



Capitão-Tenente (EN) Marcos William Magalhães L. de Carvalho
Encarregado da Seção de Vistorias, Avaliações e Engenharia Legal DOCM

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).



Primeiro-Tenente (EN) Breno de Almeida Santos Oliveira

Membro da Equipe de Fiscalização das Obras Cíveis Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Mestre em Engenharia Civil (PGECIV) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA ENGENHARIA CIVIL

1. INTRODUÇÃO

As Redes Neurais Artificiais, também conhecidas como RNAs, foram desenvolvidas originalmente na década de 40, pelo neurofisiologista Warren McCulloch do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e pelo matemático Walter Pitts da Universidade de Illinois. Trata-se de um modelo computacional de inteligência artificial de alto desempenho inspirado no sistema nervoso central dos animais.

2. NEURÔNIOS BIOLÓGICOS

O sistema nervoso humano possui dezenas de bilhões de neurônios ligados entre si através de sinapses, formando quase 100 trilhões de conexões que possibilitam transmissões de sinais, traduzindo-se em aprendizagem e associação de informações. Estes neurônios são unidades básicas que transmitem impulsos elétricos, sendo capazes de armazenar e processar informações, conforme ilustrado na Figura 1.

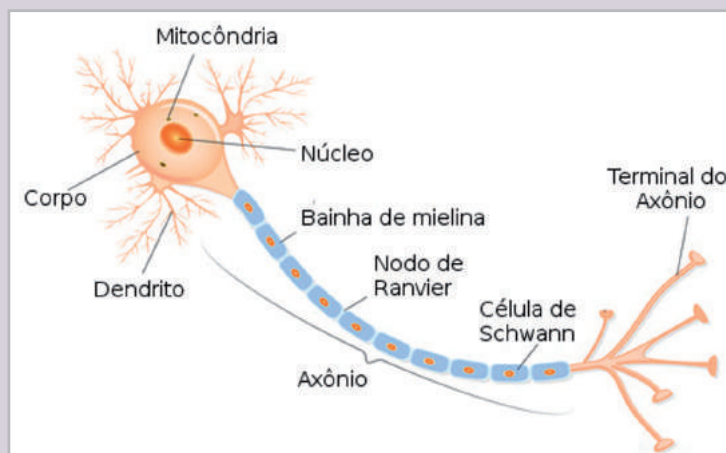


Figura 1 - Estrutura de um neurônio animal: corpo celular e o núcleo, dendritos (terminais de recepção dos sinais), axônio (canal de transmissão de sinais) e terminações sinápticas (<http://www.shutterstock.com/> [adaptado]).

Os neurônios recebem, de forma contínua, impulsos elétricos nas sinapses de seus dendritos provenientes de outros neurônios. Correntes elétricas atravessam o corpo da célula até a zona de disparo no começo do axônio. Os impulsos nervosos são reações físico-químicas que se verificam nas superfícies dos neurônios.

3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Assim como os neurônios biológicos, as RNAs também possuem unidades fundamentais de processamento de dados (nós), de modo a simular o sistema nervoso animal. Um modelo de RNAs pode possuir centenas e até milhares de unidades básicas. As ligações de cada unidade são chamadas de links. Cada unidade é capaz de realizar operações com base nas informações de entrada. Com base nesta interação entre diferentes unidades surge o conceito de "inteligência artificial". Desta maneira, o aprendizado se dá através de exemplos, ou seja, dados reais e práticos que determinam a formulação de regras básicas, Tabela 1.

Características	Computador	Cérebro Humano
Velocidade	Nanosegundo	Milissegundo
Tipo de Processamento	Sequencial	Paralelo
Unidades de Armazenamento	10E+09 bits	10E+14 sinapses
Unidades de Processamento	±1024	10E+11

Tabela 1 - Comparação de características entre o cérebro humano e o computador (BARBOSA, 2004).

Na computação convencional existem comandos específicos. A máquina segue instruções pré-definidas através de uma lógica com operações booleanas. Os processos são lineares e os algoritmos de programação definem e limitam as ações. Nas RNAs, por sua vez, introduz-se o conceito dos perceptrons capazes de aprender funções novas. A lógica, neste caso, baseia-se em processos múltiplos e paralelos de programação por aprendizado.

Os neurônios artificiais são fundamentados no modelo matemático apresentado na Figura 2. As entradas X_1 (analógicas ou discretas) são ponderadas por um peso sináptico W_{k1} e aglutinadas através de uma função de combinação que, por sua vez, transmite o sinal μ_k para a função não linear de ativação que fornece a resposta final do elemento de processamento Y_k . Esta função enquadra-se, basicamente, em três classes distintas: função sinal, função linear por partes e função sigmoideal (mais utilizada), de acordo com a Figura 2.

As RNAs envolvem relações de entrada e saída e estão associadas à capacidade de assimilação, associação e aprendizado do cérebro humano. Correspondem a sistemas capazes de tomar decisões perante situações inesperadas e ambientes desconhecidos, operando de forma autônoma e com algoritmos de aprendizagem contínua, desenvolvendo, portanto, tarefas com alto nível cognitivo. As Redes Neurais Artificiais se diferem de uma simples programação de computadores com rotinas definidas.

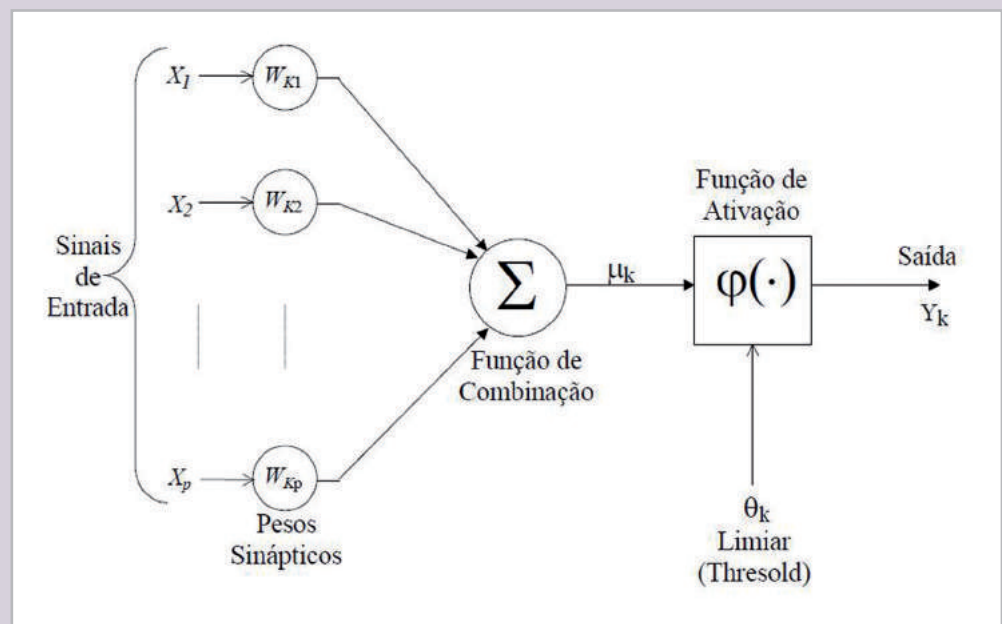


Figura 2 - Estrutura básica de um neurônio artificial (HAYKIN, 2001).

Em seguida, a Figura 3 apresenta uma arquitetura básica onde os neurônios artificiais são organizados em duas ou mais camadas, formando as chamadas Redes Neurais Multicamadas. Neste caso, a camada de entrada (que não realiza nenhum tipo de processamento) distribui os dados para a primeira camada. Estas, por sua vez, interconectam-se com os elementos das camadas mais elevadas.

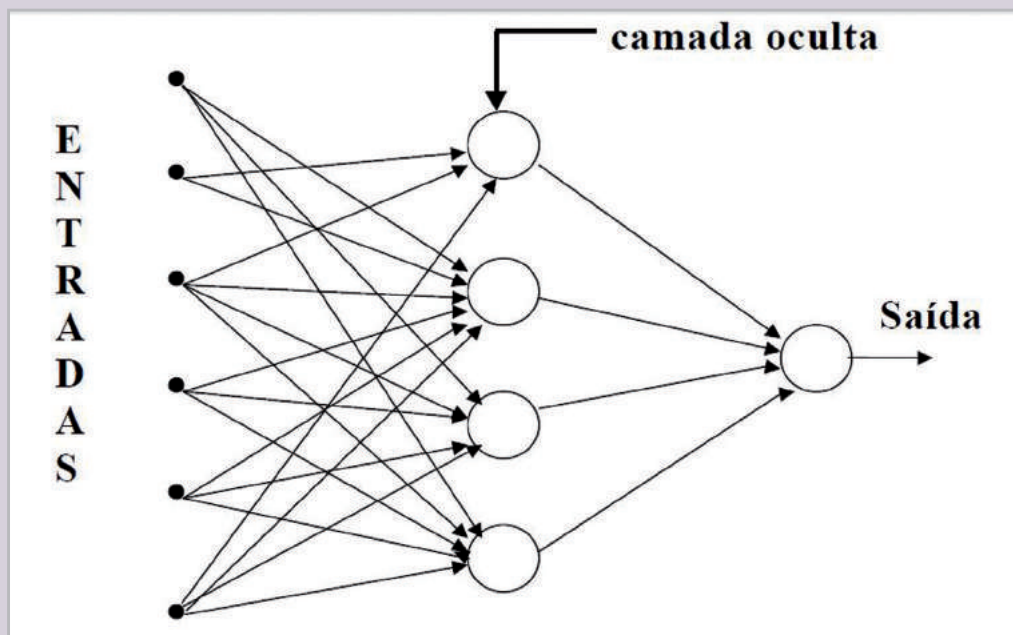


Figura 3 - Redes Neurais Multicamadas

Em séries temporais de dados, as Redes Neurais Multicamadas representam um modelo eficiente para o reconhecimento de padrões, classificação, mineração de dados, aproximação de funções e previsão de séries temporais, apontando características marcantes tais como a existência de ciclos, sazonalidades, tendências e mesmo periodicidades.

Cabe ressaltar que em comparação com os modelos tradicionais de previsão de séries temporais (modelos determinísticos e estocásticos) e de modelos de regressão múltipla, as RNAs apresentam um bom desempenho. Todavia, convém chamar a atenção para o fato de que para que um modelo estatístico possa ser considerado confiável, tal modelo necessita de uma grande variedade de parâmetros observados.

A partir da década de 80, as RNAs difundiram-se rapidamente no meio científico, representando, atualmente, um excelente meio de modelagem de sistemas complexos e não lineares. Inúmeros trabalhos de pesquisa têm desenvolvido ferramentas para aplicação das RNAs em diferentes campos de conhecimento, inclusive na indústria e nos negócios.

4. APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

Na Engenharia Civil, o uso das ferramentas das RNAs ainda é bastante recente. Nos últimos anos, esta estratégia de modelagem matemática vem ganhando um espaço cada vez maior devido à sua praticidade. As Redes Neurais têm fornecido resultados confiáveis em diversos setores de pesquisa envolvendo sistemas complexos utilizados em áreas como Hidrologia, Geotecnia, Estruturas, Engenharia de Transportes e Gerenciamento de Obras Civis.

4.1 HIDROLOGIA

As RNAs possuem uma grande importância no gerenciamento de recursos hídricos, influenciando diretamente na geração de energia elétrica (em trabalhos de otimização e simulação) e atividades agrícolas e industriais. Na Hidrologia, as RNAs são bastante úteis no tratamento estatístico de problemas que envolvem séries numéricas e variáveis hidrológicas de vazão de rios (dados fluviométricos), regimes pluviométricos, níveis de reservatórios etc. Além disso, as RNAs podem ser empregadas, também, para projeções climáticas, pois assim como nos modelos matemáticos tradicionais, as Redes Neurais permitem a formulação de modelos de previsão.

Deste modo, a Figura 4 ilustra um exemplo de alguns resultados apresentados por MONTENEGRO et al. (2010), onde podem ser comparadas as vazões semanais de rios previstas através das RNAs e as vazões observadas para o ano de 2000 para a área a montante do Reservatório de Três Marias da Bacia do Rio São Francisco. Na sequência, a

Figura 5 apresenta um comparativo entre o índice pluviométrico da cidade de Fortaleza/CE e os resultados das previsões utilizando RNAs, ao longo

de 40 meses, com base no emprego de uma série dessazonalizada (suavizada).

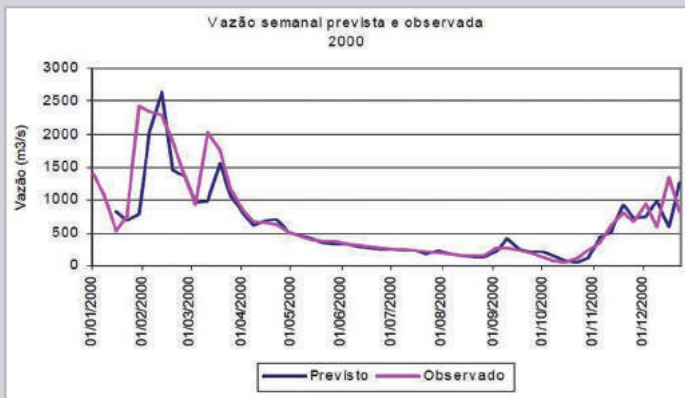


Figura 4 - Vazão semanal prevista e vazão verificada (MONTENEGRO et al., 2010)

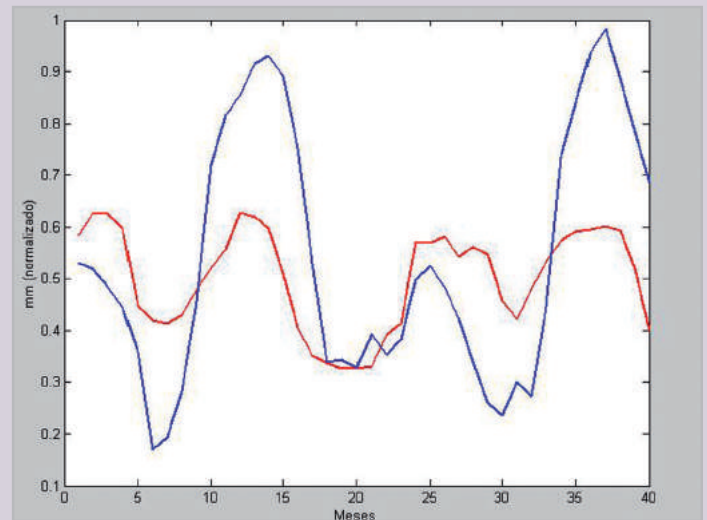


Figura 5 - Pluviometria prevista e verificada, considerando uma série dessazonalizada (BATTAGELLO et al., 2012)

4.2 GEOTECNIA

No campo da Geotecnia, as RNAs são bastante úteis, principalmente, para emprego em modelos de alerta de deslizamentos, como ilustrado pela Figura 6, os quais permitem a previsão de movimentos de massas de terra, que atualmente constituem causas bastante frequentes de perdas humanas e econômicas. Por esta razão, a determinação da ameaça por movimentos em massas e a capacidade de prever estes eventos têm sido um tema de grande interesse para a comunidade científica.



Figura 6 - Deslizamentos de terra em Ilha Grande, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

Outra aplicação importante das RNAs em Geotecnia se dá na classificação de solos, como, por exemplo, na modelagem constitutiva das areias e na aproximação de equações complexas. O trabalho com materiais de origem natural, tal como o solo, sempre foi uma questão de grande complexidade devido à grande variabilidade de suas propriedades físicas e por terem seu comportamento influenciado por diversos fatores, tais como: composição granulométrica e mineralógica, umidade, índice de vazios, estado de tensões, entre outros.

Na medida em que se conhece o comportamento desses materiais, maior controle e confiabilidade se tem em relação ao projeto e à obra, resultando assim em soluções de melhor qualidade técnica e maior viabilidade econômica. Com o passar do tempo, as teorias clássicas de mecânica do contínuo sofreram algumas modificações a fim de se adaptarem a solos e rochas, porém as equações originadas desse processo se tornaram cada vez mais complexas fazendo com que as soluções precisassem de métodos aproximados, tais como a utilização de Redes Neurais Artificiais. Alguns exemplos de utilização das RNAs se dão na classificação de solos na modelagem constitutiva das areias e na simulação da relação tensão-deformação dos solos.

4.3 ENGENHARIA ESTRUTURAL

As RNAs podem ser empregadas, por exemplo, na avaliação de danos estruturais. Sistemas estruturais em suas variadas aplicações, incluindo-se veículos espaciais, automóveis e estruturas de engenharia civil, tais como prédios, pontes e plataformas de petróleo off-shore, acumulam dano durante suas vidas úteis. Em muitas situações, tal dano pode não ser visualmente observado. Do ponto de vista da segurança e do desempenho da estrutura torna-se desejável monitorar esta possível ocorrência, localizá-la e quantificá-la.

Deste modo, as RNAs identificam e quantificam o estágio do dano na estrutura, através

do aprendizado da relação causa-efeito, com base na presença dos defeitos e na variação da resposta estrutural dinâmica. O vetor de entrada das RNAs pode ser formado a partir dos valores das frequências naturais experimentais da estrutura, enquanto que o vetor de saída pode ser formado pelos níveis de falha existentes. A detecção de danos é muito importante para a adoção de medidas corretivas para garantir a segurança estrutural e para o cálculo da vida útil da estrutura.

As RNAs podem ser empregadas em conjunto com o Método de Simulação Direta de Monte Carlo, envolvendo avaliação de probabilidades de falha. Esta abordagem de natureza probabilística inclui o efeito de variabilidade espacial de suas propriedades (não lineares), frente à aleatoriedade das propriedades estruturais e de carregamento. Este tipo de problema envolve um grande número de variáveis aleatórias, por exemplo, na análise de treliças e pórticos planos e espaciais. As RNAs em conjunto com os Algoritmos Genéticos podem ser utilizados na otimização de estruturas reticuladas, na avaliação da melhor disposição das variáveis de projeto através da minimização ou maximização de funções objetivo.

4.4 ENGENHARIA DE TRANSPORTES

No âmbito da Engenharia de Transportes, as RNAs aplicam-se principalmente na resolução de problemas envolvendo logística, planejamento e operação de transportes, por exemplo, para a estimativa de matrizes de origem-destino de carga. Esta aplicação foi realizada de forma pioneira por DOUGHERTY (1995). O autor analisou e listou os tipos de redes neurais mais eficientes, apontando os erros mais comuns e indicando os principais obstáculos para o desenvolvimento de modelos para Engenharia de Transportes.

Em seu trabalho de pesquisa, DOUGHERTY (1995) listou as principais aplicações das RNAs para a área de Transportes, no que diz respeito ao comportamento dos motoristas, classificação

e detecção de veículos, controle de tráfego, manutenção de pavimentos, transporte de cargas e logística, análise de padrão de tráfego etc. Cabe ressaltar que estes modelos matemáticos podem ser aplicados, também, nos setores de transportes rodoviários, aquaviários, ferroviários e aéreos.

Na engenharia de tráfego rodoviário, as RNAs podem resolver de forma eficiente problemas envolvendo matrizes origem-destino (OD) que são utilizadas para previsão de fluxo de trânsito. As RNAs oferecem boas opções para a manutenção de pavimentos, oferecendo diagnósticos e prognósticos. Neste caso, são usados processamentos de imagens de superfícies rodoviárias. No setor aquaviário, por sua vez, as Redes Neurais são bastante úteis para o controle de tráfego em ambientes confinados (canais).

Em seguida, a Figura 7 apresenta uma das aplicações das RNAs no planejamento de transportes para a estimativa de um índice potencial de viagens a partir de variáveis de mobilidade e acessibilidade. Neste gráfico ilustrado pela Figura 7 apresenta-se uma comparação onde são plotados concomitantemente resultados observados e resultados previstos nas RNAs para um conjunto teste. A linha reta representa a distribuição ideal dos pontos no gráfico, o que fornece uma idéia da dispersão dos erros do método utilizado.

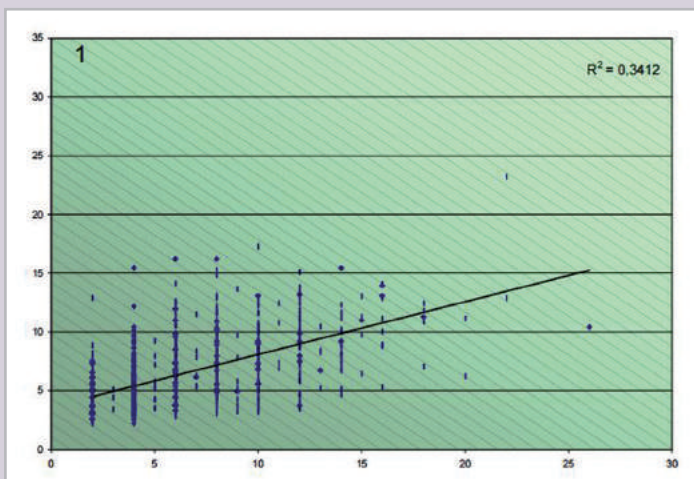


Figura 7 - Gráfico de dispersão entre o número de viagens observadas e o de viagens previstas pelas RNAs (RAIA JUNIOR, 2000)

4.5 GERENCIAMENTO DE OBRAS CIVIS

Os diversos fatores que devem ser levados em conta no gerenciamento de operações no canteiro de obras não são totalmente conhecidos quando se faz previamente a programação da obra, de tal forma que uma tomada de decisão pelos engenheiros é uma tarefa de grande complexidade. Assim sendo, diversas técnicas computacionais têm sido empregadas, tais como simulação e programação matemática, partindo-se de modelos já consagrados como CPM e LOB.

As limitações e deficiências destas técnicas, quando aplicadas ao problema do gerenciamento da construção, têm implicado em resultados divergentes da realidade dos canteiros de obra, sendo essas técnicas, razoavelmente aplicadas em modelos de programação que somente são alimentados a posteriori pelos fatos observados no canteiro de obras. Tal fato tem gerado estudos que visam descrever um modelo de planejamento de obras baseado no emprego das RNAs para planejar os serviços e operações nos canteiros de grandes obras, subsidiando assim, a tomada de decisão pelos engenheiros e supervisores, dessa forma, contribuindo para minimizar os efeitos devido às imprevisibilidades tão comuns na construção civil.

Para tal, faz-se necessário que sejam identificados os diversos fatores (quantitativos e qualitativos) que mais interferem na tomada de decisões para a execução das operações. Estes fatores representariam as entradas da RNA, o que implica necessidade de que se tenha um banco de dados resultantes do acompanhamento na execução de obras passadas, nas diversas condições de gestão desejadas. Os dados coletados alimentariam a rede neural, a qual, após ser efetivamente treinada, teria condições de auxiliar na tomada de decisões.

5. CONCLUSÃO

Os modelos baseados em Redes Neurais Artificiais apresentam inúmeras contribuições positivas para a Engenharia Civil. Dentre algumas das vantagens das RNAs pode-se citar a capacidade de auto aprendizado com conhecimentos adquiridos na tomada de decisões, a rapidez e o custo reduzido na implementação computacional, a imunidade às falhas, devido à operação em paralelo das unidades de processamento, a capacidade de generalização, mesmo com dados incompletos e imprecisos, a imunidade a ruídos (erros) e a grande adaptabilidade com aplicações de tempo real. Por outro lado, as RNAs também podem apresentar algumas desvantagens como, por exemplo, a necessidade de um grande volume de dados históricos para se desenvolver um bom aprendizado, a demora no treinamento e necessidade de tratamento prévio dos dados. Neste caso, dados com uma qualidade ruim, certamente podem produzir resultados insatisfatórios.

Cabe ressaltar que na Engenharia Civil, as RNAs possuem aplicações bastante relevantes em diversas áreas de pesquisa. Na Hidrologia, modelos de previsão de chuvas e vazões de rios são úteis em políticas de planejamento de recursos hídricos e no dimensionamento de reservatórios para aproveitamento hidroelétrico. Em Geotecnia, por sua vez, destacam-se as ferramentas para classificação de solos e sistemas de alertas contra escorregamentos. Na Engenharia Estrutural, destacam-se os modelos de detecção de falhas estruturais e otimização de projetos. Na Engenharia de Transportes, as RNAs são muito úteis em sistemas logísticos de planejamento e operação de transportes, enquanto que no setor de Planejamento de Obras Civas as ferramentas aplicam-se de forma eficiente e eficaz na gestão de canteiros de obras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, A.T.R: Mecanismo de Adaptação Baseado em Redes Neurais Artificiais para Sistemas Hipermédia Adaptativos. Tese Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina/SC, 2004.
- HAYKIN, S.: Redes Neurais: Princípios e Prática. Bookman Editora, 2001.
- MONTENEGRO, GOMES, L. F. C., S. M. G. L., VALENÇA, M. J. S. Modelo Baseado na Técnica de Redes Neurais para Previsão de Vazões na Bacia do Rio São Francisco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 15(1), 05-15, 2010.
- BATTAGELLO, V.A., CORDEIRO, M.X., DAL PINO Jr, A.: Redes Neurais Aplicadas à Previsão de Séries Temporais. Divisão de Ensino Fundamental. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.
- DOUGHERTY, M.: A Review of Neural Networks Applied to Transport. Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. Vol. 3(4), pp. 247-260, 1995.
- RAIJA JUNIOR, A.A.: Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas. Tese Doutorado em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo (USP). São Carlos/SP, Brasil, 2000.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Participaram como coautores do presente artigo os Professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UERJ.



Professor José Guilherme Santos da Silva

Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PGECIV) da Faculdade de Engenharia (FEN) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e Pós-doutor no Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), no âmbito do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCTUC) da Universidade de Coimbra (UC).



Professor Francisco José da Cunha Pires Soeiro

Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PGECIV) da Faculdade de Engenharia (FEN) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Graduado em Engenharia Mecânica e de Automóveis pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), Mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) e Doutor em Engineering Sciences pela Universidade da Flórida.