

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM RCD

**Jean de Oliveira Pinheiro¹; Koji de Jesus Nagahama²; Anderson de Souza Matos
Gadéa³; Mônica Batista Leite⁴**

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), e-mail: jean_opinheiro@hotmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia (DTEC), UEFS, e-mail: kjnagahama@gmail.com
3. Participante do projeto “Controle dos parâmetros responsáveis pela variabilidade dos agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) com vistas à transferência tecnológica para a sua utilização em concretos e argamassas”, DTEC, UEFS, e-mail: agadea@gmail.com
4. Coordenadora do projeto “Controle dos parâmetros responsáveis pela variabilidade dos agregados de resíduos de construção e demolição (RCD) com vistas à transferência tecnológica para a sua utilização em concretos e argamassas”, DTEC, UEFS, e-mail: mleite.uefs@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Rede Neural Artificial (RNA), Resíduos de Construção e Demolição (RCD), concreto reciclado.

INTRODUÇÃO

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) contribui de forma significativa para a minimização dos impactos ambientais produzidos pela extração de recursos naturais e geração de resíduos sólidos da construção civil. Além disso, o processamento dos RCD é quase semelhante ao processamento utilizado para os agregados naturais (HANSEN, 1992; QUEBAUD, 1996; PIETERSEN *et al.*, 1998), apresentando custos de produção menores.

Os RCD representam um significativo percentual dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas, os quais devem ser destinados corretamente pelos seus geradores (CONAMA, 2002). Uma das formas de destino é o beneficiamento desse material para ser utilizado como agregado reciclado, por exemplo, na produção de concretos aplicáveis às obras de engenharia.

A variabilidade do RCD é a grande limitação da sua utilização na construção civil. Segundo Lima (1999), “o reciclado produzido atualmente no país não apresenta uniformidade e possivelmente não atende às exigências quanto às características físicas e químicas que garantam sua qualidade e durabilidade quando aplicado em concretos estruturais”, devido à variabilidade na composição do mesmo.

Modelos baseados em dados experimentais podem prever, com uma faixa de erro aceitável, a influência do agregado de RCD no comportamento de concretos. As técnicas de inteligência artificial são ferramentas capazes de prever as propriedades de um material satisfatoriamente a partir de parâmetros de entrada que influenciam nestas propriedades. Dentre as técnicas de inteligência artificial, têm-se as redes neurais artificiais (RNA), que podem ser aplicadas em tarefas em que se tem uma base de dados de um problema específico e são ferramentas capazes de aprender através de exemplos. Segundo Braga (2000), a modelagem é realizada através da utilização de valores de entrada e de saída, sem que haja muitas limitações na quantidade das variáveis de entrada.

Pesquisas realizadas por Hong-Guang (2000), Öztas (2005), Demir (2007), Yeh (2007) e Topçu (2007) mostram que as RNA podem modelar, precisamente, relações complexas e não lineares entre parâmetros físicos e mecânicos, como, por exemplo, os que afetam a resistência à compressão dos concretos. Para a predição, constroem-se modelos a partir de observações, os quais podem ser bastante complexos, na medida em que se considera uma grande quantidade de variáveis.

No estudo realizado por Leite (2001), no qual se avaliam as propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD, utilizou-se uma análise de regressão linear múltipla ponderada dos resultados dos ensaios, obtendo-se um modelo

matemático para resistência à compressão. A confiabilidade do modelo foi medida pelo valor de R^2 , que foi igual 0,919.

Neste trabalho, o objetivo principal foi determinar a resistência à compressão de concretos produzidos com RCD.

METODOLOGIA

Neste trabalho, coletaram-se os dados experimentais do trabalho realizado por Leite (2001), no qual se obteve a resistência à compressão (variável de resposta) de concretos contendo RCD, aos 3, 7, 28 e 91 dias. Para a obtenção dessa variável, definiram-se as seguintes variáveis de entrada: relação água/cimento (FAC), porcentagem de agregado miúdo reciclado (PAM), porcentagem de agregado graúdo reciclado (PAG) e idade do concreto (IDE).

As RNA são do tipo feedforward multicamadas, com arquitetura composta por quatro neurônios na camada de entrada, referentes às variáveis: FAC, PAM e PAG e IDE, e um neurônio na camada de saída, referente ao valor da resistência à compressão (FC) de concretos contendo RCD (Figura 1).

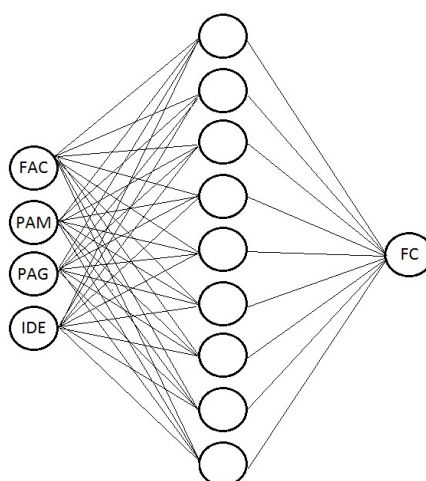


Figura 1 – Arquitetura da RNA utilizada no estudo

Utilizou-se uma camada oculta, alterando-se o número de neurônios dessa camada sem que fosse excedido o valor de nove neurônios, obedecendo-se ao Teorema de Kolmogorov-Nielsen (KOVÁCS, 1996). A função de ativação utilizada na camada oculta foi sigmoideal, enquanto que na camada de saída usou-se função linear.

Utilizou-se um total de 479 dados, dos quais 83,3% foram utilizados no treinamento da RNA e os outros 16,7% para a validação dos resultados.

Na modelagem da RNA, o algoritmo de aprendizado back-propagation foi associado ao algoritmo de treinamento Resilient Backpropagation, que é o mais rápido algoritmo em problemas de reconhecimento de padrões e necessita de um pequeno armazenamento de memória (DEMUTH e BEALE, 2002). O treino da rede foi realizado iterativamente até o total de 1000 épocas, calculando-se os erros, até atingir o valor estimado de 10^{-8} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada RNA foi treinada 20 vezes, para que o melhor resultado fosse selecionado. Obteve-se a maior confiabilidade, ou seja, o maior valor de R^2 (igual a 0,936), quando se utilizaram nove neurônios na camada oculta. Em seguida, realizou-se o teste da rede, com os resultados do banco de dados que não foram utilizados no treinamento. Nessa etapa, obteve-se um valor de R^2 igual a 0,991. A Figura 2 mostra o gráfico de desempenho, ilustrando o erro de

predição da resistência à compressão de concretos contendo RCD, na fase de treinamento (a) e teste (b), respectivamente.

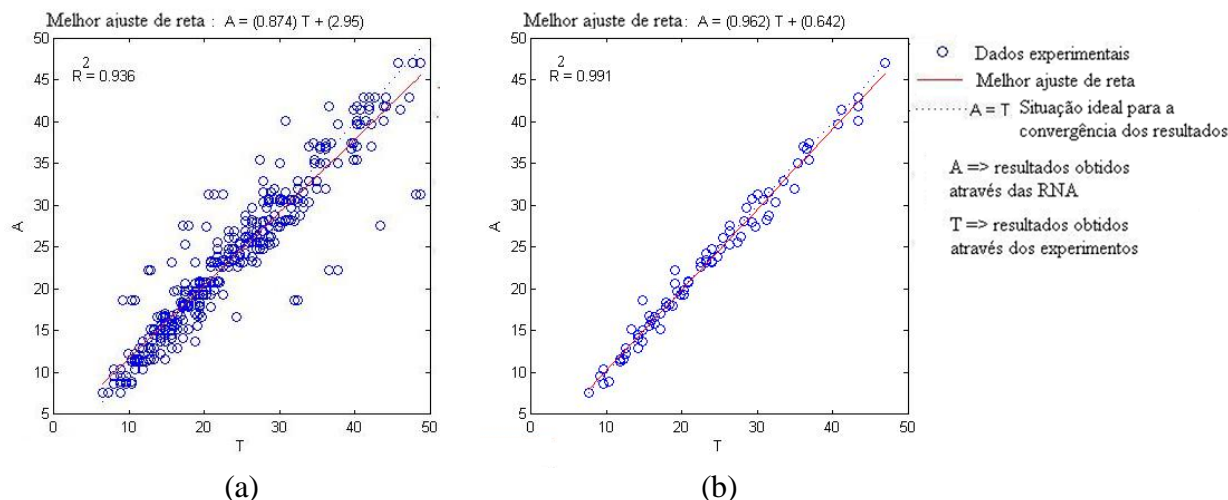


Figura 5 – Desempenho da RNA que prevê a resistência à compressão de concretos contendo RCD, na fase de treinamento (a) e teste (b), respectivamente.

O modelo de regressão múltipla ponderada dos resultados da resistência à compressão de concretos contendo RCD, obtido por Leite (2001), é caracterizado por um R^2 igual a 0,919, o que permite inferir que a RNA representa um forte potencial na predição da resistência à compressão de concretos contendo RCD, uma vez que o R^2 obtido pela RNA foi 0,936.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, os valores de resistência à compressão previstos a partir da RNA são muito próximos dos resultados experimentais, obtidos por Leite (2001). Além disso, o modelo de RNA apresenta uma maior confiabilidade que o modelo de regressão múltipla obtido no trabalho de Leite (2001). Os valores do parâmetro estatístico R^2 evidenciam esta situação.

Conclui-se assim que o modelo de RNA utilizado indica boa precisão da previsão para a propriedade de resistência à compressão de concretos contendo RCD, considerando-se os dados experimentais obtidos por Leite (2001). O modelo de RNA pode ainda incorporar parâmetros adicionais, resultando em menores dispersões dos valores previstos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à FAPESB, à CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, A.P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2000.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução N. 307 de 05 de julho de 2002.
- DEMIR, F. **Prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete by artificial neural networks**. Construction and Building Materials, n. 22, 2008, p. 1428-1435.
- DEMUTH, H.; BEALE, M. **Neural Network Toolbox – For Use with MATLAB**. The Math Works, 2002

- HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete. (RILEM TC Report 6).
- HONG-GUANG, N.; JI-ZONG, W. **Prediction of compressive strength of concrete by neural networks**. Cement and Concrete Research, n. 30, 2000, p. 1245-1250.
- KOVÁCS, Z. L. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo, Ed. Collegium Cognito e Edição Acadêmica, 1996.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 270p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 1999. 246p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ÖZTAS, A.; PALA, M.; ÖZBAY, E.; KANCA, E., ÇAGLAR, N.; BHATTI, M. A. **Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network**. Construction and Building Materials, n. 20, 2006, p. 769-775.
- QUEBAUD, M. R.; ZAHARIEVA, R.; WIRQUIN, E.; BUYLE-BODIN, F. Influência do teor em agregados proveniente da reciclagem de materiais de demolição (agregados reciclados) na permeabilidade do concreto, **41º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo, IBRACON, 1999.
- PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. L. A. Performance of concrete with recycled aggregates, **Materials And Technologies For Sustainable Construction – Cib World Building Congress**. Gävle, Sweden, 1998.
- TOPÇU, I. B.; SARIDEMIR, M. **Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic**. Computational Material Science, n. 41, 2008, p. 305-311.
- Yeh, I. **Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks**. Cement and Concrete Research, n. 29, 2007, p. 474-480.