

TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA USO NO MONITORAMENTO DE SAÚDE ESTRUTURAL BASEADO EM IMPEDÂNCIA ELETROMECHANICA

Lizeth Vargas Palomino; Valder Steffen Jr

O conceito básico da técnica de integridade estrutural baseado na impedância eletromecânica tem a ver com o monitoramento da variação da impedância mecânica da estrutura, causada pela presença de um dano, usando pastilhas de material piezelétrico coladas na superfície da estrutura. A partir da variação dos sinais de impedância pode-se concluir sobre a presença ou não de um dano. Neste sentido, é medida a impedância elétrica que está diretamente relacionada com a impedância mecânica da estrutura (LIANG et. al, 1994). Para quantificar este dano, uma métrica é especialmente definida para atribuir-lhe um valor escalar característico (PALOMINO, 2008). Uma destas métricas é o desvio médio da raiz quadrada (RMSD3) dado pela Eq.1 (PARK et. al, 2003).

$$RMSD3 = \sqrt{\frac{(\text{Re}(Z_{1,i}) - \text{Re}(Z_{2,1}))^2}{\text{Re}(Z_{1,i})^2}} \quad (1)$$

onde $\text{Re}(Z_{1,i})$ é a parte real da impedância da medição sem dano (*baseline*) em uma frequência i , $\text{Re}(Z_{2,i})$ é a parte real da impedância em uma frequência i para uma nova configuração da estrutura, e n é o número total de pontos frequenciais usados para comparação. Com a Eq.1 pode-se determinar a presença e a intensidade do dano, já que quanto maior é o valor da métrica maior é o dano a ela associado na estrutura.

Neste trabalho propõe-se utilizar técnicas de inteligência artificial (BITTENOURT, 1996) como são as redes neurais artificiais e a neurofuzzy (OLIVEIRA et. al, 2007), além de utilizar técnicas de estatística multivariada como, por exemplo, a metodologia de agrupamento fuzzy (OLIVEIRA et. al, 2007), para determinar aspectos desconhecidos das falhas que estão sendo monitoradas. Como ilustração, pode-se mencionar algumas falhas típicas, tais como: perda de rebites em estruturas complexas; afrouxamento de elementos de união (como parafusos ou outros), trincas estruturais, corrosão, dentre outras.

Para testar o princípio acima explicado, foi utilizada uma viga contendo um único rebite, à qual foram inseridos dois tipos de dano: perda do rebite e trinca localizada (representada através de furos de um milímetro de diâmetro como mostra a Fig.1).

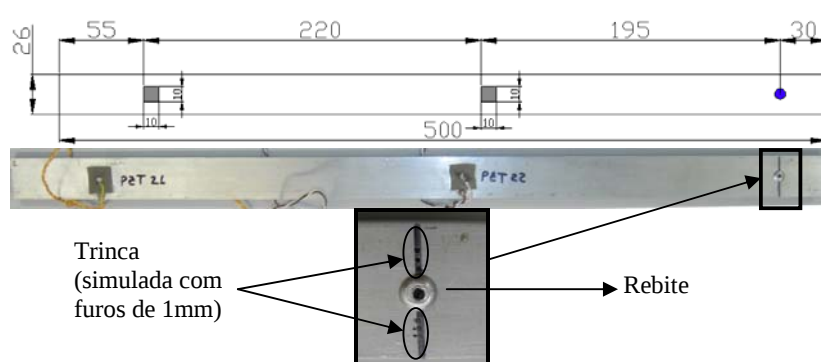


Figura 1: Descrição da estrutura utilizada nos ensaios.

Foram feitas 50 medições no total, divididas da seguinte maneira: 20 sem nenhuma modificação na estrutura (baseline); dez com a viga sem o rebite e 20 medições para a situação com a trinca localizada e com o rebite (recolocado em sua posição). Com estes dados foram aplicados dos tipos de testes com redes neurais:

- No primeiro teste o valor da métrica calculada com a Eq. 1 serviu como entrada de dois tipos de redes neurais: uma rede probabilística e, a outra, neurofuzzy (OLIVEIRA et. al, 2007). Dos 50 valores foram selecionados aleatoriamente 40 para treinar as redes e 10 para testá-as posteriormente. Os resultados são apresentados na Tab.1. Pode-se observar que as dez medições de teste foram classificadas corretamente nos dois casos (as duas redes utilizadas tiveram bom desempenho).
- No segundo ensaio foi utilizado o sinal completo como entrada da rede neural probabilística. 401 entradas foram usadas para a rede, número que coincide com o número de pontos de cada sinal. Como no caso anterior foram selecionadas 40 medições para treinar a rede e dez para testá-a. Os resultados são apresentados na Tab.1. Pode-se observar que, das dez medições, oito foram classificadas corretamente e duas não, sendo estas medições mal sucedidas são relacionadas com a estrutura sem rebite. Trata-se de uma situação de falso negativo, o que não é aceitável.

Tabela 1: Resultados dos testes das redes neurais probabilísticas e neuroFuzzy.

Medição	Métrica de Dano				Sinal	
	Estado da Estrutura	Rede Probabilística	Neurofuzzy	Estado da Estrutura	Rede probabilística	
1	Baseline	Baseline (1,1)	Baseline 1.0255	Baseline	Baseline (1,1)	
2	Baseline	Baseline (1,2)	Baseline 0.9695	Sem Rebite	Baseline (1,2)	
3	Sem Rebite	Sem Rebite (2,3)	Sem Rebite 2.0108	Baseline	Baseline (1,3)	
4	Baseline	Baseline (1,4)	Baseline 0.9587	Sem Rebite	Baseline (1,4)	
5	Sem Rebite	Sem Rebite (2,5)	Sem Rebite 1.9922	Baseline	Baseline (1,5)	
6	Baseline	Baseline (1,6)	Baseline 0.9685	Trinca	Trinca (3,6)	
7	Trinca	Trinca (3,7)	Trinca 3.1793	Baseline	Baseline (1,7)	
8	Sem Rebite	Sem Rebite (2,8)	Sem Rebite 2.0164	Trinca	Trinca (3,8)	
9	Trinca	Trinca (3,9)	Trinca 2.8406	Trinca	Trinca (3,9)	
10	Baseline	Baseline (1,10)	Baseline 0.9544	Trinca	Trinca (3,10)	

Usando o mesmo sinal também foi testada a metodologia de agrupamento fuzzy. Das 50 medições 40 foram classificadas corretamente e dez não responderam corretamente (todas elas relacionadas com a estrutura sem dano). Trata-se de uma situação de falso positivo que, na prática, implicaria em tempo de inspeção adicional, encarecendo desnecessariamente o processo.

Com estes estudos preliminares pode-se observar que as técnicas de inteligência artificial aplicadas ao método de impedância eletromecânica ajudam na classificação de danos, mas para o treinamento das redes neurais artificiais e o uso da metodologia de agrupamento fuzzy, é necessário um número de experimentos superior ao que foi utilizado nesta primeira aplicação, procurando tornar o procedimento mais robusto e confiável. Neste sentido, estudos adicionais serão realizados para aprimorar a técnica.

REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, G., **Inteligência Artificial: ferramentas e teoria**, Campinas, SP: UNICAMP, 1996.
- LIANG, C.; SUN, F.P. e ROGERS, C.A. Coupled Electromechanical Analysis of Adaptive Material Systems – Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**. 1994. Vol.5. p 12-20.
- PALOMINO, L.V. **Análise das Métricas de Dano associadas à Técnica da Impedância Eletromecânica para Monitoramento de Integridade Estrutural**. 2008. 111 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- PARK, G.; SOHN, H.; FARRAR, C.R. e INMAN, D. J. Overview of Piezoelectric Impedance- Based Health Monitoring and Path Forward. **The Shock and Vibration Digest**. V. 35, Issue 6. 2003. p85-92.
- OLIVEIRA, H.A.; CALDEIRA, A.M.; MARCHADO, M.A.S.; SOUZA, R.C. E TANSCHKEIT, R. **Inteligência computacional: Aplicadas à administração, economia e engenharia em Matlab**, São Paulo: Thomson Learning, 2007. 370p.