços públicos é carregado de pessoas de duas maneiras: pelas transições com o espaço privado e a partir das interfaces dos espaços convexos entre si. O arranjo entre os espaços convexos e entradas das edificações controlam o acesso ao movimento e determinam a ligação aos espaços fora das edificações. A sintaxe espacial dá o nome de constituição para estas transições entre os espaços. Elas funcionam como a ligação entre a parte pública do sistema urbano, como vias e espaços públicos abertos, e a privada, como as edificações. Desse modo, mesmo que uma calçada tenha muitos atratores e a configuração urbana apresente atributos morfológicos favoráveis, se ela não for bem constituída, as edificações não são capazes de “alimentar” os espaços públicos, e o fluxo de pedestres se torna dependente de outras calçadas e suas ligações. Para a área de estudo, quantificaram-se as constituições em metros lineares tomadas em relação a cada calçada.

4.3. Obtenção da base de dados das edificações existentes na área

Para a sintaxe espacial, os atratores funcionam como multiplicadores das propriedades da malha urbana, aumentando sua capacidade de gerar encontros e movimento de pedestres. A influência destes atratores nos movimentos dos pedestres pode ser superior àquela resultante das características da configuração urbana (Hillier *et al.*, 1993). Desta forma, buscou-se aplicar os carregamentos potenciais de cada um dos atratores diretamente no passeio em que se encontrava a interface de ligação. Quando existiam portas para mais de uma calçada, o valor do atrator foi igualmente distribuído para cada calçada de acordo com a medida do vão. Os atratores foram discriminados em tipologias conforme os encontrados no local, como residencial, comercial, serviços e outros usos. Esses últimos caracterizaram as exceções de usos encontrados na área, como, por exemplo, áreas institucionais e atividades sociais. O peso dos atratores foi aplicado diretamente ao passeio no qual existia a constituição e originaram as variáveis: atratores residenciais, atratores comerciais, atratores de serviço e outros atratores. A densidade de atratores comerciais por m^2 encontram-se ilustradas no mapa da Figura 1.

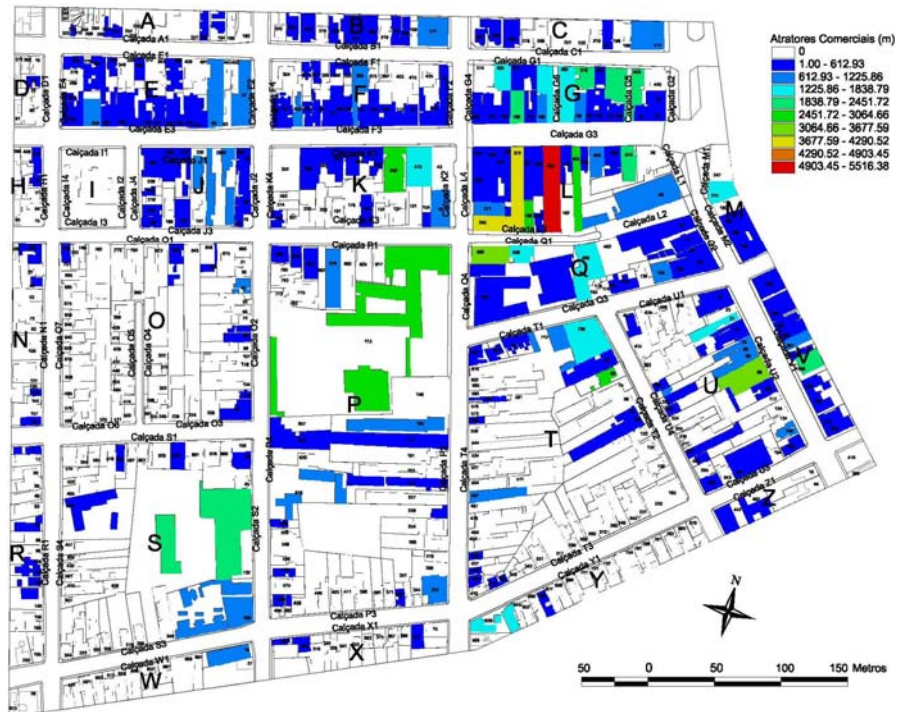


Figura 1: Atratores comerciais encontrados na área de estudo.

4.4. Escolha dos atributos quantitativos e qualitativos

Dixon (1996) afirma que existe um grande número de variáveis associadas à atração de viagens não-motorizadas, e a valoração destas pode influir na propensão de pedestres que utilizam a calçada. O nível de serviço pode avaliar uma calçada tanto quantitativa quanto qualitativamente. No primeiro caso, as variáveis físicas do passeio, largura e comprimento, podem ser mensuráveis, e sua coleta é facilmente realizada através de medições *in loco* ou a partir de bases de dados cartográficas. No segundo caso, são determinados quais os atributos de análise qualitativa do espaço são aplicáveis à área de estudo. Eles são agrupados por semelhança de características em medidas de desempenho (MD), variando entre a melhor e a pior qualidade da MD e não do atributo. Desse modo, são construídas fichas de avaliação que variam de 5 pontos, a melhor avaliação possível, até 0, a pior. Um passeio terá seu desempenho avaliado de acordo com a soma das notas do avaliador para cada MD, gerando um índice. Através deste índice, estabelece-se o nível de serviço do passeio que pode variar entre 'A', o melhor, até 'F', o pior. No presente estudo, as medidas de desempenho utilizadas foram: comprimento, largura, atratividade, conforto, manutenção, segurança e segurança pública. A Figura 2 apresenta os índices resultantes das notas atribuídas aos MDs para cada passeio avaliado.

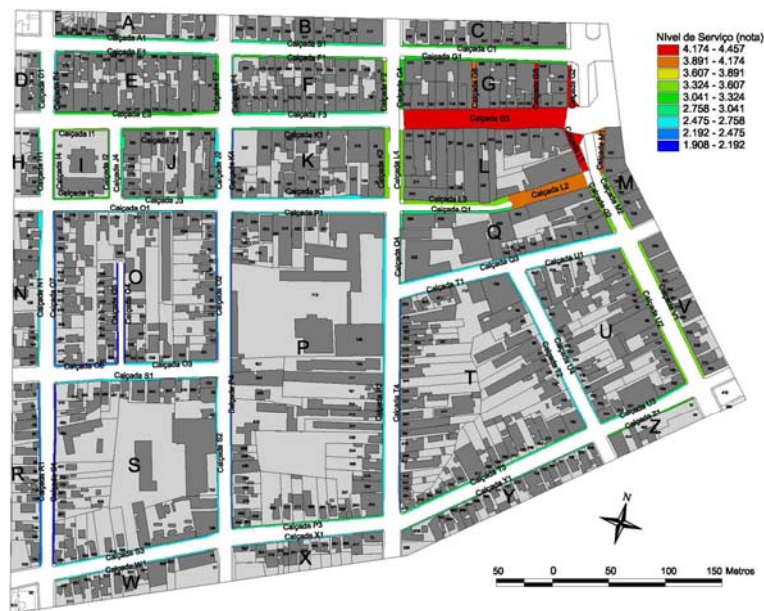


Figura 2: Índice das MDs para os passeios avaliados.

4.5. Coleta da saída do modelo

A saída do modelo foi o fluxo de pedestres em movimento coletado na área, obtido contando os pedestres em movimento para cada calçada. A contagem foi realizada em movimento, por dois pesquisadores que partiram de cada uma das extremidades da calçada, contando apenas os pedestres que estivessem de frente para ele. A coleta do fluxo foi realizada em cinco períodos diferentes do dia e em cinco dias para cada calçada, resultando em um total de 50 medições para cada calçada. Foi calculada, então, uma média de movimento para cada calçada, conforme indicado na Figura 3. Esse método foi utilizado para tentar diminuir eventuais discrepâncias na coleta de dados e diminuir o ruído de dados.



Figura 3: Fluxo de pedestres coletado na área.

5. RESULTADOS

Após a realização de todas as etapas metodológicas, estruturou-se as variáveis e o processou-se o modelo com as RNAs. A estrutura do modelo compreendeu 17 variáveis, das quais dez referentes à configuração urbana, sendo quatro os atratores, e sete às condições dos passeios, conforme Figura 4. Para o processamento do modelo com as RNAs foi adotada a seguinte abordagem: 75% os dados coletados em campo foram utilizados para realizar o treinamento do modelo (calibragem e elaboração), que visou determinar os pesos das variáveis do modelo; os outros 25% foram utilizados para a fase de teste do modelo, que o validou.

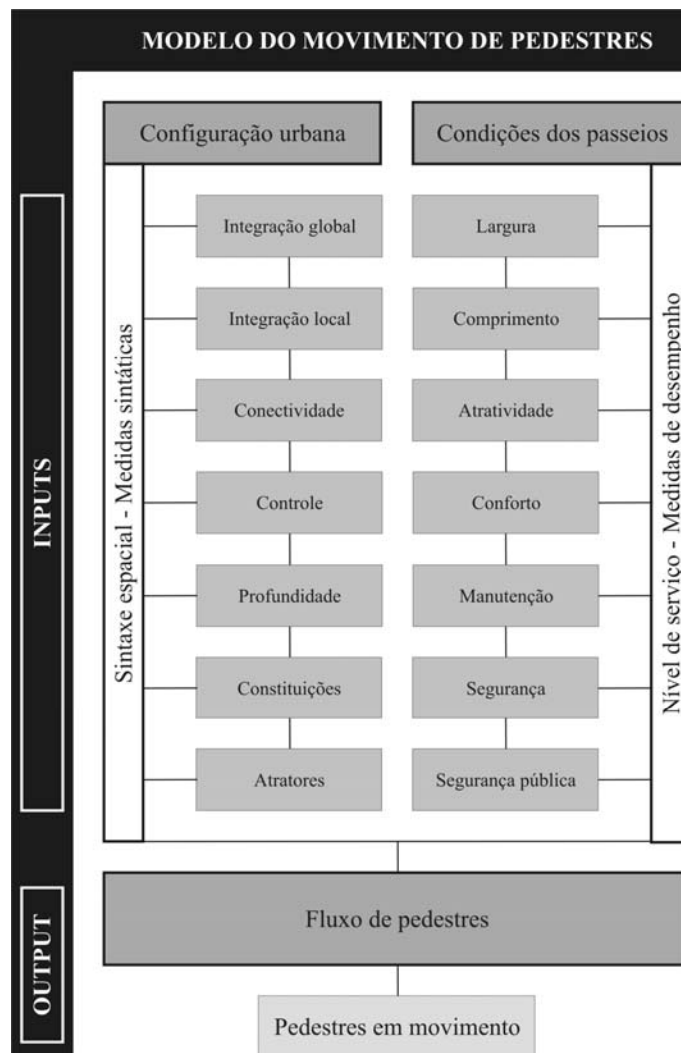


Figura 4: Organograma das variáveis do modelo de fluxo de pedestres

A análise dos dados foi realizada através de um *software* de modelagem de RNA e da reprodução dos dados em planilhas eletrônicas. Existem inúmeros tipos de softwares que modelam RNAs, cabendo a cada pesquisador utilizar aquele que mais se ajuste a suas necessidades. No presente estudo, optou-se pelo *software BrainMaker Professional* (California Scientific Software, 1998), pois este apresenta maneiras de comprovar a eficácia do modelo tais como o Erro Relativo Absoluto Médio (ERAM) e o coeficiente de determinação (R^2).

Para comprovar os resultados obtidos no *BrainMaker*, o modelo foi reproduzido em planilhas eletrônicas. A reprodução é importante por avaliar a estrutura interna do modelo, bem como avaliar os coeficientes de correlação e os erros encontrados. Na reprodução foi utilizado o erro quadrático médio (EQM), pois ele atribui pesos maiores aos erros mais altos e menores aos erros menores. Da mesma forma, o R^2 dado pelo programa é uma linha de tendência entre os valores experimentais (reais) e os simulados (obtidos pelo programa) que não passa pela origem. Na reprodução preferiu-se que a linha de tendência iniciasse no ponto 0 do gráfico o

que diminui o valor da correlação, mas apresenta um valor mais correto para este caso. O modelo foi reproduzido criando-se uma planilha eletrônica baseada no funcionamento dos neurônios de uma RNA para determinar o número de pedestres em movimento.

Os resultados do modelo foram considerados satisfatórios para esse tipo de pesquisa. Na fase de treinamento, o modelo dos pedestres em movimento obteve coeficiente de determinação (R^2) igual 0.9437 (Figura 5a) com erro quadrático médio de 0.0014689, na fase de teste o modelo obteve um R^2 de 0.9611 (Figura 5b) com EQM de 0.0024692. De posse dos resultados, pôde-se inferir que o fenômeno pode ser explicado pelas suas variáveis, com a alta correlação encontrada elas “explicam” o fluxo de pedestres calculado pelo modelo. Os resultados indicaram que o modelo desenvolvido é de fácil aplicação e pode ser reaplicado em outros municípios. O detalhamento aprofundado deste modelo e de sua formulação matemática encontra-se em Zampieri (2006).

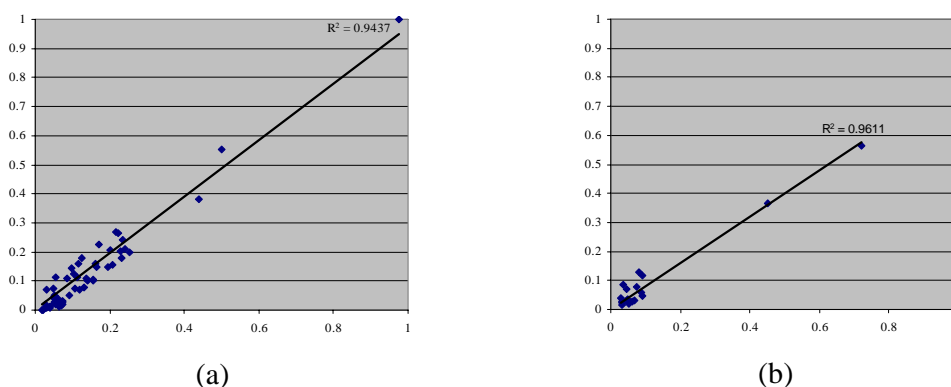


Figura 5: Coeficiente de correlação entre os dados de treinamento (a) e teste (b) do modelo de pedestres em movimento

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As viagens a pé devem então ser consideradas como essenciais para o transporte, devendo ser estudadas e quantificadas, sejam elas viagens curtas ou longas. O estudo de Rietveld (2000) mostra que quando se consideram as caminhadas de pequena distância e para troca de modais, o número de viagens não-motorizadas fica cerca de seis vezes maior que a metodologia utilizada usualmente nos índices de viagens. Porém, pouco se sabe quanto os pedestres andam nos centros urbanos. Esta análise se faz necessária tanto para monitorar o desenvolvimento de projetos de desenvolvimento urbano, como de segurança dos pedestres.

O presente trabalho apresentou, de forma sucinta, várias metodologias utilizadas para modelar fluxo de pedestres. Porém, observou-se que não existe uma maneira eficiente de comparação entre eles, devido a grande variedade de diferentes tipos de modelos trabalhando com diversas teorias e abordagem. Rodrigue (1997) ressalta que muitos modelos adaptam teorias urbanas empíricas para se “enquadrar” a métodos matemáticos. Essa maneira de abordar a modelagem limita o uso da ferramenta para o transporte a pé pela demora considerável em calibrar o modelo. Além disso, muitos modelos são baseados em teorias não aplicáveis ao planejamento de transportes. A melhor forma de obter um bom modelo para mensurar os fluxos de pedestres é adaptar os métodos matemáticos para as necessidades encontradas.

Neste trabalho apresentou-se um modelo com grande potencial para avaliar os fluxos de pedestres em centros urbanos. O estudo de caso indicou que o modelo além de ser de fácil aplicação resulta em dados concisos e precisos. Trabalhos futuros deverão adaptar o modelo desenvolvido de forma que este possa ser aplicado em municípios de pequeno e grande porte. Os dados obtidos poderão guiar o processo de decisão na adoção de medidas de planejamento urbano e melhoria da segurança do pedestre, além de auxiliar na avaliação dos riscos dos acidentes envolvendo pedestres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashford, N.; M. O'Leary, e P. D. McGinity (1976) Stochastic Modelling of Passenger and Baggage Flows Through an Airport Terminal. *Traffic Engineering and Control*, v.17, Maio, p. 207-210.
- Batty, M. e P. M. Torrens (2001) Modeling Complexity: The Limits To Prediction. *Working Paper Series of Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA)* University College London. On-line, Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/paper36.pdf> em junho de 2006.
- Clifton, K. J. e K. J. Krizek (2004) The Utility of the NHTS in Understanding Bicycle and Pedestrian Travel. *National Household Travel Survey Conference: Understanding Our Nation's Travel*. Transportation Research Board, Bureau of Transportation Statistics (BTS). Washington, D.C.
- Dixon, L. B. (1996). Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems. *Transportation Research Record* 1538, TRB. p. 1 - 9.
- Dora C. e Phillips M, (ed) (2000) Transport, environment and health. *Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe*. WHO Regional Publications, European Series, n. 89. On-line, Disponível em: <http://www.euro.who.int/document/e72015.pdf> em maio de 2005.
- Echenique, M. (1976) *Modelos Matemáticos de La Estructura Urbana*. BsSa, SIAP.
- Ferreira, C., C. Ferreira Filho e A. Meneghini e A. Riera (2005) Benefícios do exercício físico na Hipertensão Arterial. 4º Congresso Virtual de Cardiologia.
- Ferreira, M. A. G. e S. P. Sanches (2001) Índice de Qualidade das Calçadas - IQC. *Revista dos Transportes Públicos*. Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP, Ano 23, n.91, São Paulo.
- Helbing, D. (1991) A Mathematical Model for the Behavior of Pedestrians. *Behavioral Science*. v.36, p. 298-310.
- Helbing, D. (1992) A Fluid Dynamic Model for the Movement of Pedestrians. *Complex Systems*. v.6, n.5, p. 391-415.
- Helbing, D.; P. Molnár; I. J. Farkas e K. Bolay (2001) Self-organizing pedestrian movement. *Environment and Planning B: Planning & Design*. v. 28, p. 361-383.
- Hillier, B. (1997) *The space is the machine*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hillier, B. (1999) The Hidden Geometry of Deformed Grids: Or, Why Space Syntax Works, When it Looks as Though it Shouldn't. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 26, p. 169-191.
- 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.
- Hoogendoorn, S. P. e P. H. L. Bovy (2004) Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B*. n. 38, p.169-190.
- IBGE (1998) *Dados sobre exercício físico. Indicadores sociais*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. On-line, Disponível em: <http://www.sempreenforma.com.br /vidasaudavel/ infogeral/ dados-ibgeexerc-fisic.html> em novembro de 2005.
- 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.
- Killingsworth, R. E. e J. Lamming (2001) Development and Public Health: Could our development patterns be affecting our personal health? *UrbanLand*. Julho de 2001, p.12-17.
- Kurose, S e S. Hagishima (1995) A Method for Identifying Accessibility Properties of Pedestrian Shopping Networks. *Journal of Retailing and Consumer Services*. v. 2, n. 2, p. 111-118.
- Landis, B.; V. Vattikuti; D. McLeod e M. Guttenplan (2001) Modeling the Roadside Walking Environment: Pedestrian Level of Service. *Transportation Research Record*. 1773, TRB, p. 82-88.
- Løvås, G. G. (1994) Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow. *Transportation Research part B: Methodological*. v. 28. n. 6, Dezembro, p. 429-443.
- Mello, M. D.; A. C. Fernandez e S. Tufik (2000) Levantamento epidemiológico da prática de atividade física na

- cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. v.6, n.4, p.119-124.
- Oliveira, C. D. e M. Fisberg. (2003) Editorial: Obesidade na Infância e Adolescência - Uma Verdadeira Epidemia. *Arquivo Brasileiro de Endocrinol Metabólica*. v.47, n.2, Abril 2003, p.107-108.
- Rietveld, P. (2000) Non-motorised modes in transport systems: a multimodal chain perspective for The Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. v.5, n.1, p.31-36.
- Rodrigue, J. P. (1997) Parallel Distributed Processing of Transportation / Land Use Systems: Theory and Modelling with Neural Networks. *Transportation Research C*, v. 5, n. 5, p. 259-271.
- 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.