

## DEMANDA DE PASSAGEIROS DO SERVIÇO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL POR ÔNIBUS NO BRASIL: MODELAGEM NEURAL

Luis Gustavo Pinheiro Loureiro Carneiro, Pastor Willy Gonzales-Taco, Yaeko Yamashita

Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes - CEFTRU  
Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília  
Edifício do CEFTRU, Brasília, DF  
CEP 70910-900. Fax: (61)307-2062

e-mail: luisgustavo@ceftru.unb.br, pastor@ceftru.unb.br, yaeko@ceftru.unb.br

### RESUMO

Os estudos relacionados com a caracterização da demanda do Transporte Rodoviário de Passageiros são quase inexistentes, embora seja um meio de transporte público preponderante no cenário rodoviário do Brasil. As informações disponíveis em tais estudos tratam da regulamentação da prestação do serviço e de algumas definições operacionais básicas, sendo pouco exploradas as análises dos vários fatores que influenciam o Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP). Tais fatores estão relacionados tanto com as características políticas e socioeconômicas das cidades nas quais é prestado o serviço, como também a influência do desenvolvimento local e regional. Nos últimos tempos têm surgido técnicas computacionais que possibilitam uma melhor representação das variáveis na formulação do modelo. Entre tais técnicas têm-se as Redes Neurais Artificiais (RNA), que possuem grande capacidade de auto-adaptação às condições das variáveis utilizadas. Este trabalho apresenta um modelo de demanda de passageiros nas ligações entre os municípios de origem e destino, do transporte rodoviário interestadual de passageiros, com o uso de mecanismos de redes neurais artificiais e utilização de variáveis socioeconômicas e espaciais. Como variáveis socioeconômicas foram levantadas a população, renda familiar média, índice de desenvolvimento humano, número de empregos, matrículas em ensino superior, número de leitos hospitalares e nível de hierarquia dos municípios. E como variáveis espaciais foram levantadas a área da mancha urbana, índice de cobertura rodoviária, a distância entre os municípios e o percentual de turistas entre os Estados dos municípios de origem e destino da ligação. Para validação do modelo utilizou-se o modelo adotado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e outro utilizando regressão linear múltipla. Os resultados apresentados comprovaram as RNA como importante ferramenta para a previsão de demanda de passageiros no TRIP, embora espera-se que o modelo ainda possa ser melhorado ao se explorar outros algoritmos de aprendizagem e funções de ativação.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros - STRIP, é de grande importância visto que é responsável pela conectividade entre as diferentes localidades do território brasileiro, juntamente com a malha rodoviária. Embora o STRIP tenha um alcance quase continental e seja um dos principais direcionadores do desenvolvimento, os poucos estudos disponíveis tratam, em sua maioria, da regulamentação da prestação de serviço e de algumas definições operacionais (Carneiro, 2005).

O STRIP hoje é outorgado à iniciativa privada por meio de Permissões e Autorizações, e conforme Art.21 da Constituição Federal a exploração do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP), diretamente ou mediante autorização ou permissão é competência da União. Para isso em 2001 foi criada a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT como um órgão regulador da atividade de exploração da prestação do serviço de transportes terrestres, cabendo a ela fiscalizar e celebrar os contratos de permissão da prestação de STRIP (Brasil, 2001).

Apesar dos esforços da ANTT em fiscalizar e normatizar o TRIP, existe ainda, grande dificuldade em cobrir os mais diferentes aspectos relevantes a estas atividades, como é o relacionado com os estudos de mercado, especificamente quanto à análise da demanda. Não obstante existir uma forma de modelagem da demanda, todavia não se torna em uma ferramenta que possa auxiliar a ANTT no desempenho e avaliação do mercado do TRIP. Assim o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo de demanda que considera as influências do mercado do TRIP, através do uso da técnica de Redes Neurais artificiais (RNA).

Para tal, este artigo está estruturado em 7 seções. A seção 2 apresenta uma sucinta contextualização do TRIP no Brasil. Na seção seguinte é apresentada a forma de modelagem da demanda utilizada atualmente pela ANTT. Na seção 4 é apresentada uma breve discussão da modelagem neural da demanda. A seção 5 traz a metodologia para previsão da demanda de passageiros do TRIP. A sexta seção mostra os resultados da modelagem e uma breve análise dos mesmos. Na seção 7 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## 2. TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Compete a União, conforme o Art. 21 da Constituição Federal do Brasil, a exploração, diretamente ou mediante autorização ou permissão, do TRIP. A ANTT é o órgão regulador da atividade de exploração da prestação de serviço de transportes terrestres, cabendo a mesma fiscalizar e celebrar os contratos de permissão da prestação de serviço do TRIP (BRASIL, 2001).

Dos diferentes modos de transporte (aéreo, rodoviário, aquaviário, ferroviário), o transporte aéreo é responsável por apenas 3% dos deslocamentos, enquanto o transporte rodoviário por ônibus realiza 95% dos deslocamentos de passageiros no âmbito interestadual do Brasil (ANTT, 2004). Sendo um meio de transporte público preponderante, sua operação é realizada por empresas permissionadas ou autorizadas, através de linhas de transporte que transpõem os limites de Estado, do Distrito Federal ou de Território Nacional.

## 2.1 Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros: Definições

O conceito de linha no TRIP é definido pela Resolução Nº 16 (ANTT, 2002) como sendo o “serviço de transporte coletivo de passageiros executado em uma ligação de dois pontos terminais, nela incluídos os seccionamentos e as alterações operacionais efetivadas, aberto ao público em geral, de natureza regular e permanente, com itinerário definido no ato de sua outorga”. Onde *pontos terminais* são os pontos extremos do itinerário de uma linha onde se dará o início ou o término das viagens (EBTU, 1988). O itinerário da linha é o percurso a ser utilizado na execução do serviço, podendo ser definido por códigos de rodovias, nomes de localidades ou pontos geográficos conhecidos. Seccionamento é o trecho de linha regular em que é autorizado o fracionamento da tarifa (Ceará, 2002). O serviço de natureza regular e permanente indica que a empresa permissionada deve obedecer a horários preestabelecidos e de forma contínua (EBTU, 1988).

As linhas de transporte interestadual de passageiros podem ser classificadas de acordo com a sua jurisdição em (BRASIL, 1998):

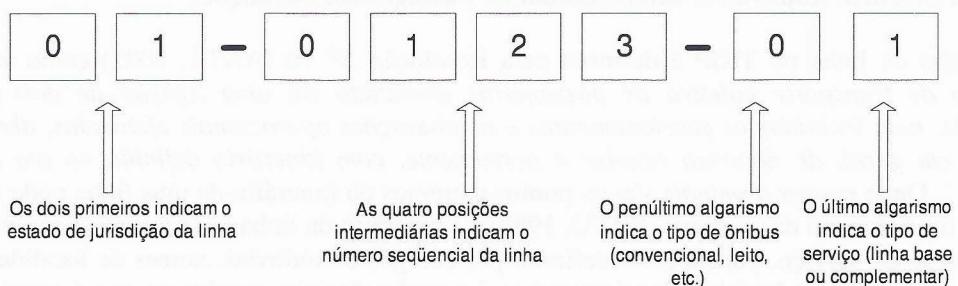
- Interestadual: que transpõe os limites de Estado, do Distrito Federal ou de Território.
- Interestadual semi-urbano: aquele que, com extensão igual ou inferior a setenta e cinco quilômetros e característica de transporte rodoviário coletivo urbano, transpõe os limites de Estado, do Distrito Federal, ou de Território.
- Internacional: o que transpõe as fronteiras nacionais.
- Internacional semi-urbano: aquele que, com extensão igual ou inferior a setenta e cinco quilômetros e característica de transporte rodoviário coletivo urbano, e que transpõe as fronteiras nacionais.

Para melhor compreensão do TRIP serão apresentados alguns conceitos:

- Seção: serviço realizado em trecho de itinerário de linha, com fracionamento do preço de passagem (ANTT, 2002). A partir de 20 de março de 1998, por meio do Decreto Nº 2.521 (BRASIL, 1998), novas seções poderão ser implantadas desde que seja entre localidades de unidades federativas diferentes;
- Ligação: para este estudo considera-se como sendo a conexão entre um par de origem e destino. A movimentação de passageiros na ligação será a soma dos passageiros nas seções com mesma origem e destino de diversas linhas.
- Estudo de Mercado: é a análise dos fatores que influenciam na caracterização da demanda de um determinado mercado, para efeito de dimensionamento e avaliação da viabilidade de ligação de transporte rodoviário de passageiros, consistindo no levantamento de dados e informações e aplicação de modelos de estimativa de demanda (ANTT, 2002). A partir desta demanda e da distância entre os municípios são determinados os parâmetros operacionais da linha como: freqüência de viagens, tempo de ciclo e frota.

## 2.2 Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros: Como funciona?

Nesta seção serão esclarecidos alguns conceitos que envolvem o funcionamento de uma linha de transporte interestadual de passageiros. O primeiro deles é o prefixo da linha, que é uma seqüência de oito algarismos conforme Figura 1.



**Figura 1: Prefixo das linhas de transporte interestadual**

A Tabela 1 apresenta um resumo geral dos dados operacionais do sistema de serviço interestadual de transporte rodoviário coletivo de passageiros no ano de 2002, desconsiderando o transporte interestadual semi-urbano. No cálculo da quantidade de linhas considerou-se o número de prefixos distintos. Cada empresa possui um prefixo exclusivo para cada tipo de ônibus (por exemplo: convencional, executivo, leito, etc.) de cada linha operada por ela mesma. Duas empresas que operam o mesmo itinerário, com o mesmo tipo de serviço e ônibus, possuem dois prefixos distintos porque o número seqüencial da linha (quatro algarismos) é diferente para cada empresa e linha.

**Tabela 1: Dados operacionais do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros de 2002**

Quantidade de empresas	172
Quantidade de linhas (por prefixo)	2.602
Passageiros transportados	67.914.380
Quilômetros Percorridos	1.350.278.734
Viagens realizadas (veículos)	2.238.735

Fonte: Sistema de Controle de Dados dos Serviços de Transporte Rodoviário de Passageiros e ANTT (2003).

Outro importante conceito para a caracterização da linha são os pontos de seção, de apoio e de parada. Ponto de seção é uma localidade, entre os municípios de origem e destino, onde é permitida a empresa a venda de passagens para o embarque de passageiros na linha (Figura 2). Ponto de apoio é o local destinado a reparos, manutenção e socorro de veículos em viagem e atendimento da tripulação. O Ponto de parada é o local de parada obrigatória, ao longo do itinerário, de forma a assegurar, no curso da viagem e no tempo devido, alimentação, conforto e descanso aos passageiros e às tripulações dos ônibus (ANTT, 2002). Observa-se que a mesma localidade poderá servir de ponto de apoio, parada e seção da mesma linha. A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo de uma linha onde são representados os pontos de apoio, parada e seção mencionados anteriormente.

A ordem dos municípios no nome da seção segue o seguinte critério: o município de origem da seção é aquele mais próximo à jurisdição da empresa permissionada que irá operar a linha. A Figura 2, apresenta um esquema ilustrativo de uma linha interestadual. A Seção 1 liga a origem (município 1) e destino (município  $n$ ) da linha. A Secção 2 deverá ligar o município de origem

(município 1) ao município  $n-1$  (no exemplo, Guaratinguetá), e assim por diante. Conforme citado anteriormente não são permitidas seções entre municípios do mesmo Estado (Brasil, 1998) para que não ocorra concorrência com o transporte intermunicipal.

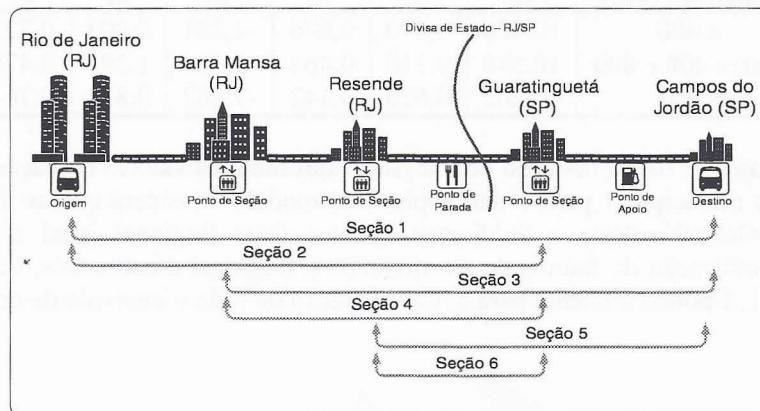


Figura 2: Esquema ilustrativo de uma linha interestadual

Existem ligações com mesma origem e destino que pertencem a linhas distintas, como exemplo pode-se citar o caso da ligação São Paulo (SP) - Balneário Camboriú (SC) que pertence a 22 prefixos de linhas distintos, ou seja 22 seções. Alguns destes só se diferem por ser um tipo de serviço diferenciado, porém operadas pela mesma empresa.

### 3. MODELOS DE DEMANDA PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS

Um modelo é uma representação formal e simplificada de um fenômeno real, que procura abstrair as características mais relevantes para facilitar ou possibilitar sua análise (Ortúzar, 2000). Existem diversas técnicas e ferramentas utilizadas para modelagem, no caso da ANTT a previsão de demanda anual de passageiros nas linhas de transporte interestadual de passageiros por ônibus é uma das etapas do estudo de mercado, de competência da ANTT. E, na modelagem o método atualmente utilizado na previsão, fundamenta-se em uma variação do modelo gravitacional para o cálculo da demanda para uma linha interestadual que, por meio de regressões múltiplas, definido por meio da equação 1. A equação 1 calcula a demanda prevista para cada seção de uma linha de TRIP em função da distância e da população dos municípios de origem e destino:

$$D_{IJ} = \exp[B_0 + B_1 \ln(P_I) + B_2 \ln(P_J) + B_3 \ln(EXT) + B_4(ATRAT) + B_5(REG)] \quad (1)$$

onde:

**D<sub>IJ</sub>:** Demanda Anual entre os municípios *i* e *j*.

**EXT:** extensão do percurso (km)

**P<sub>I</sub>:** população do maior município (milhares de habitantes);

**P<sub>J</sub>:** população do menor município (milhares de habitantes);

**ATRAT:** fator de atratividade do município (0 ou 1);

**REG:** fator Regional (vide Figura 3);

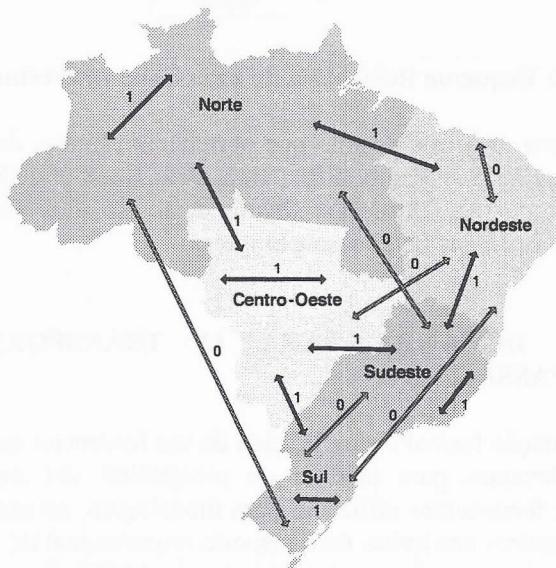
B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub> e B<sub>5</sub> são parâmetros da equação em função da extensão (vide Tabela 2).

Para determinar os parâmetros da equação, deve-se utilizar a Tabela 2.

**Tabela 2: Parâmetros da equação**

Extensão (km)	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
< 400	10,424	0,470	0,676	-1,291	0,803	0,723
Entre 400 e 800	10,548	0,710	0,464	-1,405	1,291	0,478
> 800	10,202	0,620	0,442	-1,262	0,828	0,764

A Figura 3 do mapa do Brasil dividido por Regiões, apresenta os valores e relações estabelecidas entre a região do município 1 para o município 2. O modelo considera que as ligações entre as Regiões Centro-Oeste/Nordeste e Sul/Sudeste possui fator Regional igual a zero, o que é questionável. A utilização de fatores de Atratividade e Regional dicotômicos, ou seja, variando apenas entre 0 e 1, é pouco eficiente para a representação de todo o intervalo de demanda.



**Figura 3: Fator Regional (REG)**

A Equação 1 calcula a demanda anual entre dois municípios. Entretanto, para as seções intermediárias (seção  $n > 1$ ), a demanda é corrigida conforme a Equação 2. A demanda total da linha deverá ser igual à soma da demanda em todas as seções.

$$D_C = D_{IJ} \times \frac{d_s}{d_l} \quad (2)$$

onde:

**D<sub>C</sub>:** Demanda corrigida para a seção em estudo;

**D<sub>IJ</sub>:** Demanda Anual entre os municípios  $i$  e  $j$  calculada conforme a equação 1;

**d<sub>s</sub>:** extensão da seção em estudo;

**d<sub>l</sub>:** extensão da linha;

Como o número de seções em cada município não é limitado, a cada nova linha com seção em um dado município, uma nova demanda pode ser prevista. Ao se adicionar uma nova seção, com mesma origem e destino de uma seção existente em outra linha, o modelo não considera que a demanda já possa estar alocada.

No presente trabalho são utilizadas diferentes formas de separação em subconjuntos de treinamento. Cada critério estipulado determinará modelos distintos, com resultados distintos mesmo que estes utilizem a mesma amostra de dados para treinamento. Para a comparação dos mesmos serão empregadas as seguintes medidas de desempenho apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3: Medidas de desempenho da rede**

Medidas de Desempenho	Equação
Desvio Médio Absoluto ( <i>Mean Absolute Deviation</i> – MAD)	$DMA = \frac{\sum  X_R - X_P }{n}$
Erro Quadrático Médio ( <i>Mean Squared Error</i> – MSE)	$EQM = \frac{\sum (X_R - X_P)^2}{n}$
Média Absoluta do Erro em percentagem ( <i>Mean Absolutage Percentage Error</i> – MAPE)	$MAEP = \frac{1}{n} \sum \left  \frac{X_R - X_P}{X_R} \right  \times 100$

Onde:  $X_R$ : demanda real;  $X_P$ : valor previsto pela RNA;  $n$ : número de casos (Fonte: Washington *et al.*, 2003).

Existem outras medidas de desempenho para análise disponíveis na literatura, entretanto para o presente trabalho espera-se que estas medidas consigam representar em que tipo de ligação a rede apresenta maior dificuldade de representação. Por exemplo, modelos que apresentarem maior valor para a *MAEP*, a rede neural poderá estar com dificuldades na representação das ligações com menor número de passageiros. Por outro lado altos valores para o *DMA* e *EQM* podem significar dificuldade na representação das ligações com maior número de passageiros.

#### 4. MODELAGEM NEURAL DE DEMANDA DE PASSAGEIROS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL

As redes neurais artificiais possuem a capacidade de aprender por meio de exemplos, e assim fazer interpolações e extrapolações do que aprenderam (Braga *et al.*, 1999). A principal vantagem de uma rede neural é a capacidade de simular equações não lineares. Para o presente estudo espera-se que a RNA seja capaz de estimar a demanda de passageiros do TRIP, entre os municípios brasileiros, a partir de variáveis socioeconômicas e espaciais, representativas dos motivos de viagem citados por Kanafani (1983): negócios pessoais (visitas a amigos e parentes, consulta médica, estudo), lazer (férias, feiras, encontros) e a trabalho.

As RNA vêm sendo muito utilizadas em estudos de transportes, e as experiências indicam que as mesmas proporcionam performances superiores aos modelos estatísticos convencionais, pois podem tratar mais adequadamente as variações no comportamento dos dados (Dougherty, 1995; Rodrigue, 1997; Shmueli *et al.*, 1998; Faghri e Hua, 1992; Gonzales-Taco, 2003).

Durante o treinamento da rede neural por aprendizagem supervisionada, os dados de entrada e saída são apresentados emitindo a rede uma resposta de saída. Esta resposta é comparada com a resposta de saída desejada. Se a resposta difere da desejada, é emitido um sinal de erro, que é usado para calcular o ajuste que deve ser feito aos pesos sinápticos para obtenção de resultados mais próximos ao desejado (Braga *et al.*, 1999; Haykin, 2001). Este algoritmo é conhecido como *Backpropagation*, e será utilizado em razão da existência dos dados de movimentação de passageiros entre as ligações do TRIP.

A Regressão Linear Múltipla procura estabelecer relação entre a variável resposta e as variáveis independentes, também chamadas de variáveis explicativas. As variáveis independentes correspondem as variáveis de entrada da RNA. A regressão linear utilizou as mesmas variáveis adotadas para o modelo em redes neurais para efeito de comparação entre as técnicas.

Para este trabalho utilizou-se RNA para determinação da demanda de passageiros nas ligações do TRIP. Para a comparação dos resultados obtidos pela RNA foi utilizado o modelo da ANTT e um modelo baseado em regressão linear múltipla.

## 5. METODOLOGIA PROPOSTA

Para a previsão da demanda utilizando RNA foi desenvolvida uma metodologia que identifica a demanda de passageiros nas ligações entre um par de origem e destino das linhas de transporte interestadual nos municípios brasileiros por meio de variáveis socioeconômicas e espaciais (Carneiro 2005).

Como a grande maioria dos deslocamentos interestaduais realiza-se pelo modo ônibus (ANTT, 2004), optou-se por restringir a modelagem da demanda apenas para este modo de transporte. A Figura 4 apresenta a estrutura da metodologia de modelagem da demanda de passageiros composta de 6 fases.

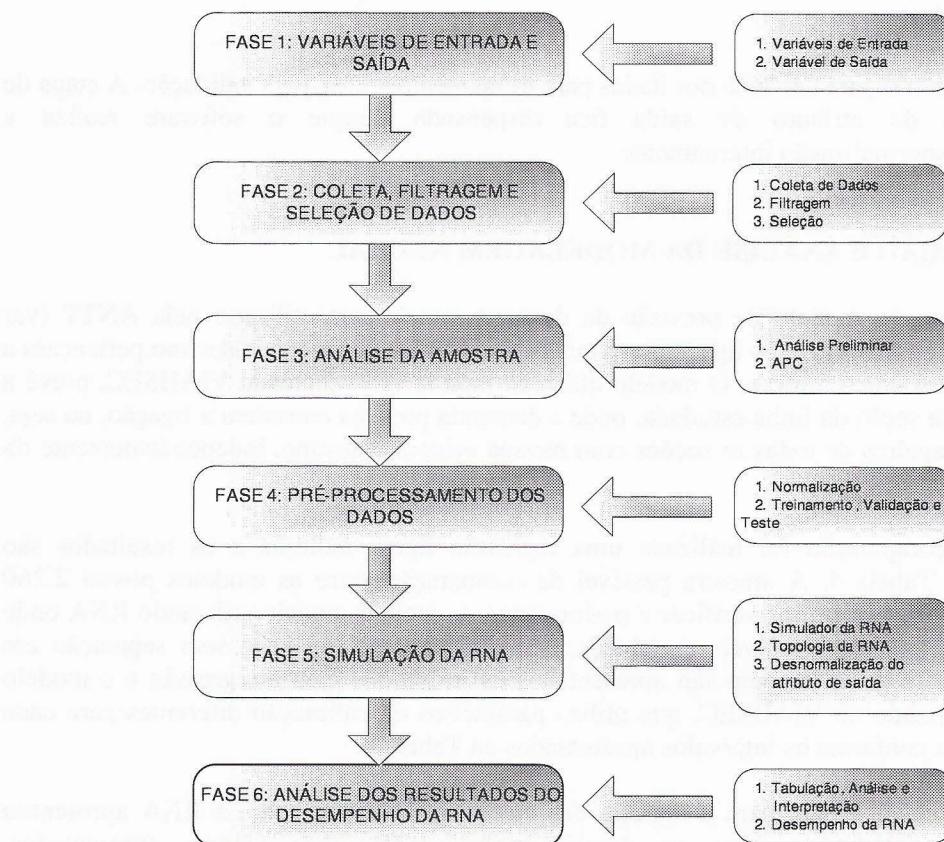
As variáveis socioeconômicas utilizadas foram:

- Nível de Hierarquia (NH): o nível de hierarquia permite identificar a área de influência das cidades, pois quanto maior, maior o número de deslocamentos segundo o REGIC (IPEA, 2002). Essa variável é obtida do estudo “Região de Influência das Cidades - REGIC” (IPEA, 2002);
- População (Pop): é a quantidade de habitantes, pois quanto maior a população, maior o número de deslocamentos. Essa variável é obtida do censo do IBGE;
- Renda: é a renda familiar média dos municípios, dado pelo IBGE de acordo com o censo;
- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): é o índice que avalia a qualidade de vida no município, levando em consideração a longevidade, a educação e a renda per capita, no município. Esta variável é calculada conforme a metodologia adotada pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD e pode ser obtida no Atlas do Desenvolvimento Humano (PNUD, 2003);
- Empregos (EMP): é o número de empregos formais no município, dado pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 2004);

- Matrículas no Ensino Superior (MES): é o número de matrículas em ensino superior por município segundo o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - (INEP, 2002);
- Leitos Hospitalares (LH): é o número de leitos hospitalares no município dado pelo Ministério da Saúde (2004);
- Turismo (Tur): é a movimentação de turistas entre os Estados Brasileiros em percentual, conforme pesquisa realizada pela EMBRATUR (2001);

Como variáveis espaciais foram empregadas as seguintes variáveis:

- Distância: é a distância, considerada sobre a malha rodoviária, entre os municípios de origem e de destino da ligação;
- AMU: é a Área da Mancha Urbana no município, dada pela área dos setores censitários que contém aglomeração urbana;
- ICRodo: Índice de Cobertura espacial rodoviária para o município que considera a área de influência da rodovia (Magalhães, 2004);



**Figura 4: Estrutura metodológica da previsão de demanda do TRIP**

A topologia adotada para a rede neural é a *Multilayer Perceptron* (MLP) e o algoritmo utilizado para o aprendizado é do tipo *Backpropagation*. A arquitetura da rede, definida após alguns testes

comparativos, é de apenas uma camada intermediária, e o número de neurônios a ser adotado será sempre igual ao número de variáveis utilizadas para o treinamento das redes neurais (Celik, 2004). A existência de uma camada intermediária é o que transforma a rede neural capaz de solucionar problemas não lineares, embora a maior parte dos problemas não necessite mais que duas camadas intermediárias. Quanto à conectividade a rede é completamente conectada, ou seja, todos os neurônios das camadas adjacentes estão conectados. O simulador escolhido é o *EasyNN Plus* (Wolstenholme, 2001) em função da boa interface com o usuário e dos recursos de visualização disponíveis.

Os demais parâmetros utilizados para configuração da rede neural são a taxa de aprendizado e o momento. A taxa de aprendizado (*learning rate*), que indica o quanto suavemente se dará a atualização dos pesos sinápticos (Raia Jr., 2000), foi definida como sendo igual a 0,50 e o momento (*momentum*), que tem a função de acelerar se necessário a velocidade de treinamento, igual a 0,60. O software utilizado disponibiliza uma opção de redução dos mesmos durante o treinamento, esta opção foi ativada apenas para o momento. Estas taxas foram definidas a partir do processo conhecido como tentativa e erro, assim como a definição do número de neurônios na camada intermediária.

A amostra foi então separa em 75% dos dados para treinamento e 25% para validação. A etapa de desnormalização do atributo de saída fica dispensada porque o software realiza a normalização/desnormalização internamente.

## 6. APLICAÇÃO E ANÁLISE DA MODELAGEM NEURAL

A comparação com o modelo de previsão de demanda atualmente utilizado pela ANTT (ver seção 2.3) só foi possível para as ligações em que os municípios de origem e destino pertençam a uma linha com um único prefixo. O modelo utilizado pela ANTT, chamado VIABSEC, prevê a demanda em cada seção da linha estudada, onde a demanda prevista considera a ligação, ou seja, a soma dos passageiros de todas as seções com mesma origem e destino, independentemente da linha.

Para efeito de comparação foi realizada uma regressão linear múltipla e os resultados são apresentados na Tabela 4. A amostra passível de comparação entre os modelos possui 2.260 ligações. Na Tabela 4 podemos verificar a performance do melhor modelo utilizando RNA onde foram utilizadas todas as variáveis e treinadas simultaneamente, ou seja, sem separação em subconjuntos. Além disso também são apresentados os resultados para a regressão e o modelo gravitacional utilizado no VIABSEC, que utiliza parâmetros de calibração diferentes para cada faixa de distância conforme os intervalos apresentados na Tabela 4.

Observa-se na Tabela 4 que, para a maioria das medidas de desempenho, a RNA apresentou resultados mais satisfatórios que os demais modelos. Os altos valores apresentados, principalmente para o *MAEP*, são consequência da modelagem de ligações com baixo número de passageiros transportados anualmente. Por exemplo, uma ligação em que o modelo previu 750 passageiros por ano (15 passageiros por semana), mas que na verdade transporta 150 passageiros por ano (3 passageiros por semana), apresenta 400% de erro percentual.

**Tabela 4: Comparação entre os três modelos**

Distância	MAEP			DMA		
	RNA	Regressão	VIABSEC	RNA	Regressão	VIABSEC
Menor que 400 km	148,96%	282,95%	579,53%	1240	1467	3.743
Entre 400 e 800 km	154,62%	425,56%	697,86%	1087	1735	4.766
Mais que 800 km	96,18%	373,14%	396,98%	590	1406	1.805
<b>Média Geral</b>	<b>135,52 %</b>	<b>345,14 %</b>	<b>558,47 %</b>	<b>1.017</b>	<b>1.519</b>	<b>3.459</b>

Distância	EQM		
	RNA	Regressão	VIABSEC
Menor que 400 km	6.899.452	6.666.558	70.692.294
Entre 400 e 800 km	4.110.131	5.513.101	124.391.513
Mais que 800 km	1.360.156	3.359.931	9.277.296
<b>Média Geral</b>	<b>4.617.392</b>	<b>5.436.054</b>	<b>67.183.523</b>

## 7. CONCLUSÕES

Verificou-se que os algoritmos de RNA podem ser ainda mais explorados. Neste trabalho não foram testados outros algoritmos de aprendizagem e funções de ativação, o que poderia implicar em resultados mais satisfatórios para a modelagem. Como exemplo, a troca da função sigmoidal, utilizada para a saída dos dados, que não permite a extrapolação da demanda para valores fora dos limites apresentados na amostra de treinamento.

Na modelagem da demanda com Redes Neurais utilizou-se a proporção de 75% da amostra para treinamento e 25% para teste. Não é possível obter, em um único treinamento, a previsão da demanda para toda a amostra, seguindo uma proporção específica, devido a restrição do *software*. Sendo assim a mesma deve ser treinada 4 vezes, para a proporção adotada no presente estudo. A utilização de 90% da amostra para treinamento e 10% para teste poderia reduzir o erro, pois a amostra de treinamento possuiria mais elementos. Por outro lado, esta proporção aumentaria o tempo de treinamento, que necessitaria ser treinada 10 vezes.

A comparação do modelo em RNA com o modelo em regressão linear múltipla confirmou as RNA como importante ferramenta para modelagem da previsão de demanda nas ligações entre um par de origem e destino do TRIP por ônibus, mostrando-se mais adequada que os modelos tradicionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2002). **Aprova o Glossário dos Termos e dos Conceitos utilizados pela Agência Nacional de Transportes Terrestres na regulamentação da prestação dos serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros.** Resolução nº 16, de 23 de maio de 2002. Diário Oficial da União, de 03 de junho de 2002.

Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2003). **Anuário Estatístico 2003.** <www.antt.gov.br>.

Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2004). **Transporte Terrestre: Números do Setor.** Brasília, DF.

Braga, A. P., Carvalho, A. P. L. F., Ludermir, T. B. (1999). Redes neurais artificiais: teoria e aplicações. Notas de aula. ICMC. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, SP.

Brasil (1998). Decreto nº 2.521, de 20 de março de 1998. **Dispõe sobre a exploração mediante permissão e autorização de serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros e dá outras providências.** Diário Oficial da União, de 21 de março de 1998.

Brasil (2001). Lei nº 10.233, de 5 de Junho de 2001. **Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte,** a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências.

Carneiro, L. G. P. L. (2005). Desenvolvimento de uma Metodologia para Previsão de Demanda de Passageiros para o Transporte Rodoviário Interestadual por Ônibus. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM-002A/2005 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 78p.

CEARÁ (2002). Decreto nº 26.803, de 24 de outubro de 2002. **Aprova o regulamento do serviço regular complementar de transporte rodoviário intermunicipal de passageiros do Estado do Ceará,** revogando o Decreto nº 26.524, de 27 de fevereiro de 2002, e dá outras providências.

Celik, H. M. (2004). Modeling freight distribution using artificial neural networks. **Journal of Transport Geography 12**, 141-148.

Dougherty, M. (1995). A review of neural networks applied to transport. **Transportation Research 3C**, 247-260.

EMBRATUR (2001). **Estudo do Mercado Interno de Turismo,** Instituto Brasileiro de Turismo, Ministério do Esporte e Turismo, Brasília, DF.

Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos - EBTU (1988). STPP Gerencia do Sistema de Transporte Público de Passageiros - Módulos de Treinamento. Módulo 3. Brasília, DF.

Faghri, A. y Hua, J. (1992). Evaluation of artificial neural networks applications in transportation engineering. **Transport Research Record 1358**, 71-80.

Gonzales-Taco, P. W. (2003). Redes neurais artificiais aplicadas na modelagem individual de padrões de viagens encadeadas a pé. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

- Haykin, S. (1999). **Neural Networks: A Comprehensive Foundation.** Prentice-Hall.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2005). <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP (2002). <[www.inep.gov.br](http://www.inep.gov.br)>.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2002). **Série Caracterização e Tendência da Rede Urbana do Brasil: Estudos Básicos para a Caracterização da Rede Urbana / IPEA,** IBGE, UNICAMP. Vol. nº 2. Brasília. IPEA.
- Kanafani, A. (1983). **Transportation Demand Analysis.**
- Magalhaes, M. T. Q. (2004). Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas de Indicadores: Uma Aplicação no Planejamento e Gestão da Política Nacional de Transportes. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM-015A/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 135p.
- Ministério da Saúde (2004). *Datasus.* <[www.datasus.gov.br](http://www.datasus.gov.br)>
- Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (2004). <[www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)>
- Ortúzar, J. de D. (2000) **Modelos de Demanda de Transporte.** (2<sup>a</sup>. Ed) Alfaomega Grupo Editor, Pontificia Universidad Católica do Chile.
- PNUD (2003) **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 1.0**
- Raia JR., A. A. (2000). Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Rodrigue, J. P. (1997) Parallel modeling and neural networks: an overview for transportation/land use systems. **Transportation Research** 5C, 259-271.
- Shmueli, D., I. Salomon, D. Shefer (1998) Neural network analysis of travel behaviour. In: **Neural Networks in Transport Applications.** Himanem, V.; Nijkamp, P.; Reggiani, A. & Raitio, J. Eds. Ashgate Publishing Ltd. England.
- Washington, S.P., M.G. Karlaftis, F.L. Mannerling (2003) Statistical and Econometric Methods for **Transportation Analysis.** Chapman & Hall/CRC.
- WOLSTENHOLME, S. (2001) EasyNN Plus 5.0, Reino Unido.