

# **IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE POTENCIAIS USUÁRIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO COM REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

**Víctor Frazão Barreto Alves**

**Antônio Nelson Rodrigues da Silva**

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é identificar e encontrar potenciais usuários de transporte público através do emprego de mapas construídos em um sistema de informações geográficas. O método considera a divisão do município estudado em zonas, em função do código postal. Estas zonas são caracterizadas pelos atributos socioeconômicos da população e do sistema de transporte. Diante da hipótese de melhoria na qualidade do transporte público, dois segmentos de usuários de automóvel foram considerados: usuários que trocariam para ônibus e usuários que ainda preferem o carro. Um modelo de redes neurais artificiais foi utilizado com o intuito de reproduzir esse comportamento de escolha dos usuários. Através deste modelo é possível caracterizar espacialmente o impacto de alterações no sistema de transportes ou no perfil da população sobre o potencial de utilização do transporte público. Um cenário de aumento na densidade populacional permitiu identificar, por exemplo, regiões da cidade com potenciais usuários.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to recognize and locate potential users of public transport through maps built using a geographic information system. The method assumes a division of the city into areas according to the postcodes of the streets. These areas are characterized by socioeconomic attributes of the population and of the transport system. Two segments of automobile users were considered, under the assumption that the quality of public transport would be improved: users who would switch to buses and users who still prefer the car. An artificial neural network model was used to reproduce the users' choice behavior. The model makes then possible to spatially distinguish the impact of changes in the transport system or in the profile of the population on the potential use of public transport. A scenario of increase in the population density, for example, allowed the identification of areas in the city with potential users.

## **1. INTRODUÇÃO**

O crescimento excessivo da motorização no Brasil tem causado problemas cada vez maiores para a gestão da mobilidade nas cidades. Para garantir cidades mais sustentáveis, políticas de priorização do transporte público são necessárias, de forma a garantir uma circulação mais eficiente. Entre outras coisas, esta eficiência pode se traduzir em uma maior taxa de ocupação dos veículos, evidentemente com uma lotação não excessiva, compatível com padrões razoáveis de conforto para os usuários. Aparentemente, a medida mais efetiva de se promover isso é através de investimentos na qualidade do serviço de transporte coletivo, aliados a desestímulos para a utilização do automóvel.

O incentivo para atrair usuários para o transporte público passa diretamente pela compreensão de que o serviço de transporte por ônibus é um produto. Cabe aos gestores, em conjunto com os empresários, captar clientes para garantir a eficiência do sistema, até porque a rentabilidade desse segmento é extremamente dependente do número de pessoas e da quantidade de vezes que o utilizam.

A teoria que melhor define os critérios que motivam um consumidor a escolher um produto em detrimento de outro é descrita no estudo realizado por Lancaster (1966), posteriormente explorada por Cunha (2005) no contexto do transporte público. A teoria de abordagem de características é sustentada pela ideia de que um indivíduo não é capaz de associar valor a um produto, mas sim a um conjunto de atributos que compõem esse produto. De forma análoga, a opção por um determinado serviço também pode ser analisada através da combinação de seus atributos.

Entretanto, do ponto de vista da multiplicidade de fatores, o “consumo” de um serviço de transporte constitui um ato decisório mais complexo do que a aquisição de produtos e bens duráveis (Novaes, 1986). Ele é composto de uma série de decisões em cascata, que não pode ser encarado de forma concentrada em nenhum momento. Porém, é possível fazer análises específicas como, por exemplo, o processo de deslocamento.

Os estudos realizados por Bérénos *et al.* (2001) sugerem que, através da relação direta do comportamento de viagem com as características de cada área em que a cidade foi dividida, é possível identificar uma demanda potencial por transporte público. Bérénos *et al.* (2001) e van der Waerden *et al.* (2005) propõem a utilização de mapas como ferramenta para encontrar esses potenciais usuários do transporte público. Nesses estudos, apenas modelos Logit foram utilizados para relacionar os atributos às escolhas, mas seu desempenho não foi plenamente satisfatório para os fins propostos. Em busca de melhorias neste desempenho, Alves (2011) utilizou um modelo de redes neurais como base para comparação com o modelo Logit.

Diante desse panorama, o objeto de estudo deste trabalho é a aplicação e avaliação do uso de redes neurais artificiais (RNAs) para identificar potenciais usuários de transporte e como estes se distribuem geograficamente em uma cidade. Bocanegra (2002) afirma que, dependendo do tipo de problema ao qual são submetidas, as RNAs têm apresentado um desempenho considerado superior aos métodos estatísticos utilizados para o mesmo fim. Utilizando características da população e do sistema de transporte, o comportamento de escolha do modo de transporte pode ser reproduzido. Define-se então um cenário futuro, assim como van der Waerden *et al.* (2005), tornando possível analisar quais usuários mudaram sua escolha e onde estão localizados.

## **2. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

As RNAs são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado nas funções das redes biológicas, buscando programar seu comportamento básico e sua dinâmica. Consistem em um método para solucionar problemas de Inteligência Artificial (IA), construindo um sistema com circuitos que procuram, de alguma forma, replicar o funcionamento do cérebro humano, inclusive seu comportamento, ou seja, aprendendo, errando e fazendo descobertas. AS RNAs fazem parte de um ramo da IA correspondente à classe de aprendizagem mecânica (Galvão e Valença, 1999).

A estrutura de funcionamento das RNAs é baseada em sistemas de equações em que o resultado de uma equação é o valor de entrada para várias outras da rede, o que de certa forma lhe confere características de “caixa-preta”. Apesar disso, rapidamente se popularizaram como uma ferramenta para modelar relações entre variáveis, uma vez que conseguem reproduzir o comportamento de qualquer função matemática (Rodrigues da Silva *et al.*, 2008). Pode-se afirmar que RNAs são sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de

processamento simples (nós) que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não-lineares).

As RNAs têm sido amplamente utilizadas como técnica de suporte ao planejamento de transportes. Entre alguns trabalhos da última década, é possível citar Raia Jr. (2000), Bocanegra (2002), Akamine (2005) e Rodrigues da Silva *et al.* (2008). Aplicações das Redes Neurais Artificiais em engenharia de transportes podem ser encontrados no estudo de Corrêa (2008), tanto no Brasil quanto no exterior.

A rede utilizada nesse estudo foi a Rede *Multilayer Perceptron*, por ser amplamente utilizada e já ter apresentado bons resultados em trabalhos semelhantes (Rodrigues da Silva *et al.*, 2008). Uma regra de aprendizado utilizada para treinar esse tipo de rede é o algoritmo *backpropagation*. Quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro. A intenção do trabalho de treinamento é diminuir o valor deste erro, ajustando o valor dos pesos a cada nova iteração (Raia Jr., 2000). Tal ajuste depende de variáveis como o *learning rate* (taxa de aprendizado) e o *momentum*. Segundo Brondino (1999), o valor da taxa de aprendizado determina o quão suavemente se dará a atualização dos pesos. O termo *momentum* pode aumentar a velocidade do aprendizado e tem por característica acelerar o processo de treinamento.

### **3. MAPAS POTENCIAIS DE UTILIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO**

A necessidade de tornar o transporte público mais atrativo incentivou uma grande quantidade de estudos, como os de Beirão e Cabral (2007) e dell'Olio *et al.* (2011), que analisaram os diferentes aspectos que os usuários e potenciais usuários de ônibus valorizam na qualidade do serviço de transporte público. Assim, foram capazes de identificar vantagens e desvantagens que cada modo de transporte proporciona e recomendar políticas públicas que estimulassem o aumento da utilização de modos coletivos. Entretanto, as políticas propostas consideravam apenas melhorias na cidade como um todo, visto que a investigação dos potenciais usuários não estava relacionada à localização geográfica.

Zhou *et al.* (2004) desenvolveram um estudo que identifica o *market share* (divisão de mercado) do transporte público para cada área da cidade. Primeiro, para descobrir por que as pessoas usam transporte público, onde elas moram e como elas o utilizam, além de identificar os segmentos de mercado com base em três fatores, que englobam: 'valor de tempo', 'restrições de compromissos' e 'sensibilidade à privacidade e ao conforto'. Em seguida, foi calculada a divisão modal para cada um dos oito tipos de segmentos de mercado adotados e para cada área, com o auxílio de um modelo Logit. Por fim, calculou-se a divisão de mercado do transporte público por área. Essa divisão de mercado, entretanto, não estava diretamente relacionada às características do sistema de transporte.

Os estudos elaborados por Bérénois *et al.* (2001) e van der Waerden *et al.* (2005) propuseram a identificação dos potenciais usuários por meio de mapas. Diferentemente da maioria das demais pesquisas relacionadas a potenciais usuários, a intenção do estudo era abranger a maior quantidade de áreas possíveis da cidade. Segundo Alves (2011), a grande vantagem apresentada por essa abordagem é a facilidade com que os resultados podem ser apresentados a gestores e empresas de transporte público. A visualização espacial dos pontos de maior

concentração de potenciais usuários pode indicar que áreas justificam políticas específicas sem ter de realizar pesquisas caras e de longa duração.

No modelo sugerido por van der Waerden *et al.* (2008), o comportamento de decisão pelo modo de viagem dos usuários foi representado através de um modelo Logit Multinomial, considerando cinco modos alternativos: carro não substituível, carro substituível por ônibus, ônibus, bicicleta não substituível e bicicleta substituível por ônibus. Desta maneira, o uso potencial de transporte público pode ser identificado através das áreas com maior concentração de usuários de ônibus e também de usuários de carro ou de bicicleta que eventualmente estejam dispostos a trocá-los pelo modo ônibus.

O cálculo das probabilidades das alternativas consideradas possibilita a identificação do *market share* da escolha modal de transporte. Desta forma, os resultados da modelagem podem ser utilizados para identificar onde estão concentradas as pessoas dispostas a utilizar o transporte público caso haja melhorias no serviço. A visualização espacial dessas áreas permite uma tomada de decisão mais direcionada, englobando o problema de um modo mais abrangente. Outra vantagem apresentada por essa técnica é a possibilidade de testar mudanças antes de implementá-las e verificar a sua repercussão na atratividade de usuários para o transporte público. É possível ainda fazer uma análise crítica dos parâmetros utilizados, congregando as características de influência significativa na escolha modal. Através da codificação das variáveis é possível analisar a influência de cada atributo detalhadamente. Possíveis cenários futuros podem ser desenvolvidos com a previsão de alterações que influenciem diretamente sobre as características. A análise conjunta de cenários é capaz de revelar as áreas com maior variação (acréscimo ou decréscimo) no potencial de transporte público, que é o objetivo principal dessa ferramenta. Por exemplo, uma possível aplicação pode ser para avaliar diferentes sistemas de rotas de ônibus (van der Waerden *et al.*, 2008).

#### **4. MÉTODO**

A cidade de São Carlos, na qual foi realizado esse estudo, tem cerca de 220 mil habitantes e mais de 112 mil veículos, que caracterizam a taxa de motorização em mais de 500 veículos a cada mil habitantes. O transporte público é realizado exclusivamente por ônibus, em uma rede com configuração diametral/radial. Através de uma pesquisa de opinião com 1292 usuários do sistema de transporte, realizada em 2007 e 2008, foi possível identificar dois segmentos de usuários de automóvel: os que afirmaram que trocariam por ônibus, caso o transporte público oferecido fosse de melhor qualidade, e os que continuariam a usar o carro mesmo neste caso.

Em seguida, os domicílios aos quais pertenciam os entrevistados foram caracterizados a partir de atributos socioeconômicos e físicos. As características socioeconômicas estão relacionadas aos indivíduos e famílias de uma região e foram obtidas na pesquisa Origem-Destino (O-D), realizada em conjunto com a pesquisa de opinião (Rodrigues da Silva, 2008). Já as informações físicas são aquelas ligadas ao sistema de transporte. Esses atributos foram obtidos através de ferramentas de um SIG-T (Sistema de Informações Geográficas para aplicações em Transportes) com dados da base georreferenciada da cidade. O método de obtenção de cada variável é descrito a seguir:

- a) **DISPONIBILIDADE DE AUTOMÓVEL:** medido pela razão entre automóveis e indivíduos no domicílio. Uma disponibilidade igual ou superior a 100 % indica que os indivíduos têm possibilidade de sempre usar o carro para se locomover.

- b) NÍVEL DE INSTRUÇÃO - obedece a codificação a seguir: 1 - não alfabetizado (NA), 2 - pré-escola (PE), 3 - fundamental incompleto (FI), 4 - fundamental completo (FC), 5 - médio incompleto (MI), 6 - médio completo (MC), 7 - superior incompleto (SI) e 8 - superior completo (SC).
- c) TAMANHO DA FAMÍLIA: é dada pelo número de pessoas da família.
- d) STATUS SOCIAL: é dado pela renda em salários mínimos por pessoa do domicílio.
- e) TIPO DA FAMÍLIA: é dado pelo tipo predominante da família. Quando o morador mais jovem tem 18 anos ou menos, a família é considerada *Família com Criança*. Quando a média de idade é superior a 60 anos, é considerada *Família com Idosos*. O restante é considerado *Família de Jovens*.
- f) DISTÂNCIA AO CENTRO: distância do domicílio ao centro da cidade (tomando como referência central a Catedral).
- g) DISTÂNCIA À RODOVIA: distância do domicílio à rodovia Washington Luis, que passa próximo da área urbanizada que contém a sede do município.
- h) NÚMERO DE LINHAS DE ÔNIBUS: é o número de linhas de ônibus que se encontram a até 350 metros do domicílio. Foi obtido no SIG, da seguinte forma: o sistema de rotas de ônibus foi transformado em arquivo geográfico e, através do comando *Fill - Aggregate*, foram levantados os números de linhas dentro da distância adotada, considerada aceitável para caminhada (350 m).
- i) DENSIDADE: número de domicílios por hectare. Foi obtido no SIG através da criação de uma banda (*buffer*) de 30 m para cada lado do eixo das vias. Depois de contados os domicílios, estes valores foram divididos pelas respectivas áreas, com as devidas correções de unidade.
- j) RAZÃO DO TEMPO DE VIAGEM ÔNIBUS-CARRO: foi obtido no SIG através de matrizes com o tempo de viagem de ônibus e carro, a partir de todos os domicílios, mas para destinos selecionados. Em seguida, foi calculada a média da razão do tempo de viagem entre ônibus e automóvel para cada domicílio.

Assim, foram configuradas redes neurais artificiais utilizando os dados dessas características como variáveis de entrada, com o objetivo de reproduzir a opinião dos usuários em relação à possibilidade de trocar o automóvel pelo ônibus. Essas características foram as mesmas utilizadas para elaborar as variáveis do modelo Logit de van der Waerden *et al.* (2008) e Alves (2011).

As redes são construídas com base em variações de *momentum*, *learning rates* e distribuição e quantidade de nós nas camadas intermediárias. Uma vez treinadas, podem ser selecionadas as redes que melhor representam os dados individualizados. Isto é feito a partir da porcentagem de acertos, verificada primeiramente para os dados de validação e depois para os dados de teste.

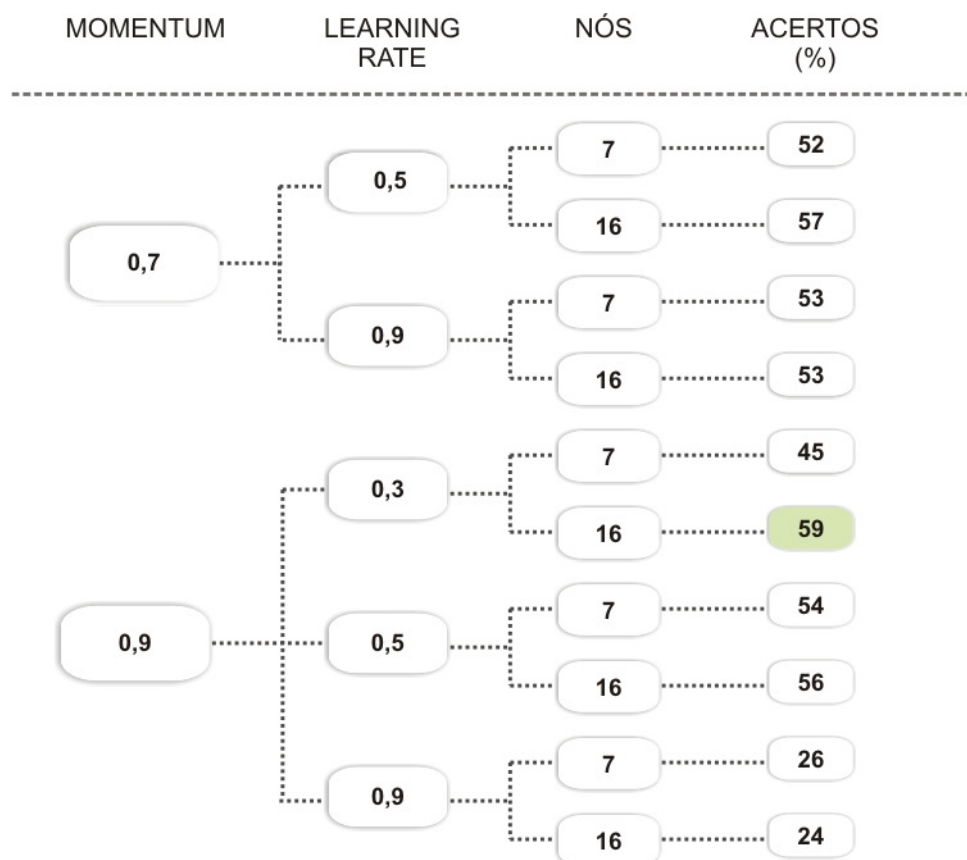
Em seguida, a rede de melhor desempenho é testada para analisar a escolha dos usuários depois de uma alteração na condição atual de uma das características utilizadas. Assim, os dados são agrupados por áreas, com base no código postal, registrando a porcentagem de cada escolha tanto antes quanto após a mudança de cenário. Por fim, com a informação de variação entre os potenciais para a possível utilização do ônibus, são elaborados mapas temáticos com auxílio do SIG.

O modelo de redes neurais não explica exatamente como determina esse procedimento de escolha, só tenta replicar resultados de saída observados a partir de dados de entrada conhecidos. Portanto, para se obter o resultado do efeito de cada característica é conduzida uma análise de sensibilidade, através da qual são feitas variações em cada classe para analisar a interferência da variável no processo de escolha.

## 5. RESULTADOS

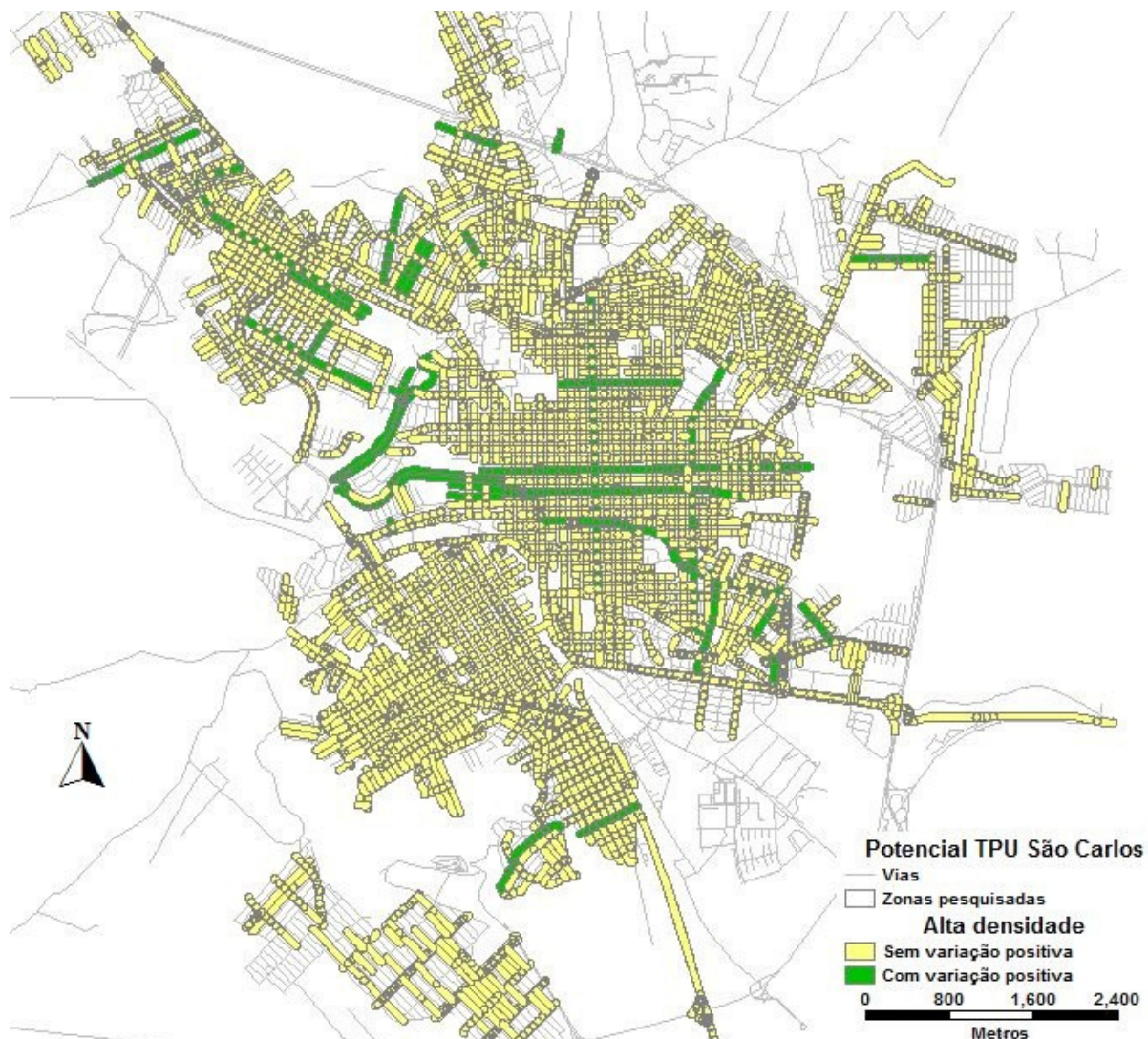
O primeiro passo para a simulação por meio de redes neurais foi dividir os 1292 dados disponíveis. Foram selecionados aproximadamente 50% dos dados para treinamento, 25% dados para validação e 25% dados para teste. Em seguida, foram treinadas redes com 5 variações de *momentum* (0,1, 0,3, 0,5, 0,7 e 0,9) e 5 de *learning rates* (também 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 e 0,9). Em todas as redes foi utilizada apenas uma camada intermediária com 7 nós. O procedimento realizado pelo *software* consistiu em buscar o maior percentual de resultados corretos para os dados de validação.

Todo esse processo foi repetido por mais duas vezes, criando três amostras com diferentes funções (treinamento, validação e teste) para os dados em cada simulação. Tomando como base o maior número de acertos dos dados de validação, foram selecionadas as 5 melhores redes para uma segunda análise. As variações de *momentum* e *learning rates* das melhores redes foram utilizadas para criar mais 5 redes com uma maior quantidade de camadas intermediárias de nós. Assim, dentre as 10 redes restantes, foi escolhida a rede que apresentou o maior número de acertos em relação aos dados de teste, como mostra a Figura 1.



**Figura 1:** Representação esquemática da fase final de seleção da melhor rede neural

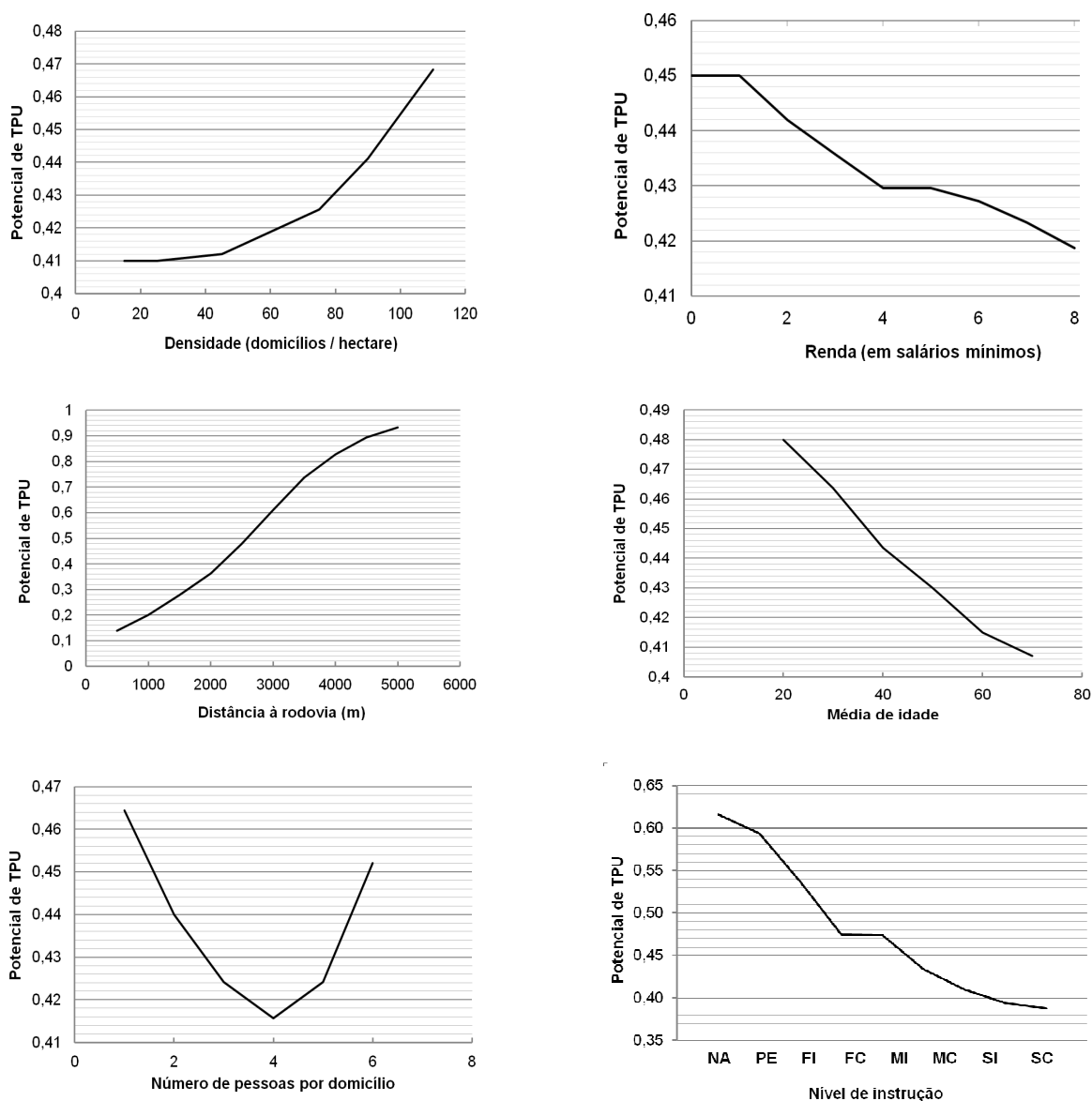
De posse da rede de melhor desempenho, foi possível verificar a alteração do comportamento dos usuários diante de um cenário futuro. Após o agrupamento desses usuários com base no código postal, foi possível analisar comparativamente em que áreas houve acréscimo ou decréscimo do número de usuários em potencial do transporte público. O mapa da Figura 2 mostra as áreas em que houve aumento de potencial de uso do ônibus de acordo com um padrão de alta densidade para toda a cidade, cenário adotado nesse estudo. Segundo Alves (2011), a quantidade relativamente pequena de áreas que apresentaram variação de potencial de uso do transporte público pode ser uma consequência da calibração feita com base em dados individuais, o que pode ter tornado as áreas menos sensíveis à alteração de uma única característica.



**Figura 2:** Mapa com potencial de utilização do transporte público

A análise realizada pelo *software* de RNA, entretanto, não é capaz de dizer como as variáveis influenciam na probabilidade de escolha. Para uma análise mais aprofundada das variáveis, foi criada, em planilha eletrônica, uma réplica da Rede Neural de melhor desempenho, tal como proposto por Bocanegra (2002).

De acordo com o comportamento apresentado, as variáveis foram divididas em duas categorias. A primeira refere-se às variáveis que tiveram comportamento aceitável, ou seja, existe uma explicação lógica para o resultado apresentado. Essas variáveis têm seus comportamentos representados nos gráficos da Figura 3.



**Figura 3:** Potencial de transporte público para as variáveis cujo comportamento coincide com o esperado

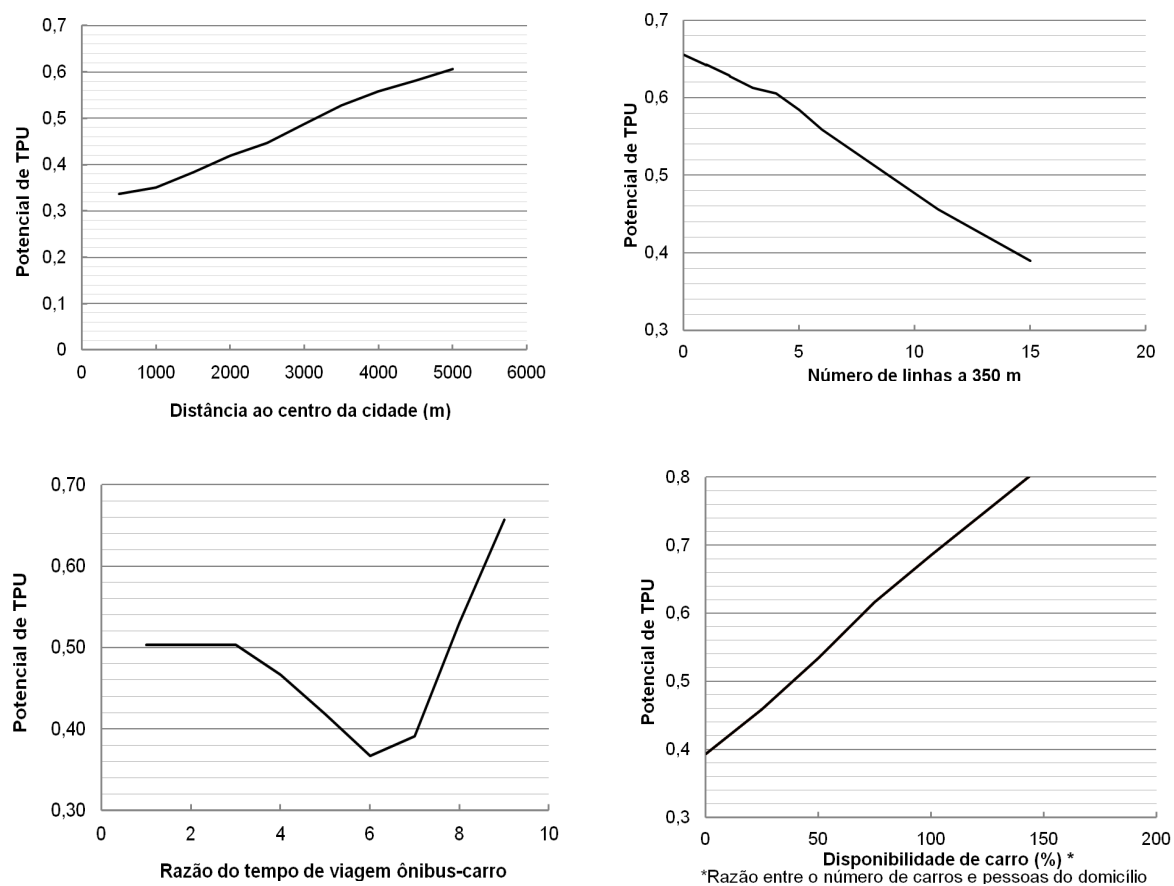
As principais análises verificadas nesse grupo são apresentadas a seguir:

- Houve um crescimento de potencial de uso do transporte coletivo de acordo com o aumento da *densidade*.

- À medida que aumenta a *renda* dos usuários, menor o potencial de troca para o transporte público. Apesar da diminuição de potencial, a variação em função da renda não é tão expressiva quanto se poderia imaginar a princípio.
- O comportamento da escolha do modo de transporte frente à variação da característica da *distância à rodovia* foi semelhante à variável *densidade*. O potencial de transporte público aumentou à medida que aumentava a distância à rodovia.
- O potencial de utilização do ônibus decresce de acordo com o avanço da idade, mesmo para as pessoas na faixa acima de 60 anos que, por lei municipal, não são obrigadas a pagar pelo transporte coletivo.
- Para a variável *número de pessoas no domicílio*, o maior potencial de transporte público parece estar nos valores extremos, seja com muitas ou poucas pessoas por domicílio. Há um potencial maior nos domicílios com até 2 pessoas, seguido de domicílios com mais de 4 pessoas.
- Foi apontado um decréscimo do potencial de transporte público quando aumenta o *nível de instrução*.

A segunda categoria definida foi daquelas variáveis que, levando em conta situações normais de comportamento das características, foram consideradas fora do esperado. A Figura 4 apresenta gráficos do comportamento dessas variáveis. As análises dessas variáveis, bem como uma possível justificativa encontrada para estas disparidades são descritas abaixo:

- Para a variável *distância ao centro da cidade*, o potencial de transporte público cresce conforme aumenta a distância ao centro. Não foi encontrada uma justificativa capaz de explicar esse efeito, já que se esperava que o maior potencial de utilização do transporte público estivesse no centro, onde a disponibilidade e variedade de linhas de ônibus é superior.
- As redes neurais apontaram um decréscimo no potencial à medida que aumenta o *número de linhas a 350 metros*. Uma possível explicação seria de que alguns usuários talvez tenham mais linhas de ônibus disponíveis com uma distância de caminhada um pouco maior que o valor de 350 metros adotado no estudo. Outra possibilidade seria de que nos locais com maior disponibilidade de linhas de ônibus, ou seja, mais próximo ao centro da cidade, os usuários optassem pelo modo a pé, visto que teriam menores distâncias de deslocamento.
- Já a característica *razão do tempo de viagem ônibus-carro* não tem variação do potencial de uso do transporte público até a razão do tempo do ônibus três vezes maior que o tempo do carro. A partir daí, o potencial para transporte público decresce conforme aumenta essa razão de tempo de viagem até o valor de 6, quando passa a crescer. Verificou-se que esse resultado incoerente na fase de crescimento do potencial pode ter explicação na baixa disponibilidade de veículos (abaixo de 50 %) para os usuários que têm razão de viagem entre ônibus-carro acima de 7, proveniente de poucos dados (na base de dados utilizada na pesquisa).
- Conforme a variável disponibilidade de carro tinha aumento em seu valor, crescia também o potencial de uso de transporte público. Essa variável pode ter se comportado de maneira inesperada devido a um número de dados insuficientes de domicílios com alta disponibilidade de automóveis. Na base de dados utilizada na pesquisa, apenas cerca de 10 % dos domicílios têm mais de 100 % de disponibilidade de automóvel.



**Figura 4:** Potencial de transporte público para as variáveis de comportamento inesperado

## 6. CONCLUSÕES

As conclusões obtidas com o presente estudo permitem abordar três conjuntos de elementos: i) avaliação do modelo de redes neurais; ii) utilidade da aplicação da técnica e iii) análise do efeito das características.

- i. O modelo de redes neurais artificiais foi capaz de reproduzir razoavelmente bem o comportamento de escolha dos usuários quanto ao modo de transporte a partir de características socioeconômicas e ligadas ao sistema de transporte. Entretanto, essa técnica não conduz diretamente a avaliações estatísticas das variáveis utilizadas. Assim, para testar o comportamento do modelo na ausência de uma característica seria necessário excluí-la dos dados de entrada e realizar o processo, muitas vezes lento, de treinamento, para avaliar as eventuais diferenças entre os resultados obtidos.
- ii. A ferramenta de Mapas Potenciais de Utilização de Transporte Público permite uma análise abrangente da utilização do transporte coletivo devido a sua característica espacial. A aplicação desta metodologia para São Carlos confirmou que a visualização geográfica das áreas com maior potencial de atração de usuários para o ônibus pode se tornar um excelente subsídio para políticas de transporte que priorizem o modo coletivo ao invés do modo individual. Os atributos utilizados na caracterização das áreas permitem duas formas de utilização desse instrumento. A primeira, por meio da criação de políticas de planejamento para o transporte público baseadas no

comportamento dos usuários frente a alterações das características relacionadas ao sistema de transportes de uma cidade; e a segunda, através da elaboração de medidas preventivas a uma alteração da escolha do modo de transporte de acordo com a variação nas características socioeconômicas da população, seja esta mudança positiva ou negativa. A análise da primeira forma pode ainda incluir estudos de caso com alterações diretamente no sistema de transportes, algo que facilitaria a utilização da ferramenta pelos gestores.

- iii. As conclusões com base na análise das variáveis podem fornecer informações essenciais aos gestores públicos na criação de políticas de estímulo ao transporte público. Em São Carlos, foi possível concluir que um maior potencial da utilização do transporte coletivo está nas áreas com nível mais baixo de renda e nas regiões com domicílios com até 2 pessoas ou com mais de 4 pessoas e em moradias com moradores mais jovens. Além disso, domicílios com crianças apresentam o menor potencial de transporte público entre as variáveis estudadas. Para a variável *distância à rodovia*, é possível perceber que o comportamento pode ser explicado por outros fatores. Como a rodovia considerada foi a de maior volume de tráfego (rodovia Washington Luís), as características relacionadas ao bairro podem ter influenciado nos resultados, já que alguns dos bairros de renda mais baixa estão localizados nos extremo oposto da cidade. Quanto à elaboração de políticas para o resultado da variável *densidade* deve ser estudado o seu impacto indireto na utilização das vias, já que o crescimento do uso do automóvel nessas áreas pode afetar a qualidade oferecida pelo transporte público.

A comparação entre o modelo de redes neurais com um modelo Logit realizado por Alves (2011) confirmou o resultado encontrado para o efeito das variáveis e ajudou a avaliar as possíveis incompatibilidades da análise. Nenhum dado pôde ser descartado, no entanto, pois não havia certeza quanto à veracidade da manifestação dos entrevistados quanto a uma eventual mudança do modo de transporte no momento de aplicação do questionário. Um maior número de dados poderia reduzir o impacto desta incerteza e beneficiar o desempenho do modelo. Igualmente importante seria a obtenção de dados de comportamento revelado e não apenas declarado.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Peter van der Waerden pelo apoio para o desenvolvimento da pesquisa e pelas frutíferas discussões, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), que financiou a coleta de dados através do Processo 04/15843-4, bem como à Prefeitura Municipal de São Carlos, que também apoiou a iniciativa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Akamine, A. (2005) *Explorando Alternativas para Construção de Modelos Neurais de Interação Espacial*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Alves, V. F. B. (2011) *Explorando Técnicas para a Localização e Identificação de Potenciais Usuários de Transporte Público Urbano*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Beirão, G. e J. A. S. Cabral (2007) Understanding Attitudes Towards Public Transport and Private Car: A Qualitative Study. *Transport Policy*, v. 14, n. 6, p. 478-489.
- Bérenós, M.; M. Ruigrok e P. Deelen (2001) O Usuário Potencial de Transporte Público em Cena (em holandês), *Verkeerskunde*, v.1, n. 9, p. 50-54.

- Bocanegra, C. W. R. (2002) *Procedimentos para Tornar Mais Efetivo o Uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento de Transportes*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Corrêa, F. (2008) *Aplicações de Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes no Brasil*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Cunha, C. A. (2005) *Estudo de Relações entre Características das Cidades e das Linhas de Transporte Coletivo*. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília.
- dell'Olio, L.; A. Ibeas e P. Cecin (2011) The Quality of Service Desired by Public Transport Users. *Transport Policy*, v. 18, n. 1, p. 217-227.
- Galvão, C. O. e M. J. S. Valença (1999) *Sistemas Inteligentes: Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais*. Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- IBGE (2007) Painel de São Carlos. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=354890>. Acessado em: 27 março 2011.
- Lancaster, K. J. (1966) A New Approach to Consumer Theory. *The Journal of Political Economy*, v. 74, n. 2, p. 132-157.
- Novaes, A. G. (1986) *Sistemas de Transportes. Volume 1: Análise da Demanda*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo.
- Raia Jr., A. A. (2000) *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Rodrigues da Silva, A. N. (2008) *Elaboração de um Banco de Dados de Viagem para Auxílio ao Desenvolvimento de Pesquisas na Área de Planejamento dos Transportes*. Relatório FAPESP, Processo nº 04/15843-4. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Rodrigues da Silva, A. N.; R. A. R. Ramos; L. C. L. Souza; D. S. Rodrigues e J. F. G. Mendes (2008) *SIG: Uma Plataforma para Introdução de Técnicas Emergentes no Planejamento Urbano: uma Ferramenta 3D para Análise Ambiental Urbana, Avaliação Multicritério, Redes Neurais Artificiais*. Edufscar, São Carlos.
- van der Waerden, P.; A. N. Rodrigues da Silva; H. Timmermans; M. Bérénos e G. R. Rocha (2008) Public Transport Planning Evaluation Tools and their Data Requirements and Availability. *Anais da 9<sup>th</sup> Conference on Design and Decision Support Systems*, Valkenswaard, Holanda.
- van der Waerden, P.; H. Timmermans e M. Bérénos (2005) In Search of the Public Transport Users: Towards Public Transportation Potential Maps. *Anais do 84<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Zhou, Y.; K. Viswanathan; Y. Popuri e K. Proussaloglou (2004) Transit Customers - Who, Why, Where, and How: A Market Analysis of the San Mateo County Transit District. *Anais do 83<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.

VÍCTOR FRAZÃO BARRETO ALVES (victorfrazao@gmail.com)

ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA (anelson@sc.usp.br)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos

Av. Trabalhador São-carlense, 400

13566-590 São Carlos, SP, Brasil