IDENTIFICAÇÃO DE DANOS ESTRUTURAIS VIA ANÁLISE DINÂMICA DE VIGAS DE MATERIAL COMPÓSITO

João Rosso Neto[1], Ricardo de Medeiros[2]

[1] Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – CCT – bolsista PIBIC/CNPq
[2] Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica – CCT – ricardo.medeiros@udesc.br

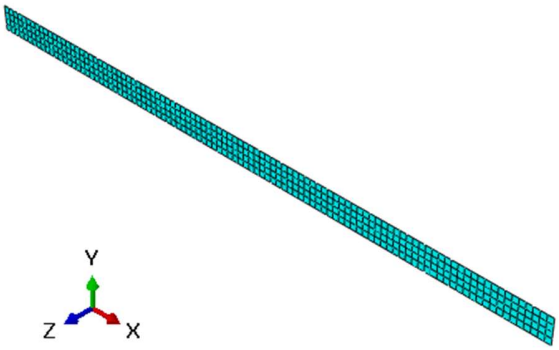
Palavras-chave: Vibrações. Análise modal. Monitoramento de integridade estrutural.

Todas as estruturas sujeitas a carregamento degradam com o passar do tempo, devido a várias razões. Seja qual for a razão de degradação, há uma necessidade de se conhecer a resistência e/ou a vida residual da estrutura. O monitoramento da integridade estrutural é importante na indústria, contribuindo para a redução de custos operacionais, ao substituir as manutenções programadas pelas manutenções necessárias. Portanto, uma das maneiras de avaliação da integridade estrutural é por meio de sensores de monitoramento, que captam sinais de vibrações, e através de *softwares* de pós-processamento, definem um "estado" da estrutura, que deve ser mantido dentro de uma faixa especificada. Diante disso, este trabalho visa desenvolver uma metodologia para o monitoramento da integridade estrutural baseada na resposta modal da estrutura. Para a análise modal experimental foi utilizada quatro vigas de alumínio com 495mm de comprimento, 20mm de largura e 5mm de espessura. Uma intacta, serviu de controle, e as outras três foram danificadas com furos de tamanhos progressivos, 2mm, 4mm e 8mm, a fim de infligir diferentes níveis de danos. Para a análise modal computacional utilizou-se o método dos elementos finitos no software ABAQUS™. Dois materiais foram estudados, o alumínio e o compósito estrutural (fibra de vidro e resina epóxi). Então, foi possível comparar e avaliar as potencialidades e limitações dos resultados obtidos computacionalmente e experimentalmente no que tange a identificação de dano.

Os modos de vibrar estudados foram os três primeiros modos de flexão. Utilizou-se um código no *software Scilab* para a determinação das frequências naturais e modos de vibrar da viga. Determinou-se até o sexto modo de flexão, onde foram encontrados seus pontos de máximos, mínimos e nós, estes pontos foram utilizados nas análises seguintes, garantindo que o experimento teria pontos suficientes para reproduzir os três primeiros modos de flexão. As propriedades de material foram retiradas de [1] para o alumínio e para o material compósito. Todas as simulações seguiram o mesmo procedimento. O elemento do tipo *shell*, de integração reduzida, de quatro nós com seis graus de liberdade (DOF) por nó, (definido como S4R - ABAQUS™) foi usado para modelar a viga de compósito. A viga foi modelada com 400 elementos quadrilaterais com 505 nós (Fig. 1(a)). A escolha da malha foi feita com base no processo de refinamento de malha, onde foram criadas várias malhas com diferentes números de elementos e verificadas as frequências de cada uma, referente ao sexto modo de vibrar da estrutura. A condição de contorno simulada foi a livre-livre e a faixa de frequência analisada foi de 0-600 Hz, totalizando 1200 pontos espectrais.

No experimento, a condição livre-livre sob a qual todas as vigas foram submetidas foi alcançada por meio de fios elásticos (Fig. 1(b)). O acelerômetro modelo 4397 B&K (sensibilidade 9.807mV/g) e o martelo de impacto modelo 8206-006 B&K, com ponteira de alumínio, (sensibilidade 1.12mV/N) foram conectados no sistema de aquisição Pulse LabShop. O número de registros individuais foi selecionado três para reduzir os efeitos de variação. Sendo a análise avaliada comparando não apenas as Funções de Resposta em Frequência (FRFs), mas também os valores de coerência. Depois de obtidas as FRF's dos 25pontos estudados, o *software BK Pulse*

Labshop realizou o pós-processamento, onde foi determinado os modos de vibrar da estrutura, bem como a frequência naturais e o amortecimento.



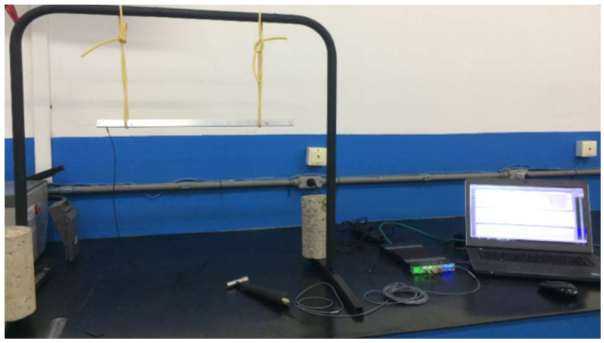


Fig. 1 *(a) Modelo computacional viga de compósito (b) Setup experimental viga alumínio*

Calculou-se a correlação das vigas intactas e danificadas, computacional e experimentalmente através do indicador estatístico MAC (*Modal Assurance Criterion*), conforme apresentado na Fig. 2.

	Modos danificados								
Modos Intactos	0,978551	0,015611	1,41E-04	0,999936	1,73E-07	6,09E-05	0,999936	6,22E-07	6,96E-05
	0,015591	0,985271	0,005239	5,41E-07	0,985511	4,72E-06	1,28E-07	0,985502	6,88E-06
	0,001241	4,98E-04	0,967716	6,22E-05	6,52E-06	0,998568	6,67E-05	4,40E-06	0,998569
	0,998394	0,008697	8,43E-04	0,999935	8,30E-08	6,88E-05	0,999935	2,11E-06	7,92E-05
	0,001703	0,993928	0,007671	2,11E-06	0,985474	3,76E-06	8,08E-08	0,985467	1,11E-05
	3,56E-04	2,38E-05	0,969076	7,20E-05	1,11E-05	0,9986	7,62E-05	3,79E-06	0,998599
	0,984354	0,020233	3,66E-05	0,999887	1,26E-07	1,06E-04	0,99987	3,18E-05	1,52E-04
	0,015296	0,982666	0,003737	2,06E-05	0,985288	8,11E-07	2,22E-06	0,985214	6,22E-05
	3,16E-04	0,015179	0,997248	1,22E-04	4,38E-05	0,998631	9,63E-05	2,29E-07	0,998605

Fig. 2 *MAC (a) Alumínio experimental, (b) Alumínio computacional e (c) Compósito Computacional*

Através da correlação MAC, nota-se que os mesmos obtiveram um comportamento muito semelhante, com correlação maior que 90% em todos os casos, o que evidencia o fato de que a análise foi realizada de maneira adequada, de tal forma que a condição livre-livre foi estabelecida. Devido a posição do dano, os valores de MAC não apresentaram variações que podem ser interpretadas como dano. Isso se dá pelo fato do MAC ser um indicador estatístico que é mais sensível a grandes diferenças e relativamente insensível a pequenas diferenças nas formas de modo, resultando em um bom indicador estatístico e um grau de consistência entre as formas de modo. Diante disso, o MAC não deve ser abordado de forma individual, mas em conjunto com outros indicadores como a frequência natural, amortecimento e FRF.

[1] VOLTZ, L. R. **Fault diagnosis in composite structures using artificial neural network and principal component analysis**. 2019. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UDESC-CCT. Joinville, 2019.

[2] MEDEIROS, R. **Desenvolvimento de um critério para previsão da resistência residual de estruturas em material compósito danificadas por impacto**. 2016. 246p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.