

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS À IDENTIFICAÇÃO DE DANOS ESTRUTURAIS DE MATERIAL COMPÓSITO USANDO RESPOSTA DINÂMICA E PROCESSAMENTO DE SINAIS¹

Matheus Janczkowski Fogaça², Ricardo de Medeiros³.

¹ Vinculado ao projeto “Contribuição ao estudo do monitoramento da integridade estrutural de estruturas em material compósito”

² Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – CCT – Bolsista PROBIC

³ Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica – CCT – ricardo.medeiros@udesc.br

A Engenharia está há décadas numa corrida cada vez mais acelerada pela busca de soluções que otimizem componentes e estruturas, ou seja, que reduzam sua massa e/ou custo enquanto mantenham alguma restrição de performance e segurança. Uma classe de materiais que tem sido muito utilizada neste esforço é a dos compósitos. No entanto, os mecanismos de falha complexos desse tipo de material tornam a previsão daquela muito difícil e, nessa busca por processos menos onerosos, pesquisadores buscam desenvolver metodologias robustas e eficazes para o monitoramento da estrutura. Neste contexto surge a análise de integridade estrutural via ensaios dinâmicos, ou seja, avalia a resposta oscilatória do material quando exposto a alguma forma de excitação mecânica, visto que essa resposta é função do estado físico e geométrico da peça. Quando essa vibração é transformada para o domínio da frequência via Transformada de Fourier, obtêm-se a Função de Resposta à frequência (FRF - do inglês *Frequency Response Function*).

Embora a FRF forneça informações fundamentais a respeito da integridade do componente, é de difícil interpretabilidade pela simples inspeção, logo, surge a demanda por uma técnica que seja capaz de classificar uma amostra como intacta ou, se danificada, determinar a extensão do dano. As redes neurais artificiais (RNAs) são uma ferramenta que se adequa a essa tarefa, pois é capaz de realizar a classificação do dano utilizando dados numéricos, e que passa por um processo de *aprendizado* para se adequar ao problema proposto, de modo que adquira experiência de classificação a partir de amostras cuja integridade é conhecida. Como modelo matemático, as RNAs geram uma resposta numérica a partir dos dados de entrada, *input*, também numéricos.

As RNAs são compostas de parâmetros que são otimizados na fase de treinamento para que o erro entre as respostas da rede e a verdadeira classificação seja minimizado. Esses parâmetros, pesos e *biases*, são ajustados para que a classificação da rede se aproxime o máximo possível da classificação real. As RNAs são construídas pelos seus hiperparâmetros, que definem desde a organização dos neurônios até a forma como a otimização será feita.

Na análise experimental e obtenção dos dados, foram produzidas 73 amostras de material compósito laminado com 12 camadas de fibra de vidro com resina epóxi, todas com orientação de 0°. Dessas amostras, 25 eram intactas; 17 com um dano de 5 mm, D1; 16 com um dano de 10 mm, D2; 15 amostras com um dano de 19 mm, D3. Esse dano de delaminação foi provocado pela inserção de uma tira de *Teflon* entre as lâminas centrais. Na sequência, essas amostras foram ensaiadas dinamicamente na condição livre-livre, em que a resposta oscilatória ocasionada pela excitação mecânica de um martelo de impacto foi medida por um acelerômetro. Os dados foram então convertidos para o domínio da frequência pela Transformada de Fourier.

Como os dados de FRF têm uma dimensão muito grande, há uma dificuldade no treinamento e aplicação de RNAs, *curse of dimensionality*, a partir desses dados, logo, surge a demanda por métodos compressores. Neste trabalho, foi utilizado a Análise do Componente

Principal (PCA), para realizar a redução da dimensionalidade do conjunto de dados de 4400 pontos de FRF selecionados para um espaço vetorial com 30 variáveis (PCs), representando 99,0% de variância acumulada.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é determinar o arranjo de hiperparâmetros para obter o melhor desempenho classificatório da rede. Fixou-se os hiperparâmetros: otimizador Adam; função de ativação sigmóide; função custo *cross-entropy*; topologia densa; fração de amostras para treinamento de 75%. Avaliou-se a variação na construção das topologias e no número de camadas internas, que foram experienciadas de 1 a 4. Para definir o número de neurônios em cada camada, por outro lado, foi desenvolvida uma técnica paramétrica, de modo que, por uma curva suave, o output calculado é a quantidade de neurônios, enquanto o argumento da função paramétrica é o número da camada. Destaca-se que foram utilizadas curvas polinomiais, a exemplo da figura 1(a), em função de sua simplicidade e pela possibilidade de uso de uma técnica análoga à da matriz de Vandermonde para a obtenção dos coeficientes dos monômios.

Cada arquitetura foi treinada por 500 vezes individualmente, de modo que se obteve 500 modelos para cada uma. Avaliou-se o desempenho das métricas, como erro no treinamento e acurácias nos *data sets* de validação e teste, e como estes convergiram para funções de massa de probabilidade, PMFs, de forma que fosse possível comparar estatisticamente o desempenho das diferentes topologias. Destaca-se que a convergência foi atingida, como é visível na figura 1(b), e obteve-se dois picos de performance para cada modo de classificação, sendo para as topologias de uma camada interna e com 45 e 53 neurônios nessa camada para classificação binária e com 42 e 54 neurônios na camada intermediária para classificação multivariada.

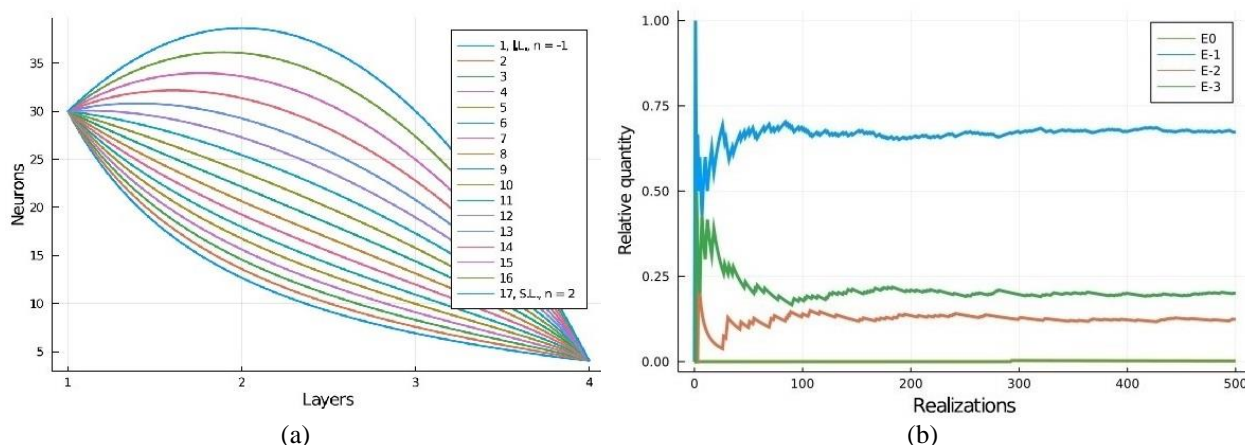


Figura 1. (a) Parametrizações de topologias e (b) Exemplo de PMF de erros no treinamento que converge para uma distribuição ao longo das 500 realizações

Conclui-se que as topologias com uma camada interna, número de neurônios na camada intermediária maior que o número de neurônios na camada de input, treinadas com Adam e utilizando função custo *cross-entropy* constituem a melhor escolha para a aplicação de RNAs na classificação deste tipo de problema. Evidencia-se que as metodologias de parametrização e das métricas de desempenho foram capazes de identificar padrões de performance dentre a vasta gama de arquiteturas possíveis e de compará-las entre si. Conclui-se também que as RNAs revelaram-se uma ferramenta robusta e apta a prever e identificar delaminação em material compósito a partir de um ensaio que é pouco oneroso e não destrutivo.

Palavras-chave: RNA. Compósito. Análise Modal.