

## PREDIÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM RCD

**Brunelle de Oliveira Santos<sup>1</sup>; Koji de Jesus Nagahama<sup>2</sup>; Mônica Batista Leite<sup>3</sup>; Adriana Trocoli Abdon Dantas<sup>4</sup>**

1. Bolsista PIBIC-AF/CNPq, Graduada em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), e-mail:

[brunawek@hotmail.com](mailto:brunawek@hotmail.com)

2. Orientador, Departamento de Tecnologia (DTEC), UEFS, e-mail: [kjnagahama@gmail.com](mailto:kjnagahama@gmail.com)

3. 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](mailto:mleite.uefs@gmail.com)

4. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECEA), DTEC, UEFS, e-mail:

[adrianatrocoli@gmail.com](mailto:adrianatrocoli@gmail.com)

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

### INTRODUÇÃO

Do ponto de vista experimental, o procedimento para a determinação do módulo de elasticidade é muito complicado quando comparado a ensaios de resistência à compressão (DEMIR, 2008; DEGHAN *et al.*, 2010). Segundo Mehta e Monteiro (2008), o engenheiro deve conhecer o módulo de elasticidade do material, pois, em materiais heterogêneos, como o concreto, o módulo representa a tensão máxima permitida antes de o material sofrer deformação permanente.

Estimativas dos valores de módulo de elasticidade de concretos são utilizados em trabalhos de engenharia, utilizando-se abordagens teóricas ou empíricas (DEMIR, 2008). Baalbaki (1992) e Mesbah (2002), por exemplo, realizaram a predição do módulo de elasticidade em concretos de alta resistência, enquanto que Leite (2001), Cabral (2007) e Lovato (2007), estimaram valores do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD a partir de uma regressão múltipla de resultados experimentais.

Neste trabalho, pretende-se utilizar uma técnica de Inteligência Artificial para a predição do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, utilizando-se os dados obtidos do trabalho de Leite (2001).

Os agregados reciclados apresentam composição bastante heterogênea, uma vez que são constituídos por argamassa, concreto, cerâmica e rocha natural, em diferentes percentuais. Segundo Lima (1999), a variabilidade do RCD é um grande limitador para a utilização do RCD na construção civil, pois os resultados dos estudos perdem a capacidade de serem aplicados para diferentes amostras de resíduos.

Considerando-se então, que a determinação do módulo de elasticidade apresenta vários complicadores, e, ainda, que o trabalho com RCD também se torna difícil, devido à sua variabilidade, é necessária a adoção de uma técnica mais aperfeiçoada para lidar com essas dificuldades.

As redes neurais artificiais (RNA), que são técnicas de Inteligência Artificial, podem ser aplicadas em tarefas em que se tem uma base de dados de um problema específico. As RNA são ferramentas capazes de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida, o que as tornam um atrativo para a solução de problemas (BRAGA *et al.*, 2000).

Estudos de Demir (2008) mostram que as RNA podem modelar, precisamente, relações complexas e não lineares entre parâmetros que afetam o módulo de elasticidade dos concretos de alta resistência inicial. 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 o módulo de elasticidade. A confiabilidade do

modelo foi medida pelo valor de  $R^2$  igual a 0,782. Acredita-se que, com a obtenção de um modelo de RNA, é possível ter melhor confiabilidade, ou seja, maior valor de  $R^2$  que no modelo de regressão múltipla obtido por Leite (2001).

Desse modo, o objetivo deste trabalho é prever o módulo de elasticidade de concretos produzidos com RCD.

## METODOLOGIA

Os dados experimentais utilizados neste trabalho foram coletados do trabalho de Leite (2001). O RCD utilizado por Leite (2001) é constituído, em média, por: 28,3% de argamassa, 15,2% de concreto, 26,3% de material cerâmico, 12,7% de arenito 17,1% de outros tipos de rocha e 0,39% de outros tipos de materiais.

Para a modelagem da RNA utilizada para prever o módulo de elasticidade (EC) de concretos contendo RCD, que é a variável de resposta, foram utilizados os seguintes parâmetros de entrada: fator água/cimento (FAC), porcentagem de agregado miúdo reciclado (PAM) e porcentagem de agregado graúdo reciclado (PAG). Os intervalos de valores e as unidades dos parâmetros de entrada e da variável de saída encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Intervalos de valores e unidades das variáveis de entrada e de saída

Variáveis	Variação	Unidade
PAG	0-100	%
PAM	0-100	%
FAC	0,4-0,8	-
EC	6,9-33,4	GPa

Redes neurais do tipo feedforward multicamadas foram utilizadas com uma topologia composta por três neurônios na camada de entrada, referentes às variáveis: FAC, PAM e PAG, e um neurônio na camada de saída, referente ao valor do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD (Figura 1). Apenas uma camada oculta foi utilizada, e o número de neurônios dessa camada variou de um a sete, obedecendo-se ao Teorema de Kolmogorov-Nielsen (KOVÁCS, 1996). Na camada oculta, a função de ativação utilizada foi sigmoideal, enquanto que na camada de saída foi linear.

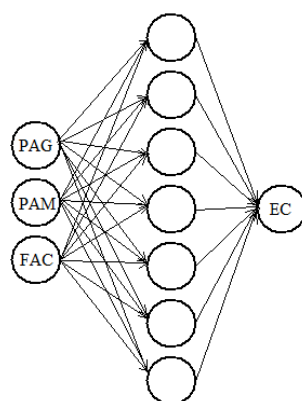


Figura 1 – Arquitetura de RNA utilizada neste trabalho

Um total de 60 dados foi utilizado, dos quais 75% foram utilizados no treinamento da RNA e os outros 25% para o teste dos resultados.

Na modelagem da RNA, utilizou-se o algoritmo de aprendizado back-propagation, associado ao algoritmo de treinamento Resilient Backpropagation, que é o algoritmo mais

rápido para 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  $10^{-8}$ , sendo cada RNA treinada 20 vezes, para que o melhor resultado fosse selecionado. A rede que apresentou o maior valor de  $R^2$  é a que possui a maior confiabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se a maior confiabilidade, medida pelo valor de  $R^2$  (igual a 0,839), quando sete neurônios foram utilizados na camada oculta. A Figura 2 mostra o desempenho da rede, ilustrando a predição do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, na fase de treinamento (a) e na fase de teste dos resultados (b), com um valor de  $R^2$  igual a 0,943.

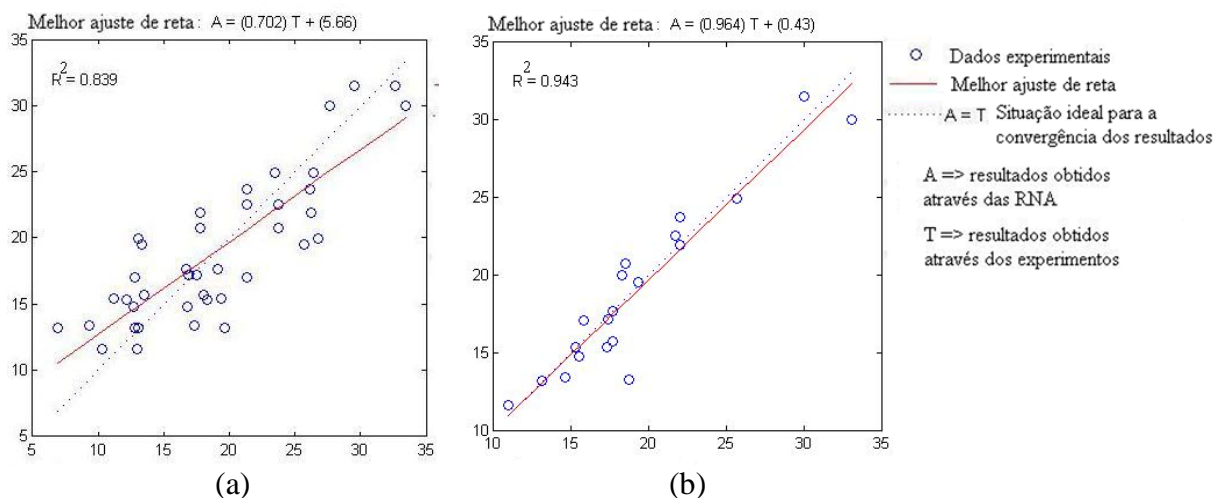


Figura 2 - Desempenho da RNA que prevê o módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, na fase de treinamento (a) e teste (b)

O modelo de regressão múltipla ponderada dos resultados do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, obtido por Leite (2001), é caracterizado por um  $R^2$  igual a 0,782, o que permite inferir que a RNA representa um forte potencial na predição do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, uma vez que o  $R^2$  obtido pela RNA foi 0,839.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a análise em RNA indica uma boa correlação entre os parâmetros de entrada: PAG, PAM e FAC, e a variável de resposta, que é o módulo de elasticidade (EC). O coeficiente de correlação obtido foi igual a 0,839, representando uma forte relação entre os parâmetros.

A utilização de RNA mostrou ser capaz de fornecer melhores estimativas do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, comparativamente aos resultados do modelo de regressão múltipla obtido por Leite (2001), o que pode ser evidenciado pelos valores do parâmetro estatístico  $R^2$ .

Conclui-se, assim, que o modelo de RNA utilizado indica boa precisão da previsão para a propriedade de módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, considerando-se os dados experimentais obtidos por Leite (2001).

## 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

- BAALBAKI W.; AITCIN P. C.; BALLIVY G. **On prediction modulus of elasticity in high-strength concrete**. ACI Mater J, n. 89, 1992, p. 517-520.
- BRAGA, A.P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2000.
- CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. São Carlos, 2007. 280p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- DEGHAN, S.; SATTARI Gh.; CHEHREH CHELGANI S.; ALIABADI M. A. **Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks**. Mining Science and Technology, n. 20, 2010, p. 0041-0046.
- 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
- 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.
- LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. Porto Alegre, 2007. 182p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Editora IBRACON, 2008. 674 p.
- MESBAH H. A.; LACHEMI M.; AITCIN P. C. **Determination of elastic properties of high-performance concrete at early ages**. ACI Mater J, n. 99, 2002, p.37-41.