

UMA NOVA ABORDAGEM NA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTE: O USO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA) PARA AVALIAR E ORDENAR ALTERNATIVAS

Nilder Furtado

Universidade de São Paulo, Rua Manoel Martins Dias, 185
Jardim Dona Francisca-13571-030, São Carlos, SP, Brasil
nfurtado@sc.usp.br

Sandra Oda

Universidade de São Paulo, Alameda das Rosas, 536
Cidade Jardim - 13566-560, São Carlos, SP, Brasil
odasandr@sc.usp.br

Eiji Kawamoto

Universidade de São Paulo, Av. Dr. Carlos Botelho,
1465-13560-250 São Carlos, SP, Brasil
eiji@usp.br.

RESUMO

Este artigo apresenta um método para avaliação e ordenamento de alternativas de projetos de transporte aplicando Redes Neurais Artificiais (RNA). As RNA são ferramentas computacionais que aplicam os princípios e recursos da Inteligência Artificial (IA).

O método proposto está baseado na idéia de que uma RNA pode simular os recursos da inteligência humana sendo possível treiná-la para o reconhecimento de padrões de avaliação.

Enfatiza-se a importância do método sobretudo nas seguintes situações: a) onde há necessidade de avaliar em cenários futuros diferentes; b) quando há dificuldade na contratação de especialistas; c) nas situações em que o tempo de análise deve ser abreviado, e d) quando o conjunto de dados disponíveis não é tão consistente.

Na aplicação do método, utilizou-se um grupo de projetos hipotéticos para treinar, testar a consistência e verificar o desempenho do modelo proposto. Todos os projetos acima mencionados foram avaliados dentro de um mesmo contexto político-institucional para se evitar os eventuais viés na avaliação advindo de diferentes orientações políticas.

Por fim são apresentadas as conclusões sobre o método e recomendações que visam ao direcionamento de pesquisas futuras e aprimoramento na utilização destas ferramentas que apresentam um potencial muito grande para a avaliação de projetos de transportes.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto de técnicas e procedimentos existentes mostra que a avaliação e o ordenamento dos projetos alternativos de transporte passam necessariamente pela figura de uma equipe multidisciplinar de especialistas. A função desses especialistas é estimar níveis de consequências para estas alternativas, atividade essa que geralmente demanda tempo e recursos consideráveis.

Até recentemente as decisões em transportes sempre estiveram baseadas no conceito de eficiência, traduzido sobretudo para a linguagem econômica. Todavia, a gradativa conscientização da sociedade, ocorrida nas últimas décadas, sobre a importância das consequências sociais, culturais, econômicos e ambientais advindas de investimentos fez com que indivíduos e entidades passassem a exigir mais cuidado também com os efeitos das mudanças propostas nos sistemas de transporte.

Para estimar e avaliar os efeitos conjuntos dessas mudanças a serem causadas por investimentos surgiram uma variedade muito grande de técnicas e procedimentos de avaliação que enfatizam além dos aspectos monetários, outros aspectos dos projetos de investimento.

1.1. Técnicas de avaliação de projetos de transporte

O objetivo da avaliação de projetos de transporte é o de organizar as informações disponíveis de modo que se possa comparar os projetos alternativos e tornar a tomada de decisão mais simples. Diversas técnicas monetárias, de otimização, multiobjetivo ou multicritério e de resolução de conflitos são utilizadas para este fim. Muitas delas, sobretudo as referentes à otimização ou programação multiobjetivo, apresentam alguma complexidade matemática. Além disso, elas requerem a participação de uma equipe multidisciplinar de especialistas: engenheiros, economistas, sociólogos, ambientalistas, etc., encarregados de prever as consequências de um investimento no sistema de transporte.

Com exceção das técnicas econômicas, as demais adotam esquemas de preferências tanto de quem prevê o nível das consequências, quanto de quem decide. Desta forma, tem-se um conjunto de procedimentos que envolve o estudo das consequências por especialistas e a escolha da melhor alternativa por um grupo de decisão.

Tradicionalmente, as técnicas de avaliação são classificadas em monetários e não-monetários, cada uma enfocando um determinado tipo e número de fatores (Gomez-Ibanez e Lee (1983); McFarland e Memmont (1987); Jayawardana e Webre Jr (1992); Mohring (1993); Gutierrez, (1995)). Enquanto as técnicas monetárias procuram traduzir alguns atributos relevantes em termos monetários, as técnicas não monetárias ou multiobjetivo procuram trabalhar diretamente com os diferentes atributos relacionados aos problemas de decisão (Cohon (1978); Hwang e

Yoon (1981); Goicochea *et al.* (1982); Giuliano (1985); Roy (1985); Korhonen *et al.* (1992); Nijkamp e Blaas (1994); Bana e Costa e Vansnick (1997)).

Atualmente muitas ferramentas computacionais auxiliam na avaliação e no processo decisório. Entretanto, estas ferramentas precisam ser adaptadas às situações observadas de forma que a lógica de avaliação e decisão seja traduzida para uma lógica de programação computacional. Há nesse caso, ainda, a necessidade da interferência de analistas de sistemas e de programadores para possibilitar o uso adequado de tais ferramentas.

1.2. As redes neurais artificiais

Segundo Carvalho (1997), as RNA são técnicas computacionais que apresentam uma modelagem matemática inspirada na estrutura neural orgânica. Em organismos inteligentes estas estruturas permitem adquirir conhecimento através da experiência. A opinião de Cassa e Cunha Neto (1996) pode ser usada para complementar essa definição à medida que considera que, por estarem inspiradas no sistema nervoso biológico, as RNA seguem as mesmas regras e propriedades do fluxo de informações do cérebro humano.

As RNA são compostas por várias unidades de processamento, conectadas por canais de comunicação aos quais são associados pesos que representam a importância de cada sinal transmitido. O comportamento inteligente desse tipo de rede é proporcionado pelas interações das unidades de processamento existentes. Uma RNA trabalha com funções de ativação. Estas funções têm por finalidade transformar um estado de ativação (ativo ou inativo) de uma unidade em um sinal de saída, comparando sinais antigos e atuais. Haykin (1994) determina que a ativação de uma função define o sinal de saída de um neurônio de acordo com o nível de atividade da entrada. As funções típicas de ativação trabalham com adição, comparação ou transformações matemáticas.

A forma como os neurônios artificiais são estruturados dentro de uma RNA está diretamente associada com o algoritmo de aprendizagem utilizado para treinar a rede. Normalmente são classificados dois tipos de arquiteturas de acordo com a organização das camadas consideradas (com uma camada¹: "Perceptron" e "Adaline" ou multi-camadas²: "Multi-Layer Perceptron").

Para que a Rede Neural Artificial "aprenda" através de exemplos, é necessário um processo de aprendizagem. Haykin (1994) define a aprendizagem como um processo através do qual os parâmetros livres de uma Rede Neural Artificial são adaptados de forma a constituir um mecanismo de estimulação pelo ambiente em que a RNA é considerada. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira através da qual os parâmetros são movidos na rede. Para que um processo de aprendizagem possa ser definido, os seguintes eventos fundamentais devem ocorrer em uma RNA:

- Estimulação através do ambiente;
- Suscetibilidade às mudanças em consequência desta estimulação; e

¹Identifica padrões que possam ser separados linearmente;
²Identifica qualquer complexidade de padrão;

- Resposta ao ambiente por intermédio de uma nova maneira, resultado das mudanças ocorridas na sua estrutura interna.

No método proposto, utiliza-se a aprendizagem supervisionada e o algoritmo de “backpropagation”. Através deste algoritmo atualizam-se os valores dos parâmetros (pesos e discriminantes) de cada camada com base nos erros calculados pela rede. O procedimento de ajuste destes valores está baseado na busca da direção de maior convergência dos erros obtidos pelo método do gradiente convergente. Na procura do menor valor na superfície de erro da rede pode acontecer que o treinamento se estabilize numa região de mínimos locais, não convergindo ao valor ótimo desejado. Nesse caso pode-se usar uma função impulso para evitar estas situações. As RNA são ferramentas importantes na resolução de problemas visto que apresentam as seguintes propriedades:

- Têm capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar esse aprendizado para reconhecer propriedades similares que não foram usadas no processo de treinamento;
- Apresentam um bom desempenho para encontrar soluções em situações onde o conhecimento não está explícito;
- Não requerem conhecimento sobre os modelos matemáticos utilizados nos domínios das aplicações; e
- São pouco afetadas na presença de informações falsas ou ausentes.

Por ora, as aplicações de RNA em transportes estão limitadas aos seguintes campos:

- Planejamento e Operação de Transportes: São observados trabalhos que envolvem assuntos como a geração de viagens, matrizes O-D, diagnóstico e controle de congestionamentos, transporte de materiais perigosos, controle de tráfego aéreo, semaforização (Nakatsuji e Kaku, 1991; Faghri e Hua, 1992a e 1992b; Taylor e Deirdre, 1994);
- Administração e Economia: Nesta área as RNA podem ser aplicadas para testar novas técnicas de financiamento, tarifação, alocação e distribuição de recursos (Faghri e Hua, 1992a);
- Construção e Manutenção de Pavimentos: Na infra-estrutura das vias, é possível usar as RNA para verificar a preparação de superfícies, investigação de novos materiais e gerência de pavimentos (Faghri e Hua, 1992a, Hua e Fahgri, 1993; Pant *et al.*, 1993; Brega, 1996 e Cassa e Cunha Neto, 1996);
- Projetos: Neste campo, pode-se aplicar as RNA em projeto geométrico de vias, definição de terminais e estações, análise de demanda, determinação de condições climáticas, rodovias inteligentes, transporte público urbano, dentre outros (Faghri e Hua, 1992a).

2. MÉTODO PROPOSTO

O método proposto para a verificação da aplicação das RNA na avaliação e ordenamento de projetos de transporte compõe-se das seguintes fases:

FASE 1 - Definição do Conjunto de Variáveis de Avaliação: Nos projetos de transporte, estima-se a magnitude das consequências, quer sejam positivas ou negativas através de variáveis de

avaliação. A partir desta estimativa, pode-se caracterizar a influência da consequência nos resultados da avaliação de cada alternativa. Para o reconhecimento das variáveis de avaliação, é necessário definir um sistema de classificação associado ao tipo e escala dos projetos a serem avaliados. O procedimento permite que uma RNA reconheça, após treinamento e generalização, o tipo de dado que está sendo tratado em cada avaliação.

FASE 2 - Levantamento de Casos ou Exemplos para Treinamento: Todo o procedimento para elaboração, teste e verificação do método é baseado em casos de avaliação de projetos de transportes, sistematizados de acordo com a natureza da avaliação (infra-estrutura, tráfego, otimização de rotas, etc.). Estes casos devem caracterizar o ambiente da avaliação. O número de casos é determinado em função do nível de precisão e confiabilidade que deve ser obtido com a utilização da ferramenta.

Com base nos dados levantados, estabelece-se inicialmente um conjunto de critérios que permita classificar os projetos "bem avaliados". Apenas estes serão utilizados no desenvolvimento e verificação da técnica. A fim de montar o conjunto de projetos para o treinamento da técnica, utilizou-se os princípios de uma boa avaliação descritos por Khisty (1990).

FASE 3 - Definição da Arquitetura e Topologia da RNA: A arquitetura e Topologia da RNA é definida em função do problema a ser abordado. Após este procedimento, seleciona-se o simulador de RNA a ser utilizado, bem como os parâmetros de treinamento e consistência a serem utilizados (taxa de aprendizagem, número de ciclos para teste e erro máximo admissível). Esta etapa tem grande influência no processo de aprendizagem, visto que, quanto melhores os parâmetros iniciais, mais rápido se dá o treinamento e mais precisa é a convergência na superfície de erro. Na fase de treinamento da rede, é feita a otimização dos pesos das ligações entre os neurônios, de modo a mapear da melhor forma possível as variáveis de entrada e de saída.

A idéia central é treinar a RNA com base nos padrões estabelecidos por Prechelt (1994), que determinam regras e convenções que descrevem e padronizam o processo de condução do experimento, resultados e documentação. Em função destes padrões, o conjunto de dados será dividido em três subconjuntos: treinamento, teste de consistência (confronto com os dados do treinamento) e validação (capacidade de generalização e avaliação). O autor afirma ainda que os subconjuntos devem ser estabelecidos aleatoriamente e o processo deve ser repetido três vezes.

Ainda sobre a definição destes grupos de teste, verificação e validação, é importante salientar que várias ordens de apresentação dos dados na RNA devem ser consideradas, para evitar que os parâmetros colocados inicialmente não tornem a rede viciada em um certo tipo de dado. Assim, é importante definir o maior número de combinações possíveis para a rede, até que o erro médio observado seja similar em todas as apresentações.

FASE 4 – Validação: Cumpridas todas as etapas anteriormente descritas, passa-se para a fase de validação em que se estabelecem critérios que permitem verificar os níveis de complexidade com o qual a técnica pode ser aplicada. Isso ajuda a estabelecer situações em que a técnica pode garantir condições para avaliação e ordenamento confiáveis.

Na verificação da técnica proposta devem ser comparados os níveis de erros e acertos obtidos na avaliação e ordenamento das alternativas, de forma a analisar, analogamente, se o comportamento obtido é similar ao exercido por especialistas. A definição deste padrão ocorre em função dos resultados desejados na avaliação.

Para isto devem ser utilizados casos que não tenham sido usado em nenhuma das fases de desenvolvimento da técnica (para verificação do processo de avaliação e ordenamento). É importante ainda criar um grupo de teste com resultados manipulados e preestabelecidos (para verificação do processo de ordenamento).

3. APLICAÇÃO

3.1. Definição das variáveis de classificação

Adotou-se aqui uma classificação genérica, utilizando-se para isto as classificações propostas por Lane *et al.* (1980), Sinha e Jukins (1980) e Dickey e Miller (1984). A classificação foi escolhida porque ela aborda várias sistematizações envolvendo variáveis associadas aos problemas de transporte. Com isto, as variáveis estão assim caracterizadas:

- Variáveis de Qualificação: Definem aspectos qualitativos dos projetos, tais como os tipos de impactos considerados (ambientais, sociais, econômicas), o cenário da avaliação (descritivo ou normativo) e o número de alternativas;
- Variáveis de Contextualização: Definiu-se inicialmente cinco contextos que deveriam ser perseguidos nos casos: menor custo, desempenho, maiores rendimentos, versatilidade e adaptabilidade; e
- Variáveis de Medição: Definem os níveis dos atributos e critérios considerados para a obtenção dos objetivos pretendidos. Para isso, foram ainda definidas subclasse de medição tais como custos monetários (capital, operação e manutenção), benefícios monetários (usuários, não-usuários e operadores) e impactos (econômicos, sociais e ambientais) e fatores operacionais (demanda e capacidade da via).

3.2. Casos considerados para treinamento, verificação e validação das RNA

Vários projetos avaliados dos Estados Unidos e referenciados em literatura (Anexo 01) onde foram consideradas avaliações de corredores de transporte realizadas entre os anos de 1960 e 1995, serviram de base na geração dos exemplos. Foram gerados 200 casos hipotéticos, com resultados pré-determinados para a utilização do método, sendo a metade dos casos destinada ao treinamento e verificação e a outra metade para a validação do método. Sobre estes casos, tecem-se as seguintes considerações:

- Os valores correspondentes aos custos e benefícios estão expressos em unidade monetária;
- Para o tratamento das variáveis de medição (Anexo 02), foram estipulados valores quaisquer de modo a permitir uma análise de situações onde a avaliação é considerada satisfatória ou insatisfatória e o ordenamento das alternativas fosse preestabelecido;

- Para determinar o desempenho de cada alternativa em relação ao projeto avaliado, foi estipulado um índice de desempenho para cada alternativa, correspondendo este índice a ordem de preferência da alternativa em função das variáveis de avaliação consideradas.

3.3. Arquiteturas e topologias

Nesta pesquisa, o simulador utilizado foi o Neural Planner 4.20, desenvolvido por Wolstenhome (1996) e disponível na "Internet" através da Neuronet (1997). Este simulador utiliza o treinamento supervisionado com retropropagação ("backpropagation"), e possui as seguintes características:

- Executa uma função de ativação do tipo sigmóide (logística);
- Adota o erro médio produzido pela soma do erro absoluto de todos os casos treinados, dividido pelo número total de casos;
- Limita a arquitetura da rede de acordo com os seguintes pontos: O número máximo de neurônios de entrada e saída é de 256; O número de neurônios das camadas ocultas, está limitado pelo número de células existentes na área de trabalho que é de 8192; e o número de sinapses possíveis não é limitado pelo programa, entretanto um ciclo simples de propagação de sinais não deve exceder 6000 sinapses;
- Processa a normalização dos valores dos critérios de acordo com os valores máximo e mínimo estabelecidos para o treinamento.

A sua escolha deve-se às seguintes características: possui uma boa interface gráfica para o usuário; possibilita manipulação dos dados para normalização; e permite a inclusão ou exclusão dos neurônios quando se testam as RNA propostas.

Nesta aplicação foram definidas três arquiteturas: na primeira, as variáveis foram agrupadas em função do papel que desempenham na avaliação e obedecendo as três classes definidas. Desta forma, a rede foi desenhada de modo que o índice de desempenho fosse determinado para cada alternativa separadamente. Nesta rede, usou-se apenas uma camada oculta no treinamento (Figura 1).

A segunda arquitetura foi definida tomando-se como base as várias alternativas a serem avaliadas. Assim a RNA passou a ser treinada considerando todas as variáveis de todas as alternativas possíveis. Nesta arquitetura foram definidos cinco índices de desempenho correspondendo a um exemplo máximo de cinco alternativas (Figura 2).

Já a terceira arquitetura foi definida de modo que todas as variáveis recebessem inicialmente o mesmo grau de importância dentro da RNA e apenas um índice de desempenho foi determinado em cada ciclo de aprendizagem (Figura 3).

Variáveis de Avaliação

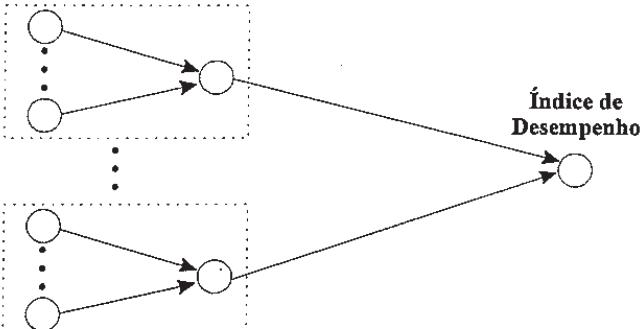


Figura 1 : RNA Tipo 1

Variáveis de Avaliação

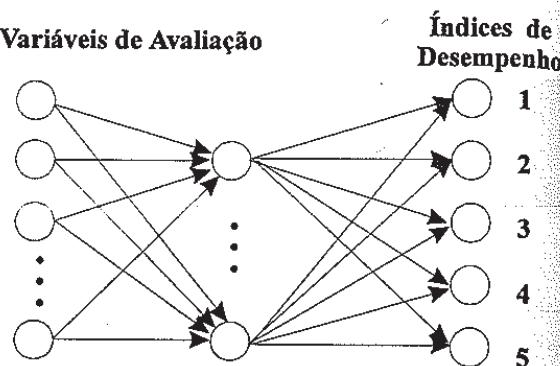


Figura 2 : RNA Tipo 2

Variáveis de Avaliação

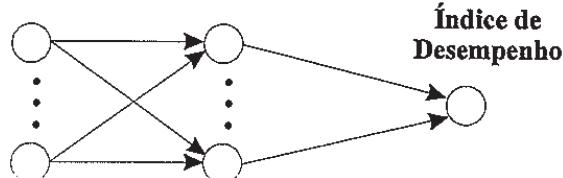


Figura 3 : RNA Tipo 3

3.4. Treinamento e verificação da consistência

O conjunto de teste foi disposto de forma aleatória para treinamento e verificação da consistência. O processo de treinamento nas três redes foi conduzido de modo que a verificação e consistência atingissem a um nível de acerto de pelo menos 95% dos casos. Foram aplicadas nove variações na posição de apresentação dos casos, sendo quatro para cada um dos tipos de rede definidos. Os resultados desta fase estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1
Resultados da Fase de Treinamento e Verificação de Consistência

| Tipo de Rede | Índice Máximo de Convergência na Aprendizagem (%) | Ciclos de Propagação Necessários à Convergência | Tempo de Processamento (segundos) |
|--------------|---|---|-----------------------------------|
| 1 | 96.7 | 541 | 380 |
| 1 | 95.5 | 603 | 412 |
| 1 | 96.4 | 598 | 516 |
| 2 | 95.3 | 400 | 600 |
| 2 | 98.3 | 698 | 1024 |
| 2 | 97.7 | 400 | 398 |
| 3 | 98.0 | 632 | 578 |
| 3 | 97.0 | 589 | 457 |
| 3 | 95.1 | 400 | 603 |

3.5. Validação

Ao final do processo de treinamento e verificação, um segundo conjunto de projetos, constituído de 100 outros projetos que obedeceram as mesmas características dos projetos utilizados para teste e verificação, foi apresentado quatro vezes a cada tipo de rede. Os resultados observados foram os seguintes (Tabela 2):

Tabela 2
Resultados da Validação nos Três Tipos de Rede Propostos

| Tipo de Rede | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Índice de Acerto (%) | 98.4 | 97.6 | 99.4 | 95.7 | 95.5 | 98.3 | 97.6 | 96.4 | 95.8 |

Nota-se que foram apresentados para validação casos com resultados preestabelecidos, com situações onde a avaliação era satisfatória e insatisfatória (ex.: custos maiores que os benefícios) e os resultados na avaliação e ordenamento foram os mesmos definidos para os projetos.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observa-se que os resultados da aplicação do método demonstram que as RNA quando convenientemente treinadas podem simular o papel dos especialistas na avaliação e ordenamento das alternativas para projetos de transporte e, dependendo da complexidade que se deseja obter com o processo de avaliação, um maior número de variáveis (quantitativas e qualitativas) podem ser consideradas em função da capacidade dos simuladores utilizados.

É importante ressaltar que os resultados conduzem à demonstração de que não há necessidade de nenhuma modelagem matemática específica para definição da avaliação e ordenamento das alternativas, uma vez que para a RNA o que interessa são os esquemas de representação e reconhecimento de padrões. Um aspecto que cabe ressaltar é que a RNA simula os padrões de avaliação identificados nos projetos avaliados por especialistas e que servem de base para o seu treinamento. Assim, é imprescindível que as RNA sejam treinadas com um conjunto de projetos bem avaliados.

Por fim, é importante salientar que é necessário montar uma base de dados com projetos avaliados por especialistas, a fim de viabilizar a aplicação da RNA na avaliação de projetos de transportes, isto é, permitindo o processos de treinamento, de verificação de consistência, e também da validação do “modelo de avaliação adotado”. Isto tornará o processo de avaliação mais simples, racional e menos dispendioso.

REFERÊNCIAS

- Bana e Costa, C. (1988) Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. *Investigação Operacional* 8(1), 117-139.
- Bana e Costa, C. e J.C. Vansnick (1997) Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis* 6, 107-114.
- Brega, J.R.F. (1996) A utilização de redes neurais artificiais em um sistema de gerência de pavimentos. Tese de Doutoramento. EESC-USP, São Paulo.
- Carvalho, A.C.P.L.F. (1997). Redes neurais artificiais. In <http://www.icmsc.sc.usp.br/~andre/>, 15/03/97.
- Cassa, J.C.S. e E.D. da Cunha Neto (1996) Previsão de propriedades de materiais de pavimentação através de redes neurais artificiais. *Anais da 30ª. Reunião Anual de Pavimentação*, 24-30 outubro, Salvador.
- Cohon, J.L. (1978) *Multiobjective Programming and Planning*. Academic Press, San Diego.
- Dickey, J.W. e L.H. Miller (1984) *Road Project Appraisal for Developing Countries*. John Wiley & Sons. Chinchester.
- Faghri, A. e J. Hua (1992a) Evaluation of artificial neural network applications in transportation engineering. *Transportation Research Record* 1358, 71-80.
- Faghri, A. e J. Hua (1992b) Trip generation analysis by artificial neural networks. *Proceedings of the 4th International Conference on Microcomputers in Transportation*, Baltimore, 16-18 maio.
- Giuliano, G. (1985) A multicriteria method for transportation investment planning. *Transportation Research* 19A (1), 29-41.
- Goicochea, A., D.R. Hansen e L. Duckstein (1982) *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. John Wiley & Sons, Chinchester.
- Gomez-Ibañez, J.A. e D. Lee (1983). Economic evaluation of highway investments needs. *Transportation Research Record* 940, 21-27.
- Gutierrez, B.S. (1995) Benefit-cost analysis with and without environmental preservation: a modified approach. *Benefit-Cost Analysis* 49, 483-498.
- Haykin, S. (1994) *Neural Networks: a comprehensive foundation*. IEEE Press. Toronto.

- Hua, J. e A. Faghri (1993) Dynamic traffic pattern classification using artificial neural network. *Transportation Research Record* 1399, 14-19.
- Hwang, C.L. e K. Yoon (1981) *Multiple Attribute Decision-making Methods and Applications: A State-of-art Survey*. Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York.
- Jayawardana, J. e D.J. Webre JR (1992) Louisiana-port-priority-program: a application of benefit-cost analysis to project appraisal. *Transportation Research Record* 1511, 26-33.
- Khisty, C.J. (1990) *Transportation Engineering: An Introduction*. Prentice Hall, New Jersey.
- Korhonen, P., H. Moskowitz e J. Wallenius (1992) Multiple criteria decision support: a review. *European Journal of Operational Research* 63, 361-375.
- Lane, J.S., L.R. Grenzeback, T.J. Martin e S.C. Lockwood (1980) The no-action alternative: impact assessment guidelines. *NCHRP Report* 217.
- McFarland, W.F. e J.L. Memmott (1987) Ranking highway construction projects: comparison of benefit/cost analysis with other techniques. *Transportation Research Record* 1116, 45-51.
- Mohring, H. (1993) Maximizing, measuring, and not double counting transportation improvement benefits: a primer on closed-and open-economy cost-benefit analysis. *Transportation Research* 27B (6), 413-424.
- Nakatsuji, T. e T. Kaku (1991) Developing of a self-organizing traffic control system using neural network models. *Transportation Research Record* 1324, 137-145.
- Neuronet (1997). Neural networks software simulators. In <http://www.neuronet.ph.kcl.ac.uk/neuronet/software/software.html>
- Nijkamp, P. e E. Blaas (1994) *Impact Assessment and Evaluation in Transportation Planning*. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Pant, P.D., X. Zhou, R.S. Arudi, A. Bodocsi e A.E. Aktan (1993) Neural-network-based procedure for condition assessment of utility cuts in flexible pavements. *Transportation Research Record* 1399, 8-13.
- Prechelt, L. (1994) PROBEN 1: a set of neural network benchmark problems and benchmarking rules. Technical Report 21/94, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe, Alemania.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie Multicritére d'Aide à La Décision*. Economica, Paris.
- Sinha, K. e D.P. Jukins (1980) Bibliography on project evaluation and priority programming. *Transportation Research Circular* 213.

Taylor, C. e M. Deirdre (1994) Freeway traffic data prediction via artificial neural networks for use in a fuzzy logic ramp metering algorithm. **Proceedings of the Intelligent Vehicles**, 14-17 outubro, Paris.

Wolstenholme, S. (1996) Neural Planner 4.20. Inglaterra. steve@tropheus.demon.co.uk

ANEXO 01
PROJETOS DE AVALIAÇÃO CONSIDERADOS COMO PADRÃO PARA A
PROPOSIÇÃO DOS CASOS HIPOTÉTICOS

| Projeto Base/(Exemplos Gerados) | Tipo de Avaliação/Localização Origem dos Dados |
|--|---|
| P01 – Columbia River Bridge/(6) | Estudo de Capacidade/Vancouver-Portland/ FHWA |
| P02 – The Northeast Corridor/(12) | Estratégias de Desenvolvimento Regional/ Essex-Southampton/U.S. Dept. of Commerce |
| P03 – New York Urban Area Case/(23) | Infra-estrutura de Transportes/New York/ National Strategic Transportation Planning Committee |
| P04 – Tallahassee's Northeast Parkway/(4) | Alternativas para uma Via Expressa/ Florida/Florida Department of Transportation |
| P05 – State Route 261/(13) | Definição de Redes de Transportes/Florida Post, Buckey, Shuh & Jernigan (PBS&J), Inc. |
| P06 – Delaware-St. Lawrence Corridor/(20) | Implantação de uma Nova Rodovia/ Delaware-St. Lawrence/ HRB 5 th Summer Meeting |
| P07 – I-394 Travel Corridor/(19) | Análise Benefício-Custo/Minneapolis/ Minnesota Highway Department |
| P08 – Chicago Crosstown Expressway/(5) | Análise de Alternativas/Chicago/FHWA |
| P09 – The Connecticut Turnpike/(6) | Alternativas de Escoamento de Produção/ Storrs/ University of Connecticut |
| P10 – St. Louis/St. Paul Corridor/(7) | Descrição de Benefícios Econômicos de Alternativas/St.Louis-St. Paul/FHWA |
| P11 – Lake-Cook Road/(15) | Corredor Suburbano/Milwaukee/Barton- Aschman Associates, Inc. |
| P12 – Santa Ana Transportation Corridor/(10) | Estudo de Capacidade/ California/Orange County Transportation District |
| P13 – Buffalo-Amhorst Corridor/(6) | Alternativas de Traçado para Metrô/Buffalo Niagara Frontier Transportation Authority |
| P14 – Route 180/(6) | Alternativas de Traçado Urbano/California/ California Department of Transportation |
| P15 – Route US-50/(9) | Ênfase aos Impactos Ambientais de Alternativas/California/FHWA |
| P16 – Interstate I-75/(13) | Nova Rodovia/Georgia/Georgia Department of Transportation |
| P17 – Interstate I –57(9) | Nova Rodovia/Georgia/Georgia Department of Transportation |
| P18 – Puget Sound Region(17) | Plano Regional de Transportes/ Washington/ Puget Sound Concil of Governments |