

MODELAGEM DO FLUXO PEATONAL UTILIZANDO REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

Fábio Lúcio Zampieri

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

Faculdade de Arquitetura – UFRGS

Charlie Williams Rengifo Bocanegra

Emílio Merino Dominguez

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

Escola de Engenharia – EE/UFRGS

RESUMO

O fluxo de pedestres em tecidos urbanos tradicionais é observado com vários propósitos por diversas áreas do conhecimento. Neste trabalho foram utilizadas duas correntes que trabalham diferentemente com o tema: a sintaxe espacial e o nível de serviço das calçadas. A primeira corrente procura entender como o sistema configuracional pode explicar o deslocamento de pedestres, e a segunda avalia a qualidade dos passeios. Estas duas maneiras de trabalhar com o espaço destinado aos pedestres se complementam, sendo as duas necessárias para explicar o fluxo de pedestres. Utilizando estas variáveis configuracionais e qualitativas, desenvolveram-se modelos de previsão do fluxo de pedestres para o centro da cidade de Santa Maria - RS, utilizando as Redes Neurais Artificiais (RNA). Além disso, buscou-se evidenciar quais e quanto estas variáveis influenciam o fluxo de pedestres nas áreas centrais dos tecidos urbanos tradicionais.

ABSTRACT

The pedestrians flow in traditional urban grid is observed with several purposes for different knowledge area. In this paper, two of these areas had been introduce: (i) the space syntax and, (ii) the sidewalk service level, through its performance measure. The first area is concerned in understand how the configuration system can explain the pedestrians flow. The second one evaluates the sidewalk quality in a local level. These two approaches are complementary, and both are necessary to explain the phenomenon. Artificial Neural Networks (ANN) models were developed for forecast pedestrians flow in Santa Maria, RS, using sidewalks qualitative and configurational variables. It was also evaluated the relevance of these variables in the quantification of the pedestrians flow.

1. INTRODUÇÃO

Deslocar-se a pé através da cidade é o modo mais básico de transporte urbano utilizado nas cidades. É um meio de transporte ecológico e socialmente correto pois não polui o meio ambiente e é um conservador energético

Na escolha de seu caminho, o pedestre tem muitos condicionantes que podem fazê-lo mudar de direção e tomar um caminho que não seja, simplesmente, o mais curto metricamente. Pode preferir fazer seu percurso para passar por alguma loja de sua preferência, por um lugar mais seguro ou, simplesmente, por um caminho mais agradável.

Mesmo sem a percepção do pedestre, dos motivos que o levam a escolher um caminho, muitos deles passam pelas características configuracionais do espaço urbano, bem como pela análise estritamente local da qualidade das calçadas. Deste modo, é vital entender como a dinâmica do movimento peatonal afeta o planejamento urbano de nossas cidades, pois revela os atributos evidenciados nesta escolha.

Nas ruas o pedestre está muito vulnerável a riscos pois compete, muitas vezes, com outros meios de transporte que circulam pelos mesmos lugares. Além deste fator, na maioria das vezes, as calçadas não são adequadas ao pedestre, pois têm uma capacidade de fluxo e condições físicas impróprias ao seu deslocamento, como, por exemplo: pisos escorregadios,

desníveis na calçada, calçada com largura inferior à mínima recomendada e falta de sinalização e faixas elevadas para pedestres.

Sempre houve a necessidade de entender os fluxos de pedestres em todos os estudos do fenômeno urbano. Esforços para tentar avaliar os espaços e, conseqüentemente, qualificá-los, foram realizados em diferentes áreas do conhecimento urbano, resultando sempre em melhorias para a população. Assim, este trabalho procurou correlacionar áreas de estudo, como a sintaxe espacial e o nível de serviço das calçadas, com a circulação de pedestres nas áreas centrais de tecidos urbanos tradicionais, utilizando para esta tarefa as Redes Neurais Artificiais (RNA), uma ferramenta muito utilizada em diversas áreas do conhecimento devido às suas propriedades associativas.

2. ATRIBUTOS DO ESPAÇO URBANO E SUA RELAÇÃO COM O MOVIMENTO PEATONAL

Andar é a forma mais básica de deslocamento do ser humano. Mas as pessoas não caminham simplesmente para vencer distâncias, deslocam-se pelos centros das cidades com vários propósitos como fazer compras, passear pelas ruas, sociabilizar, ir a algum lugar ou somente estar de passagem (Monheim, 1979). Jacobs (2000), apresenta as cidades e as interações urbanas como uma fórmula complexa, relacionando seus habitantes e os valores colocados por estes no meio que vivem. Desta forma mostra como os habitantes e moradores se apropriam da cidade e, mais especificamente, das calçadas, transformando a circulação urbana em algo muito mais complexo e dinâmico.

A morfologia urbana, através da sintaxe espacial, correlaciona o espaço urbano em sua totalidade com o fluxo de pedestres, chamando este fenômeno de movimento natural. Outra área que trabalha com a circulação de pedestres é a engenharia de tráfego, analisando os níveis de serviço das calçadas. Através da engenharia de tráfego foram formuladas teorias sobre deslocamento e circulação de pedestres em áreas urbanas, e definindo avaliações qualitativas que devem possuir os espaços destinados aos pedestres.

2.1. A Sintaxe Espacial

A sintaxe espacial estuda as características dos traçados urbanos, isto é, a importância da modelagem configuracional no fluxo de pedestres. Iniciou através dos estudos realizados por Hillier e Hanson (1984) sobre a lógica social do espaço.

A parte pública do sistema urbano é dividida em espaços convexos, que, segundo Holanda (2002), correspondem ao que podemos entender por um lugar em pequena escala, um espaço aberto, como uma rua ou uma praça. A convexidade do espaço existe quando podemos traçar linhas retas de qualquer ponto no espaço a qualquer outro, sem passar pelos limites externos do espaço convexo em si. Tendo o mapa com os espaços convexos podemos traçar o mapa axial.

O mapa axial é um conjunto de linhas retas que atravessam o maior número de espaços convexos possíveis e servem para analisar o tecido urbano. São importantes porque fazem uma simplificação da realidade e avaliam o espaço urbano como um conjunto. Ao processar sintaticamente o mapa axial obtemos dois tipos de resultados, os dados alfanuméricos e os dados em forma de gráficos (Hillier *et al.*, 1993). Os dados alfanuméricos são obtidos através de matrizes de linhas numeradas e dos parâmetros espaciais incluídos em cada uma delas. Já

os dados em gráficos são obtidos em forma de mapas nucleados que tem sua cor resultante conforme o valor dos seus parâmetros.

Em um sistema urbano os atratores correspondem à parte edificada, como prédios e casas, isto é, a parte privada do sistema. Segundo Hillier *et al.* (1993), a presença de atratores pode influenciar a presença de pessoas, mas não o sistema configuracional. Entretanto, a configuração pode afetar o movimento de pessoas, mas não os parâmetros configuracionais, que não são afetados pelo fluxo de pedestres. Logo, o fluxo de pedestres é afetado pelo atratores e pelo sistema configuracional do espaço.

Embora a sintaxe espacial explique de certa forma o fluxo de pedestres, não aborda características qualitativas do espaço urbano local, como por exemplo, a qualidade das calçadas. Ela atua na parte configuracional do ambiente, abrangendo as características do espaço urbano como um todo.

2.2. Nível de serviço das calçadas

O conceito “nível de serviço” apareceu pela primeira vez no Highway Capacity Manual de 1965, para aplicação na avaliação das vias para o tráfego veicular. Esta análise foi desenvolvida tendo por base a consideração de volumes de serviço e uma avaliação qualitativa da conveniência dos motoristas.

Fruin (1971) foi o primeiro a adaptar o conceito de nível de serviço para o caso de pedestres. Seu estudo criou o conceito de fricção e descreveu o corpo humano fazendo uma analogia com uma elipse, considerando as duas principais dimensões, vistas em planta. De acordo com as dimensões da elipse, ele definiu seis níveis de serviço (A até F) para áreas de espera (ou filas), calçadas e escadas.

O Highway Capacity Manual de 2000 (HCM, 2000), a partir do trabalho de Fruin, continuou aplicando o conceito de nível de serviço para o caso de infra-estruturas para pedestres, revisando as medidas numéricas de velocidade, fluxo e densidade, exatamente as mesmas utilizadas para o caso do fluxo veicular.

Mori e Tsukaguchi (1987) propõem dois métodos para avaliar a qualidade das calçadas. No primeiro a avaliação é baseada no comportamento dos pedestres, considerando o grau de congestionamento e a largura das calçadas. No segundo método, recomendado para calçadas em que o fluxo de pedestres é relativamente pequeno, a avaliação é baseada na opinião dos pedestres. As características utilizadas para explicar as condições das calçadas são: a largura total da via, a largura efetiva da calçada, o tipo de calçada, a taxa de obstáculos, a taxa de área verde, o fluxo de tráfego, o fluxo de pedestres e o número de veículos estacionados. Khisty (1994) desenvolveu um método que também leva em consideração a percepção dos pedestres. Nesse método sete medidas de desempenho (MD) são utilizadas:

1. Atratividade - Esta MD engloba além de fatores estéticos, atributos como satisfação, prazer, interesse e exploração.
2. Conforto - Fatores como proteção contra intempéries, controle climático, abrigos devidamente projetados, condições da superfície, etc. Outras características como odor, ventilação, ruído, vibração e densidade de pessoas também podem ser incorporados a esta MD.

3. Conveniência – As distâncias, ao caminhar, conectadas com os atributos como direção do caminho, existência e localizações de rebaixamento do meio-fio, direção das sinalizações, existência de mapas de atividades, conexões convenientes entre locais freqüentemente usados e outras características que facilitam o ato de caminhar. As obstruções nas calçadas são consideradas uma fonte de inconveniência para os pedestres. As rampas nas esquinas destinadas a portadores de necessidades especiais e também pisos táteis também são considerados nesta MD.
4. Segurança – A redução de conflitos entre pedestres e veículos podem ser considerados como fatores básicos na promoção de segurança. A facilidade de se locomover mesmo em área livre de carros como galerias, shoppings, entre outros, é considerado como sendo parte da segurança. Particularmente, em ruas com trânsito muito intenso, o fornecimento de recursos de controle bem projetados, oferecendo tempo e separação adequada dos veículos, é uma parte essencial da segurança.
5. Segurança pública – A habilidade de suprir aos pedestres facilidades, tanto para o público em geral quanto para a polícia através de linhas desobstruídas de visão, boa iluminação, ausência de áreas obstruídas e vigilância através de circuito fechado de tv, são considerados medidas de boa performance. O pedestre deve sentir-se razoavelmente à salvo e seguro, de maneira proporcional ao nível de segurança na vizinhança e no nível de atividades predominantes nas ruas.
6. Coerência do sistema – Imagem mental e seletividade desempenham um importante papel na percepção e entendimento do espaço. Entretanto, um pedestre não familiarizado com o local dará mais importância à orientação e direção a ser tomada do que aos fatores estéticos do entorno. Existe uma forte correlação entre as atividades presentes no local e as imagens cognitivas do lugar. Até as noções de distância podem ser afetadas pela geometria dos caminhos.
7. Continuidade do sistema – Um sistema de circulação de pedestres bem projetado pode possuir todos os atributos mencionados nas MD anteriores, mas falta uma característica essencial de continuidade e de conectividade. Continuidade é particularmente importante em sistemas multi-modais, conectando os caminhos de pedestres e unificando o sistema de modo mais eficientemente.

Cada uma dessas medidas de desempenho é avaliada numa escala de 0 a 5, sendo que 5 representa a melhor qualidade e 0 representa a pior. A importância relativa, atribuída pelos pedestres a cada uma das medidas de desempenho é definida através de entrevistas utilizando o método de comparação por pares. A avaliação final de um trecho de calçada é obtida pela somatória da nota atribuída a cada um dos aspectos considerados, ponderada pela importância relativa de cada aspecto.

3. MÉTODO

Apresenta-se, neste item, um resumo da abordagem adotada na definição das variáveis de sintaxe espacial e do nível de serviço das calçadas, necessárias para o desenvolvimento de modelos de RNA, que visam à previsão do fluxo de pedestres. Serão discutidos também o local de estudo, a base de dados utilizada no processo e o desenvolvimento do modelo em RNA.

3.1. Local de estudo

O critério utilizado para escolher a área em que será realizada a pesquisa foi o de considerar os passeios que mais representassem a dinâmica da movimentação de pedestres no centro da

cidade, juntamente com sua multiplicidade de usos. Nesta seleção a intenção foi de buscar aqueles passeios que, mesmo centrais quanto à locação, possuem usos distintos e uma variedade de níveis de integração e, conseqüentemente, segregação neste sistema urbano. Este trecho da cidade foi escolhido por representar adequadamente um tecido urbano tradicional. Como tecido tradicional podemos considerar as configurações que têm por base um processo de crescimento que não necessariamente se originaram de um projeto unitário (Rigatti, 1995).

Seguindo os critérios anteriores foi escolhido um trecho da zona central da cidade de Santa Maria, a qual se localiza no estado do Rio Grande do Sul, na posição 29° 41' 25" de latitude sul e 53° 48' 42" longitude oeste. A borda da área estudo está limitada pelas ruas Venâncio Aires, Acampamento, Tuiuti e Duque de Caxias.

Esta área está bem adequada, quanto a suas características físicas, para as análises de nível de serviço das calçadas. Já no referente à necessidade imposta metodologicamente pela sintaxe espacial é muito pequena para ser analisada sozinha. Hillier (1984) recomenda o uso de todo o sistema urbano, ou de uma grande parte dele, a fim de evitar o efeito provocado pelos limites físicos que podemos impor ao estudo. Para a resolução deste problema será utilizado o mapa axial de toda a cidade, o que anula o "efeito de borda".

Foram selecionadas para este trabalho 22 calçadas, que por ser um número pequeno possibilitará trabalhar com o instrumental proposto de maneira mais adequada, principalmente no levantamento dos dados e conseqüente processamento. A figura 1 apresenta a área de estudo.



Figura 1 - Mapa da área de estudo

3.2. Base de dados

3.2.1. Fluxo de Pedestres

Foram coletados os fluxos dos pedestres parados e em movimento para cada calçada. A medição foi feita em movimento por dois pesquisadores que partiram de cada uma das extremidades da calçada, isto é, de lados transversalmente opostos, contando apenas os pedestres que estivessem de frente para ele. Foram discriminados os pedestres que estavam em movimento dos que estavam parados (foram considerados parados os pedestres estacionários no momento, isto é, sentados, conversando, olhando vitrines, etc.). Esta coleta foi realizada em cinco períodos diferentes do dia, cinco vezes em cada calçada. Resultando em um total de 25 medições em cada calçada por pesquisador, isto é, em cada sentido do trajeto.

3.2.2. Variáveis Relativas à Sintaxe Espacial

O primeiro passo para a obtenção das medidas sintáticas foi à aquisição do mapa axial processado da cidade de Santa Maria (Salomoni, 2005).

O mapa axial é importante pelo grande número de linhas e de conexões entre elas, além de que sua interface gráfica facilita o entendimento da estrutura da cidade pelas suas caracterizações de distinção de cores entre as informações contidas nas linhas. Com estes dados podemos compreender as características configuracionais do sistema. Dele foram obtidas as seguintes variáveis: (i) Conectividade: refere-se à quantidade de linhas conectadas diretamente a outras linhas; (ii) Controle: mede o controle que uma linha exerce nas outras conectadas a ela; (iii) Profundidade: mede quantos outros nós são acessíveis diretamente da linha; (iv) Integração global (R_n): é o grau de integração que uma dada via (linha) tem com relação a todas as outras da cidade (ou da área de estudo); (v) Integração local: identifica a relação de um conjunto de linhas inseridas em um raio de abrangência, neste trabalho foi escolhido uma integração local de raio 3 (R_3).

Outra variável medida foi “constituições”, que é o arranjo entre os espaços convexos e as entradas das edificações que controlam o acesso ao movimento, isto é, a interface entre as edificações e a rua. As constituições funcionam como a ligação entre a parte pública do sistema urbano (como vias e espaços públicos abertos) e a privada (como as edificações). Com isso temos um potencial de carregamento no número de pedestres que é dado a uma via devido a sua maior ou menor permeabilidade.

Na área de estudo adotada para o trabalho existem dois tipos de espaços convexos, os constituídos, que apresentam grande número de ligações entre a área pública e a privada e, também, espaços convexos desconstituídos que possuem pouca ou nenhuma ligação (Holanda 2002). As constituições foram medidas em metros para cada uma das calçadas.

A última variável inserida neste trabalho é “atratores”. O efeito dos atratores é tão importante para o movimento peatonal que pode chegar a ultrapassar a configuração (Hillier, 1994). A maneira encontrada de fazer os carregamentos de cada um dos atratores foi agregar sua área a cada um dos passeios onde se encontrava a sua constituição, que fazia a ligação entre o atrator e o espaço público.

Os atratores foram discriminados em tipos, conforme os encontrados no local, assim temos atratores residenciais, comerciais, de serviços e de outros usos. Este último caracterizou as

exceções de usos encontrados na área, como por exemplo, áreas institucionais ou de atividades sociais, entre outras. Para cada atrator foi registrada sua área em metros quadrados que foi agregada à calçada onde ele se ligava. No caso do atrator se ligar a mais de uma calçada o valor de sua área foi particionado entre elas.

3.2.3. *Variáveis Relativas ao Nível de Serviço das Calçadas*

Para obter as variáveis relativas ao nível de serviço das calçadas, foram determinadas as medidas de desempenho (MD) que se aplicavam à área de estudo. Destas medidas, são consideradas aquelas relacionadas exclusivamente com pedestres, assim como também aquelas que podem ser utilizadas juntamente com outros modos de transporte. Além disso, foram selecionados os atributos relacionados a cada uma das MD escolhidas:

- Atratividade – características visuais do espaço (agradabilidade do espaço aos pedestres e preocupação com os aspectos estéticos do espaço), características sociais do espaço (caracteriza a existência de espaços destinados à vivência e sociabilização dos pedestres) e características visuais do entorno (representa as características visuais e funcionais do entorno e sua influência sobre os pedestres).
- Conforto – Características da faixa de circulação de pedestres (relativa às dimensões da calçada), características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras (adequação da calçada no sentido de conter rampas de acesso e ausência de desníveis. Não foi tratado aqui da qualificação das calçadas a outros grupos de portadores de necessidades especiais como os visuais que necessitariam de piso tátil pois infelizmente nenhuma calçada da cidade possui este tipo de adequação) e características da disposição do mobiliário urbano (analisa a interferência do mobiliário público na circulação dos pedestres).
- Manutenção – Características da adequação do tipo de pavimentação à via, características da condição física da pavimentação e características da limpeza da via.
- Segurança – Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos, características das passagens para outras calçadas - faixa de segurança e semáforo.
- Segurança pública – Policiamento no local, co-presença local e visibilidade entre os diferentes pontos da calçada.

Na aplicação dos pesos de cada MD foi utilizado o método da comparação “par-a-par” junto com a técnica da “soma-constante” (Khisty, 1994). Nesta metodologia, pedestres responderam questionários onde compararam todas as MD de duas a duas, medindo sua importância através de uma nota. Depois de realizada a soma das notas de cada MD, e através de processos matemáticos, é possível se chegar ao *ranking* destas MD.

Somando os valores das medidas de desempenho foi obtida a nota geral da calçada, a qual nos indicará o nível de serviço da mesma, que pode variar de A até F. Cabe destacar que esta nota geral foi utilizada como variável relacionada ao nível de serviço da calçada, devido ao melhor resultado obtido na modelagem.

3.3. **Desenvolvimento do modelo com RNA**

Para o desenvolvimento do modelo foi utilizada a seguinte abordagem: 75% dos dados foram utilizados para treinamento (ou calibração) do modelo, e com os dados restantes (25%), se realizou o teste (ou validação).

O conjunto de teste serviu para comprovar o desempenho do modelo, já que os dados desse conjunto não entraram no processo de treinamento. O *software* de Redes Neurais Artificiais *BrainMaker Professional* (California Scientific Software, 1998), foi empregado para a modelagem. As medidas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos, e, em consequência, escolher o melhor deles, foram o Erro Quadrático Médio (EQM) e o Coeficiente de Determinação (R^2).

Foram desenvolvidos dois tipos de modelos, um para estimar o fluxo de pedestres em movimento, e outro para estimar o número de pedestres parados. As variáveis de entrada ou explicativas dos modelos foram: Integração global (R_n), integração local (r_3), conectividade, controle, profundidade, constituições, atratores residenciais, atratores comerciais, atratores de serviços, outros atratores, nota geral da calçada (medida de desempenho), largura e o comprimento da calçada.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Testaram-se diferentes arquiteturas de RNA, sendo que cada uma delas teve sua respectiva etapa de treinamento. Após as comprovações e comparações dos resultados, encontrou-se que os modelos, os quais possuem uma camada intermediária com treze neurônios, apresentam o melhor resultado. Na Tabela 1 podem ser observadas as medidas de desempenhos dos melhores modelos, tanto para pedestres em movimento como para pedestres parados.

Tabela 1 – Medidas de desempenho dos melhores modelos

	Conjunto de Treinamento		Conjunto de Teste	
	R^2	EQM	R^2	EQM
Pedestres em movimento	0,9693	0,0019	0,8312	0,0037
Pedestres parados	0,9813	0,0016	0,8638	0,0053

Dos resultados contidos na Tabela 1, podemos observar que os valores dos coeficientes de determinação (R^2), assim como do EQM, são satisfatórios, mostrando dessa maneira o bom desempenho dos modelos desenvolvidos.

A partir da definição dos melhores modelos foi avaliada a influência das variáveis de entrada no fluxo de pedestres (saída), através do método proposto por Garson (1991). Este método particiona os pesos sinápticos entre a camada intermediária e a de saída em componentes associados com cada nó de entrada. Assim o peso resultante associado com cada entrada é um reflexo de sua importância. A Figura 2 e 3 mostram a relevância das variáveis dos melhores modelos obtidos, tanto para “pedestres parados”, como para “pedestres em movimento”. Através destas figuras se pode perceber que a variável “medidas de desempenho” é a menos relevante no modelo de pedestres parados, com pouco mais de 5% do total, sendo que “conectividade” têm a maior relevância, com valores em torno de 10%. A figura 3 mostra que a variável com menor importância para o modelo é atratores de serviços e a maior é atratores comerciais e nota da calçada (medida de desempenho).

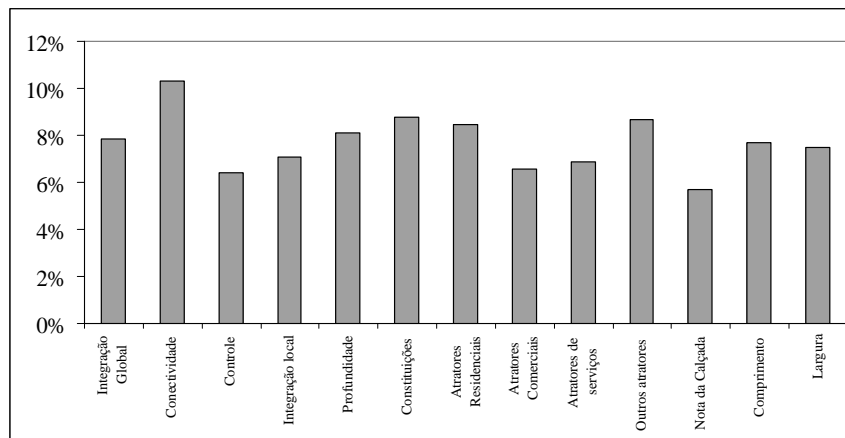


Figura 2 - Relevância das variáveis de entrada para pedestres parados

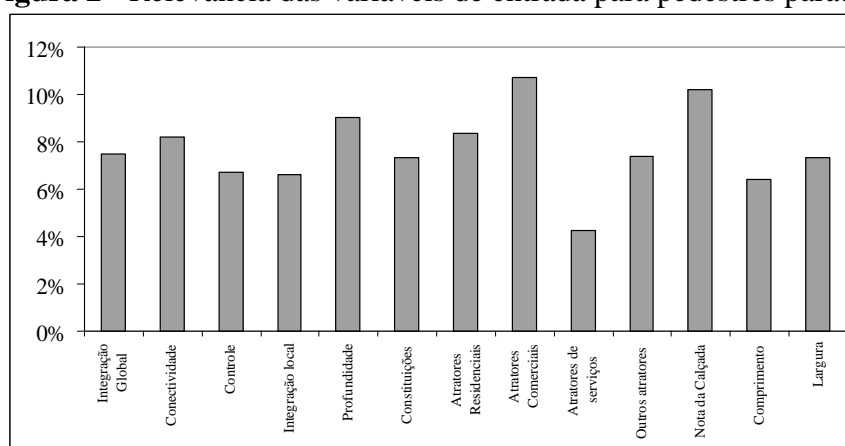
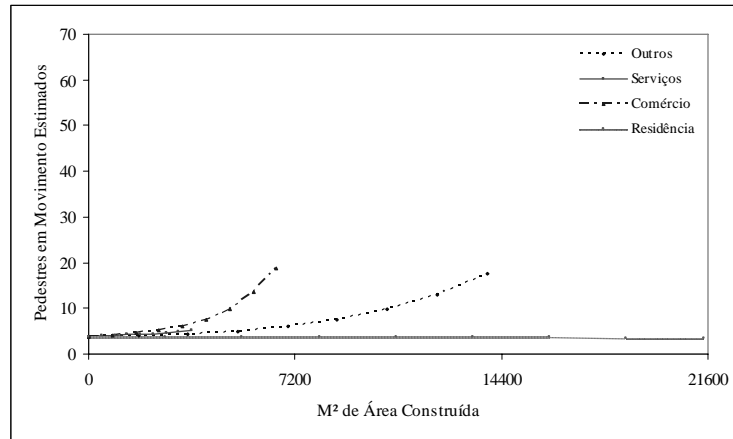


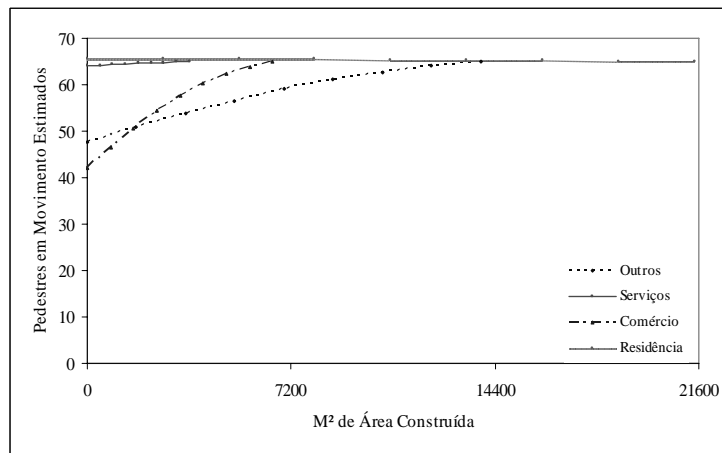
Figura 3 - Relevância das variáveis de entrada para pedestres em movimento

No modelo de pedestres parados, a importância da variável conectividade, que é uma medida local, confirma que o grau de vínculo entre uma linha axial e as que se conectam a ela, tem uma relevância maior que as outras medidas configuracionais, para esta área. No modelo de pedestres em movimento, a maior importância do atrator comercial demonstra o potencial de amplificação que este atrator possui na malha urbana, este fato ajuda a explicar o grande fluxo de pedestres em áreas comerciais urbanas. Já a nota da calçada, confirma que os passeios que possuem uma qualidade maior são os mais procurados pelos pedestres para sua locomoção. De maneira geral podemos observar também que os valores nas figuras estão próximos um do outro, variando de 5% a 10%, pelo que podemos afirmar que a importância das variáveis nos modelos é praticamente a mesma.

Por meio do modelo construído e validado, podemos verificar o comportamento dos valores de saída frente a variações nos dados de entrada através de uma análise de sensibilidade. Assim, foi verificado que a maior variação do fluxo de pedestres aconteceu ao analisar o atributo “atratores”, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5. Esta análise também demonstrou que os “atratores”, mesmo tendo uma importância relativamente parecida com as outras variáveis, conseguiu uma maior variação nos fluxos de pedestres. Isto levanta a questão de Hillier (1993), na qual os “atratores” têm a capacidade de amplificar o fluxo de pedestres nos tecidos urbanos tradicionais e, embora, não tenham uma importância muito maior para a determinação deste fluxo, os “atratores” agem como multiplicadores das características configuracionais.

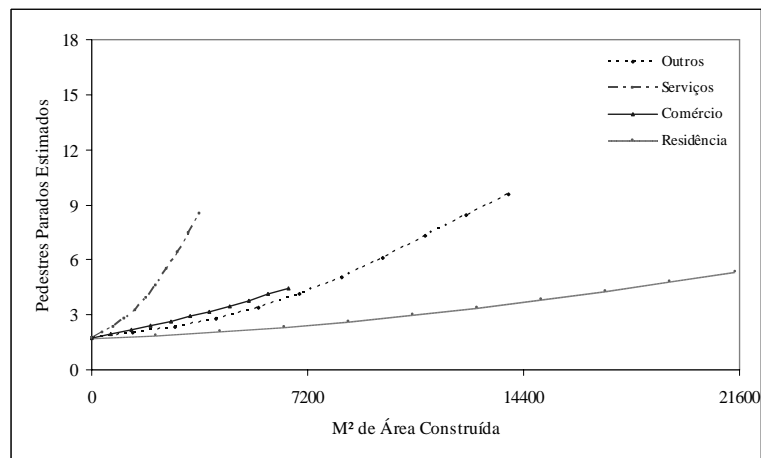


(a)

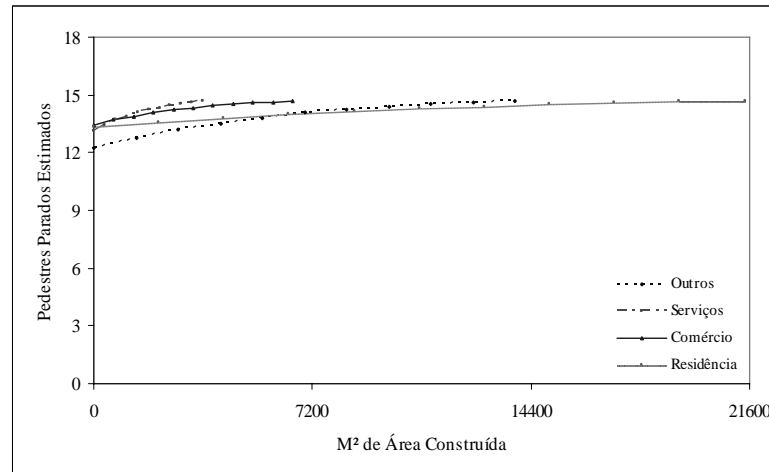


(b)

Figura 4 - Variação dos atratores (residenciais, comerciais, de serviços, outros), para os valores mínimos (a) e máximos (b) de integração (global e local), de conectividade, de controle, de profundidade, de constituições, de medidas de desempenho e de largura e comprimento da calçada, no modelo de previsão de fluxo de pedestres em movimento.



(a)



(b)

Figura 5 - Variação dos atratores (residenciais, comerciais, de serviços, outros), para os valores mínimos (a) e máximos (b) de integração (global e local), de conectividade, de controle, de profundidade, de constituições, de medidas de desempenho e de largura e comprimento da calçada, no modelo de previsão de fluxo de pedestres parados.

5. CONCLUSÕES

Os modelos de Redes Neurais Artificiais replicaram, de maneira satisfatória, o fluxo de pedestres, tanto os que estavam em movimento como os parados, com um nível desejável de confiabilidade, tendo coeficientes de determinação (R^2) altos e EQM baixos.

Nenhuma variável foi tão importante que pudesse explicar sozinha o fluxo de pedestres, e nenhuma variável teve um desempenho tão baixo que pudesse ser descartada, deixando claro que tanto a configuração espacial quanto as condições das calçadas tem relação direta com o fluxo de pedestres. Então, como hipótese, podemos afirmar que os deslocamentos dos pedestres estão diretamente associados aos fatores configuracionais da malha urbana, depois são amplificados pelos atratores que se instalaram nos locais mais integrados do sistema e então posteriormente são condicionados pelas características qualitativas destes espaços já formados.

Através da análise de sensibilidade foi observado que as variáveis mesmo apresentando importâncias relativas parecidas, afetam de maneira diferente a quantificação do fluxo de pedestres nas cidades de tecido tradicional. As variáveis configuracionais funcionam de maneira a explicar como os fluxos de pedestres se adaptam à realidade criada pela sociedade que a desenvolve e mantém no espaço urbano. Assim, os atratores funcionam de maneira a ampliar o fluxo de pedestres de acordo com o tipo e a quantidade de construções que a sociedade implementa nas áreas da cidade.

A qualificação do fluxo de pedestres resulta em benefícios diretos para a quantificação do fluxo de pedestres em movimento na cidade. Podemos afirmar então que as renovações urbanas que passam pela melhoria das calçadas têm resultados diretos no fluxo de pedestres, atraindo mais pessoas para uma área e com isso possibilitando a manutenção ou a melhoria dos atratores locais.

Ao comprovar a alta correlação entre as variáveis pesquisadas pode-se afirmar com certa propriedade que as informações poderão ser utilizadas em outras realidades semelhantes para a melhoria das calçadas. Planejando e construindo a cidade modificamos as relações interpessoais entre os moradores e visitantes, alterando a dinâmica configuracional implícita nela. A predição do fluxo de pedestres ajuda no planejamento urbano por antever como as mudanças ocorridas no uso do solo e, também, na configuração urbana alteram a cidade. Em micro escala, podemos afirmar que as calçadas com maiores problemas podem ser beneficiadas de acordo com o as melhorias que isso pode trazer para a área como um todo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Fruin, J.J. (1971) Design for pedestrian: a level-of-service concept. *Highway Research Record* 355, p. 1-15.
- Garson, D.G. (1991) Interpreting neural-network connection weights. *AI Expert*, n.6, v.4, p.47-51.
- Hillier, B e J. Hanson. (1984) *The social logic of space*. Cambridge, Cambridge University Press, Reino Unido.
- 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, n.1, p.29-66.
- Holanda, F. (2002) *O espaço de exceção*. Editora Universidade de Brasília, Brasil.
- Jacobs, J. (2000) *Morte e vida das grandes cidades*. Editora Martins Fontes, São Paulo, Brasil.
- Khisty, C. J. (1994) Evaluation of Pedestrian Facilities: Beyond the Level of Service Concept. *Transportation Research Record* 1438, p.45-50.
- Monheim, H. (1979) Atenuación del Tráfico. Comienzo de un Cambio en las Tendencias de la Planificación y del Tráfico. In: Paulhans, P. (Org.) *La Ciudad Peatonal*. Barcelona, Espanha.
- Mori, M. e H. Tsukaguchi (1987) A new method for the evaluation of level of service in pedestrian facilities. *Transportation Research A*, v.21A, n.3, p. 223-234.
- Rigatti, D. (1995) Apropriação Social do Espaço Público - Um Estudo Comparativo. *Paisagem Ambiente Ensaios*. São Paulo, n.7, p.141-197.
- Salomoni, G. F. (2005) O Crescimento Urbano por Extensão e Suas Repercussões Morfológicas em Estruturas Urbanas Estudo de Caso: Santa Maria-RS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional. Porto Alegre, RS.
- Transportation Research Board (2000) *Highway Capacity Manual*. National Academy of Sciences. Washington D.C. EUA.

Endereço dos autores:

Fábio Lúcio Zampieri (flz@yahoo.com.br)
Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional
Faculdade de Arquitetura - UFRGS
Rua Sarmiento Leite 320, 5º andar
CEP: 90050-170
Porto Alegre –RS - Brasil

Charlie Williams Rengifo Bocanegra (charlie@producao.ufrgs.br)
Emilio Merino Dominguez (merino@producao.ufrgs.br)
Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 sala 408
CEP 90040-020
Porto Alegre – RS – Brasil