

# Identificação de Parâmetros Mecânicos em Materiais Compostos Laminados por Métodos de Inteligência Artificial

Sheila R. Almeida<sup>1</sup>, Reinaldo R. Ramos<sup>2</sup>, Weslley L. S. Assis<sup>3</sup>, Panters R. Bermudez<sup>4</sup>  
UFF, Volta Redonda, RJ

A caracterização de materiais compósitos laminados é fundamental na engenharia de materiais e na mecânica estrutural, pois exige a determinação precisa das propriedades individuais das lâminas e suas proporções. Estes compósitos são amplamente utilizados em setores como aeronáutica, engenharia civil, entre outros, devido a relação resistência/peso e à possibilidade de projetar propriedades mecânicas. Este estudo permite compreender seu comportamento estrutural e otimizar seu desempenho em diferentes condições. A caracterização precisa possibilita o desenvolvimento de materiais personalizados para atender requisitos específicos de carga, resistência térmica e durabilidade, favorecendo avanços tecnológicos. Logo, a determinação dos coeficientes efetivos dos compósitos laminados baseia-se no método de homogeneização assintótica de duas escalas [5]. Em um compósito com  $n$  camadas, as propriedades globais do compósito  $h_{ijkl}$  relaciona-se às propriedades dos constituintes  $E_i$  e  $v_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) e à proporção dos materiais no compósito  $\delta$ , conhecida como fração de volume, por meio do seguinte sistema de equações não lineares:

$$h_{1111} = \left\langle \frac{E}{1-v^2} \right\rangle + \frac{\left\langle \frac{v}{1-v} \right\rangle^2}{\left\langle \frac{(1+v)(1-2v)}{E(1-v)} \right\rangle} = f_1(E, v, \delta), \quad (1)$$

$$h_{1133} = \frac{\left\langle \frac{v}{1-v} \right\rangle}{\left\langle \frac{(1+v)(1-2v)}{E(1-v)} \right\rangle} = f_2(E, v, \delta), \quad (2)$$

$$h_{1313} = \frac{1}{2 \left\langle \frac{1+v}{E} \right\rangle} = f_3(E, v, \delta), \quad (3)$$

$$h_{1212} = \frac{1}{2} \left\langle \frac{E}{1+v} \right\rangle = f_4(E, v, \delta), \quad (4)$$

$$h_{3333} = \frac{1}{\left\langle \frac{(1+v)(1-2v)}{E(1-v)} \right\rangle} = f_5(E, v, \delta), \quad (5)$$

Em particular, para um compósito com duas camadas ( $n = 2$ ), o símbolo  $\langle f \rangle$  significa

$$\langle f \rangle = \delta_1 f_1 + (1 - \delta_1) f_2 \quad (6)$$

---

<sup>1</sup>sheilaa@id.uff.br

<sup>2</sup>reinaldorr@id.uff.br

<sup>3</sup>weslleyassis@id.uff.br

<sup>4</sup>pantersrb@id.uff.br

Por exemplo,

$$\left\langle \frac{1+v}{E} \right\rangle = \frac{\delta_1(1+v_1)}{E_1} + \frac{(1-\delta_1)(1+v_2)}{E_2}. \quad (7)$$

Logo, a equação final, para um compósito com duas camadas, há cinco equações independentes e cinco incógnitas:  $E_1, v_1, E_2, v_2, \delta_1$ , onde  $\delta_1$  denota a fração de volume da camada 1, fazendo com que o problema torne-se bem estabelecido.

O problema inverso, que consiste em identificar as propriedades das lâminas por meio de propriedades globais do compósito, é intrinsecamente não linear e mal condicionado. Métodos convencionais, como os de mínimos quadrados não lineares (Gauss-Newton e Levenberg-Marquardt), frequentemente apresentam dificuldades na convergência para soluções realistas, sobretudo quando a quantidade de lâminas aumenta [3, 4]. Tais dificuldades decorrem da sensibilidade das soluções às pequenas variações nos dados de entrada, levando a problemas de instabilidade numérica e múltiplas soluções possíveis.

A metodologia proposta através do algoritmo desenvolvido segue os seguintes passos: **1-Início:** Gerar uma população inicial de soluções candidatas para os parâmetros  $E_1, v_1, E_2, v_2, \delta_1$ ; **2-Avaliar:** Calcular os coeficientes efetivos para cada candidato utilizando as equações derivadas do método de homogeneização assintótica; **3-Cálculo do erro:** Comparar os coeficientes efetivos calculados com os valores experimentais disponíveis; **4-Seleção:** Escolher os candidatos com menor erro para reprodução; **5-Cruzamento e mutação:** Aplicar operadores genéticos para gerar novas soluções; **6-Treinamento de rede neural:** Ajustar uma rede neural para prever parâmetros mecânicos a partir de coeficientes efetivos; **7-Iteração:** Repetir os passos 2-6 até que o erro seja minimizado.

Diante disso, o presente trabalho propõe uma abordagem baseada em inteligência artificial para identificar parâmetros mecânicos em materiais laminados, superando as limitações dos métodos tradicionais. Algoritmos evolutivos e redes neurais artificiais são utilizados para otimizar soluções em espaços multidimensionais e identificar padrões ocultos nos dados [2]. E portanto, a metodologia visa não apenas determinar os materiais constituintes do laminado, mas também refinar a estimativa de suas propriedades individuais e proporções dentro do compósito. Enquanto algoritmos genéticos buscam minimizar o erro entre as propriedades efetivas calculadas e conhecidas, redes neurais artificiais contribuem para uma modelagem mais precisa do comportamento dos compósitos [1].

## Referências

- [1] L. J. Fogel. *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. New York: John Wiley & Sons, 1966. ISBN: 978-0471265160.
- [2] D. E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989. ISBN: 978-0201157673.
- [3] J. Hadamard. *Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations*. New York: Dover Publications, 1923. ISBN: 978-0486495491.
- [4] J. J. Moré. "The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory". Em: *Numerical Analysis: Proceedings of the Biennial Conference held at Dundee, June 28–July 1, 1977*. Vol. 630. Lecture Notes in Mathematics. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1978, pp. 105–116. ISBN: 978-3-540-08538-6. DOI: 10.1007/BFb0067700.
- [5] B. E. Pobedrya. *Mechanics of Composite Materials*. In Russian. Moscow: Moscow State University Press, 1984, p. 147.