

# UMA REVISÃO DA APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL EM DETECÇÃO DE DANO ESTRUTURAL

Jesús Daniel Villalba Morales<sup>1</sup> & José Elias Laier<sup>2</sup>

## Resumo

*O problema de detecção de dano é considerado de difícil solução por envolver um espaço de busca complexo e medições incompletas e ruidosas. Neste trabalho apresenta-se como poderiam ser aplicadas diversas técnicas de inteligência computacional em detecção de dano considerando as mudanças na resposta dinâmica da estrutura entre as condições com e sem dano. Primeiro, mostra-se como configurar uma rede neural artificial do tipo perceptron multicamada para localizar e quantificar dano em uma estrutura. Na sequência, apresenta-se a formulação do problema de detecção de dano como um problema de otimização e a forma como é resolvido utilizando metaheurísticas. Algumas observações sobre a aplicação de ambas as técnicas, redes neurais e metaheurísticas, são realizadas.*

*Palavras-chave: Detecção de dano. Parâmetros dinâmicos. Inteligência Computacional.*

## A REVIEW OF THE APPLICATION OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN STRUCTURAL DAMAGE DETECTION

### Abstract

*The damage detection problem is considered of hard solution as involves a complex search space and complete and noise measurements. This paper presents the guidelines to apply different computational intelligence techniques in damage detection considering the changes in the dynamic response of the structure for the undamaged and damaged condition. It is shown how to configure a multi-layer perceptron neural network to locate and quantify damage in a structure. Also, it is presented the formulation of the damage detection problem as an optimization one and its solution by using a metaheuristic technique. Some observations on the application of the above techniques are made.*

*Keywords: Damage detection. Dynamic parameters. Computational intelligence.*

*Linha de Pesquisa: Métodos Numéricos.*

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de paradigmas de inteligência computacional na resolução do problema de detecção de dano tem ganhado muita importância nas últimas décadas devido às características intrínsecas do problema, entre elas a incerteza e a incompletude da informação da estrutura que pode ser medida. Alguns dos paradigmas aplicados correspondem a redes neurais (Pandey e Biswas, 1995) e metaheurísticas (Mares e Surace, 1996).

Em essência o problema de detecção de dano pode ser entendido como o mapeamento da relação de entrada e saída que existe entre os parâmetros dinâmicos e os valores das propriedades de uma estrutura, ou pela formulação de um problema de otimização onde se procura minimizar as

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, villalba@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, jelaier@sc.usp.br



diferenças entre os parâmetros dinâmicos de um modelo de elementos finitos (MEF) que representa a condição com dano da estrutura e aqueles medidos experimentalmente. O problema de detecção de dano visto da primeira forma pode ser resolvido pela utilização de redes neurais, sendo que um dos primeiros trabalhos foi aquele de Pandey e Birai em 1995. Eles utilizaram medições da resposta estática da estrutura para detectar dano em pontes. Já quando se formula um problema de otimização este pode ser resolvido por uma técnica clássica de otimização ou por uma metaheurística. Por exemplo, Mares e Surace em 1996 empregaram um algoritmo genético de código binário e uma função objetivo baseada no vetor de força residual. No presente trabalho apresenta-se a forma como devem ser desenvolvidas as duas formulações do problema de detecção de dano para atingir um nível III de identificação –localização e quantificação do dano- e ressaltam-se alguns fatos que têm sido observados na literatura. O dano será considerado como uma redução na rigidez do elemento danificado, com valores limites de 0 e 1 para representar a condição sem dano e a perda total da rigidez do elemento.

## **2 DETECÇÃO DE DANO UTILIZANDO REDES NEURAI PERCEPTRON MULTI-CAMADA**

As redes neurais são um tipo de paradigma computacional que faz uma analogia com o funcionamento do cérebro. As principais áreas de aplicação de redes neurais encontram-se na aproximação de funções, controle de processos, reconhecimento de padrões, sistemas de predição, sistemas de otimização, entre outros (Nunes et al, 2010). Um dos tipos de redes neurais mais utilizados é o chamado perceptron multi-camada (PMC), que está conformado por uma arquitetura com três tipos de camadas – entrada, oculta e saída – e cujo treinamento é realizado de forma supervisionada, ou seja, a partir da apresentação de casos de treinamento conformados por pares de vetores de entrada e saída. Esta classe de rede pode ser utilizada em detecção de dano seguindo o procedimento mostrado na Figura 1. Observa-se que existe a necessidade de se dispor de um MEF que permita representar a condição sem dano e que será atualizado para determinar um modelo que possa representar a condição atual da estrutura. Esse modelo também será utilizado para a geração dos casos de treinamento. Para isso, diferentes cenários de dano, divididos em simples e múltiplos segundo o número de elementos que se encontrem danificados, são gerados de forma aleatória. Nesta etapa é muito importante obter uma distribuição de cenários que permite a melhor capacidade de generalização da rede. No terceiro passo, devem ser formados os vetores de entrada a partir da resposta da estrutura selecionada. Além disso, é necessário definir o vetor de saída que, no caso de se querer conhecer a extensão do dano, corresponderia ao valor de redução de rigidez de cada elemento na estrutura. No passo 4, os parâmetros da rede tais como o número de camadas ocultas e o número de neurônios por camada devem ser definidos. A escolha destes parâmetros e do número de cenários de dano requer de um processo de tentativa e erro até se obter um desempenho esperado. Finalmente, o algoritmo de treinamento deve ser selecionado levando em conta que o custo computacional pode inviabilizar a utilização de um tipo determinado de algoritmo. Por exemplo, sabe-se que o algoritmo Levenberg-Marquardt produz boas generalizações, mas emprega um tempo maior para ser realizado quando comparado com outros algoritmos.

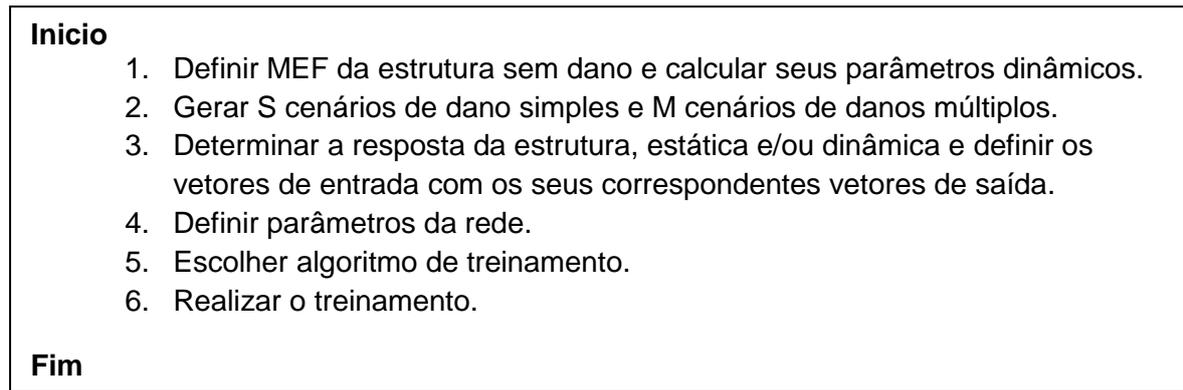


Figura 1- Esquema de utilização de uma rede neuronal PMC em detecção de dano.

Redes neurais têm sido amplamente aplicadas na literatura em detecção de dano estrutural, porém existem poucos casos nos quais o número de elementos, ou de graus de liberdade, seja alto. Para grandes estruturas, a utilização de redes neurais pode se tornar inviável devido ao alto número de casos de treinamento necessários para que a rede tenha uma correta generalização.

### 3 DETECÇÃO DE DANO UTILIZANDO METAHEURÍSTICAS

Metaheurísticas compreendem um conjunto de paradigmas computacionais para a resolução de problemas de otimização em tempos razoáveis, mas que não garantem que encontraram a solução ao problema. Entre as principais metaheurísticas encontram-se os Algoritmos Genéticos que seguem uma analogia do processo evolutivo, o *Particle Swarm Optimization* que modela o comportamento social das espécies, o *simulating annealing* baseado no resfriamento de sólidos ou o *Harmony Search* que se fundamenta em conceitos musicais. A forma geral da aplicação de qualquer uma das metaheurísticas anteriores na solução do problema de detecção de dano é mostrada na Figura 2. Como no caso das redes neurais, precisa-se de um modelo de elementos finitos relativo à condição sem dano. Este modelo será atualizado considerando como variáveis de otimização um fator de redução por cada elemento no problema. No seguinte passo os parâmetros da resposta da estrutura que formaram a função objetivo devem ser definidos. Em geral, funções baseadas em parâmetros dinâmicos, tais como frequências naturais, formas modais, flexibilidade modal, entre outros, tem sido utilizadas. No passo 3, deve-se realizar a medição da resposta da estrutura danificada. Os passos 2 e 3 devem ser realizados preferivelmente em forma simultânea para que a escolha dos parâmetros seja a mais adequada. Ao respeito, é importante levar em conta aspectos experimentais, como a quantidade e a qualidade da informação que é possível se obter, e aspectos computacionais, tais como a sensibilidade dos parâmetros escolhidos ao dano. Por outro lado, a escolha da metaheurística é muito importante uma vez que cada uma terá uma probabilidade determinada de se adequar melhor à solução do problema de detecção de dano. No conhecimento dos autores, são poucos os trabalhos que apresentam comparação entre diferentes metaheurísticas. Além disso, cada metaheurística é caracterizada por ter parâmetros que influenciam o processo de busca, e que, portanto, devem ser escolhidos adequadamente com o intuito de garantir um bom desempenho. Uma forma de superar esse problema é utilizando metaheurísticas auto-configuradas como a apresentada no trabalho de Begambre e Laier (2009). Em geral, devido às características estocásticas do processo, requerem-se de varias execução da metaheurísticas para se obter um resultado final.

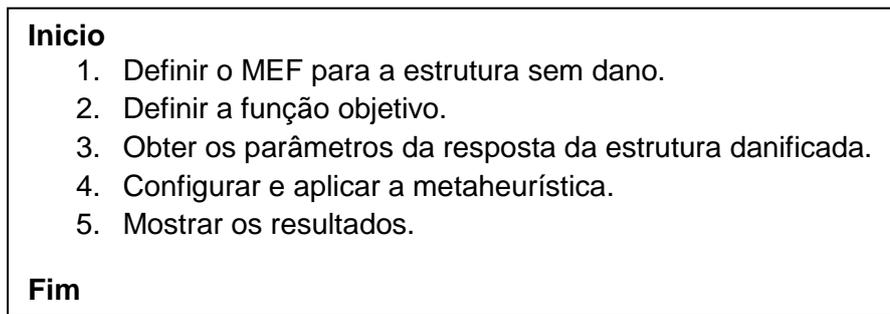


Figura 2 - Esquema de utilização de uma metaheurística em detecção de dano.

Diversas heurísticas têm sido propostas para ajudar à convergência dos algoritmos para o cenário de dano correto. Para cenários de dano onde se tem poucos elementos danificados, uma heurística para a geração da solução ou população inicial consiste da atribuição de um número aleatório para cada variável. Se esse número for menor que um limite determinado então a variável assume um valor contido em uma faixa de dano, de outra forma assume um valor de 0.

#### 4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste trabalho apresentou-se a forma geral da aplicação de redes neurais e metaheurísticas na solução ao problema de detecção de dano. Como pode ser observado, ambas as formulações precisam de um MEF que represente a condição sem dano. O grau de certeza que esse modelo apresenta influencia na certeza da solução encontrada. Por outro lado, observa-se na literatura que esses paradigmas têm sido utilizados para detectar dano em estruturas discretizadas em poucos elementos. Finalmente, o custo computacional pode ser uma limitante no uso dos paradigmas mencionados para detecção de dano de estruturas com uma alta quantidades de elementos.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro dado à presente pesquisa.

#### 6 REFERÊNCIAS

BEGAMBRE, O.; LAIER, J. A hybrid Particle Swarm Optimization – Simplex algorithm (PSOS) for structural damage identification. **Advances in Engineering Software**, v. 40, p. 883–891, 2009.

MARES, C.; SURACE, C. An application of genetic algorithm to identify damage in elastic structures. **Journal of Sound and Vibration**, v. 195, n. 2, p. 195-215, 1996.

NUNES DA SILVA, I.; SPATTI, D.; FLAUZINO, R. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicada: Curso prático**. Brasil: Artliber Editora, 2010.

PANDEY, P.C. ; BARAI, S. V. Multilayer perceptron in damage detection of bridge structures. **Computers and Structures**, v. 54, n. 4, p. 597-608, 1995.