

PROJETO, MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UMA ASA PARA VISUALIZAÇÃO DE FLUTTER EM TÚNEL DE VENTO SUBSÔNICO

César Almiro de Souza, Geice Paula Villibor, Paulo Cezar Büchner e Ricardo Capucio de Resende

UFV, Universidade Federal de Viçosa, Curso de Engenharia Mecânica
Av. PH Rolfs, s/n, Campus universitário – CEP 36570-000 – Viçosa – Minas Gerais
E-mail para correspondência: cesar.souza@ufv.br

Introdução

Aeroelasticidade é a ciência que trata dos problemas e fenômenos resultantes da interação entre uma estrutura imersa em um escoamento de fluido. Dentre os principais fenômenos aeroelásticos se destaca o *flutter*, objeto deste trabalho e que é definido por Wright *et al.* (2008) como uma condição onde a estrutura exibe oscilações autossustentadas a certa velocidade. Tal velocidade é dita velocidade crítica de *flutter* e pode ser verificada pelo acoplamento (coalescimento) de dois ou mais modos de vibrar da estrutura. O *flutter* é um fenômeno crítico que acomete aeronaves de todas as categorias e já causou inúmeras fatalidades registradas na história. É objeto de pesquisas constantes e despense grande tempo dos engenheiros na sua prevenção e controle.

O objetivo deste trabalho é visualizar a ocorrência de *flutter* dentro da faixa de velocidades do túnel de vento disponível e confrontar a velocidade crítica de *flutter* medida experimentalmente com a obtida pela implementação do modelo teórico em ambiente MATLAB®.

Material e Métodos

O modelo clássico de *flutter* para aerodinâmica não estacionária apresentado por Wright *et al.* (2008) para N graus de liberdade é dado pela Eq.(1).

$$A\ddot{\mathbf{q}} + (\rho V B + D)\dot{\mathbf{q}} + (\rho V^2 C + E)\mathbf{q} = 0 \quad (1)$$

Onde A, B, C, D, E denotam respectivamente a matriz de inércia de massa, amortecimento aerodinâmico, rigidez aerodinâmica, amortecimento interno da estrutura (que aqui se supõe nulo) e rigidez estrutural. Sendo ainda, ρ a densidade do ar, V a velocidade do escoamento e \mathbf{q} a matriz de coordenadas generalizadas. O problema aeroelástico modelado para dois graus de liberdade, flexão e torção, é indicado na Fig. 1.

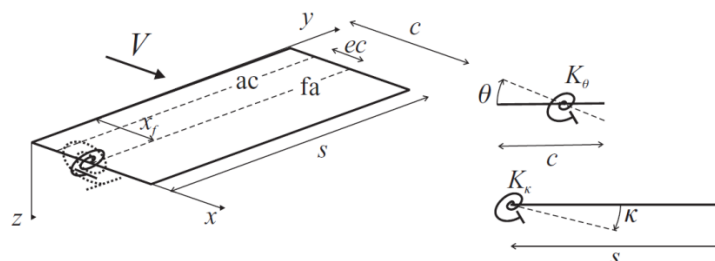


Figura 1 – Modelo aeroelástico de dois graus de liberdade

Implementou-se o modelo no programa computacional MATLAB® para determinação da velocidade de *flutter* em um protótipo de uma asa de aeronave. As mesmas características geométricas e de escoamento consideradas no programa foram utilizadas nos testes experimentais.

Para a validação do modelo usou-se uma asa retangular de grande alongamento, onde se considerou que todas as cargas são aplicadas na longarina. A longarina foi construída em aço baixo teor de carbono revestido

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
 Artigo CREEM2012

por uma fina camada de zinco (galvanizado). Foram usados 6 perfis em balsa de largura 0,028 m e de 0,04 m de corda colados ao longo da envergadura e espaçados de 0,001 m. A função desse seccionamento é tentar minimizar a influência do amortecimento interno e favorecer a deformação da asa. Para facilitar o acoplamento dos modos de vibrar e reduzir a rigidez torcional da estrutura foi acoplado um corpo esbelto na ponta da asa (Westin, 2010).

Foi usado um túnel de vento de baixo subsônico de seção retangular fechada de 0,033 m², razão de contração de 2,5; velocidade máxima sem bloqueio de 14 m/s, turbulência média e circuito aberto.

As características geométricas da asa e escoamento estão apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Parâmetros geométricos e de escoamento.

Especificações	
Corda aerodinâmica	0,020 m
Envergadura	0,180 m
Largura da longarina	0,005 m
Espessura da longarina	0,001 m
Raio do corpo esbelto	0,008 m
Comprimento do corpo esbelto	0,050 m
Massa específica do ar	1,225 kg/m ³
Perfil	NACA0012

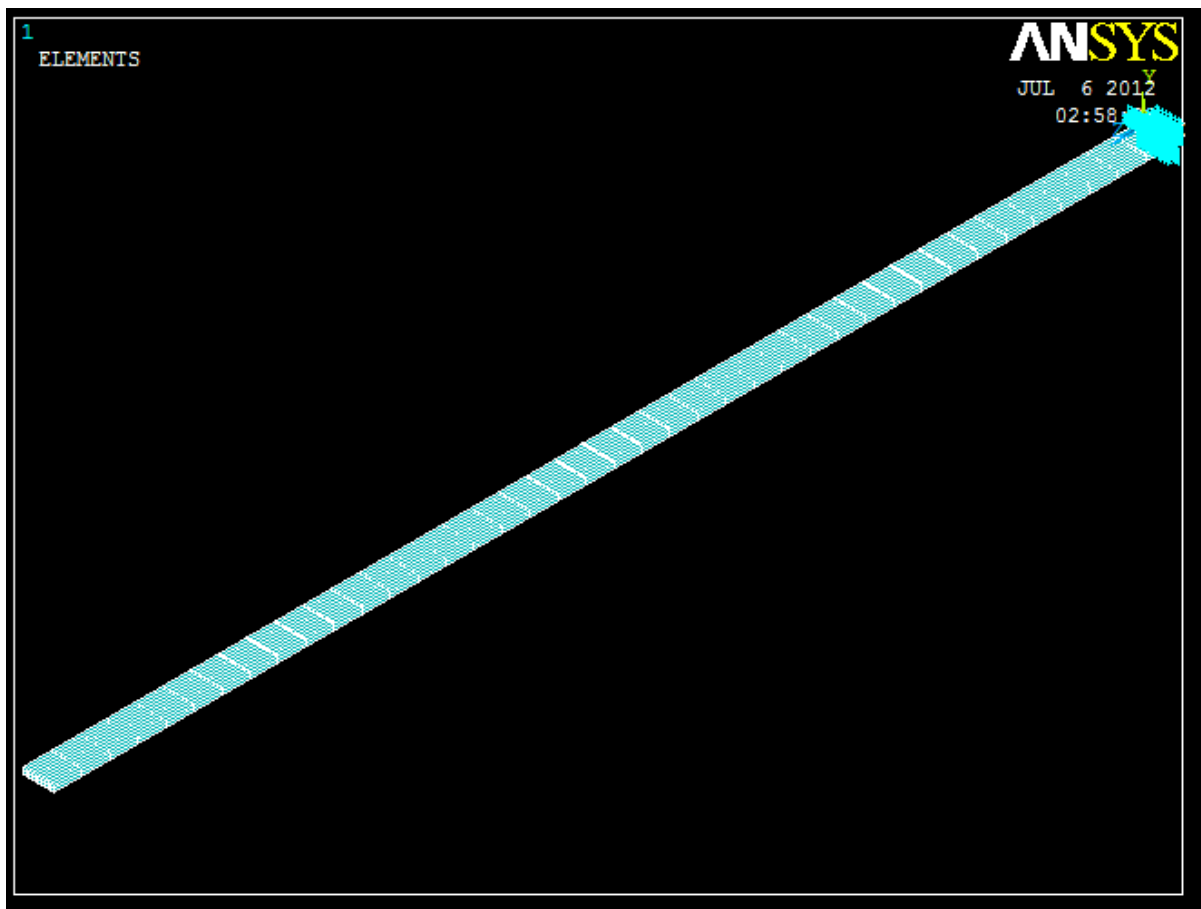


Figura 2 – Longarina modelada em elementos finitos.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Para medição da resposta da asa quando imposto o escoamento no túnel de vento foi utilizada uma câmera digital de alta velocidade de captura de imagens e os deslocamentos resultantes na extremidade livre da asa foram determinadas por meio de técnicas de processamento de imagens digitais com auxílio de um código em confeccionado em ambiente MATLAB[®] específico para tal fim. Foi utilizada uma taxa de amostragem de vídeo de 210 Hz. A taxa de amostragem deve ser pelo menos duas vezes a frequência contida no sinal (Brandt, 2011).



Figura 3 – Modelo final em balsa (escura) e corpo esbelto (branco) na ponta da asa.

Resultados e Discussão

O valor das frequências naturais de cada modo de vibrar é imprescindível para a implementação do modelo em MATLAB[®]. Esse cálculo foi feito com o auxílio software de elementos finitos ANSYS[®] e os resultados estão dispostos a seguir. A Figura 4 mostra os dois primeiros modos de vibrar da estrutura, com valor de frequência natural de 2,38 Hz e 4,42 Hz respectivamente. Esse valor equivale apenas para a longarina, não se computando ainda o valor de rigidez equivalente ao corpo esbelto. Quando este é computado, a simulação no ANSYS[®] fornece como segundo modo de vibrar a torção pura com frequência natural de 13,78 Hz e como primeiro modo de vibrar flexão simples com 1,54 Hz.

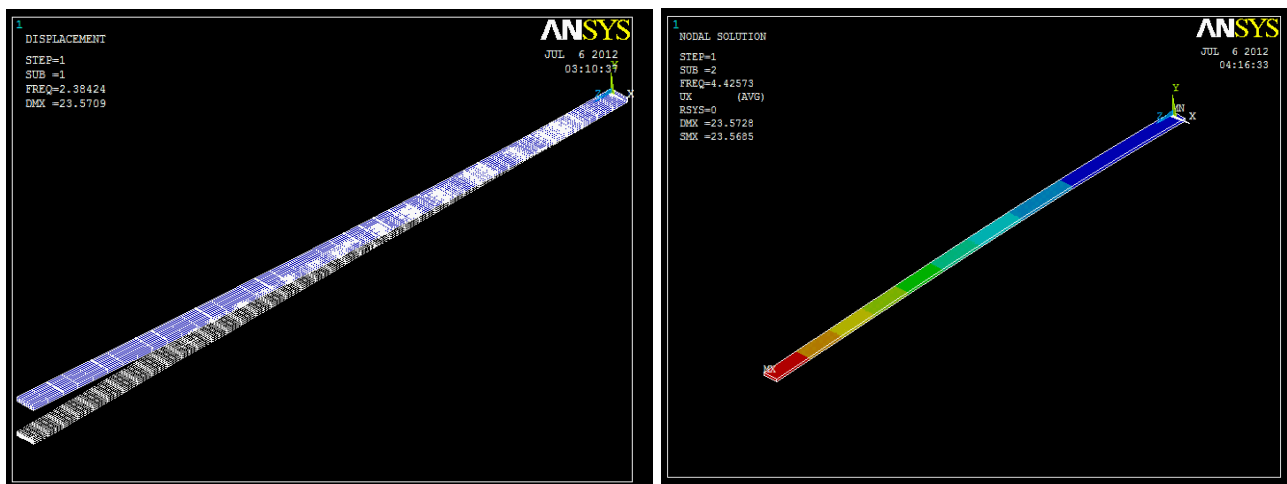


Figura 4 – Dois primeiros modos de vibrar da longarina.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

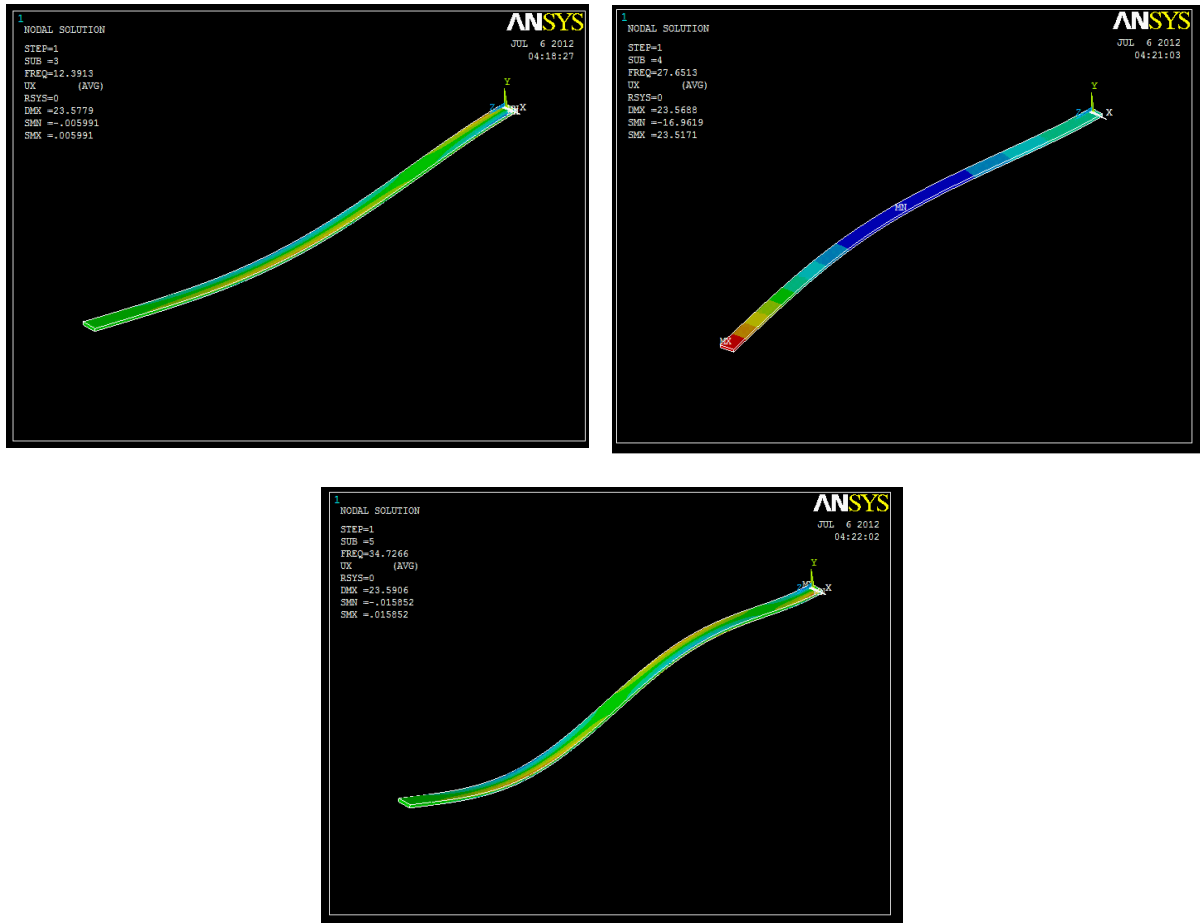


Figura 5 – Três próximos modos de vibrar da estrutura, com frequências: 12,39 Hz, 27,65 Hz e 34,73 Hz.

Com o histórico de deslocamento, após a aplicação da Transformada Rápida Fourier, foi identificada a frequência de ocorrência de *flutter*, observando os picos no espectro de frequências obtido e comparando-se as frequências associadas à flexão e a torção.

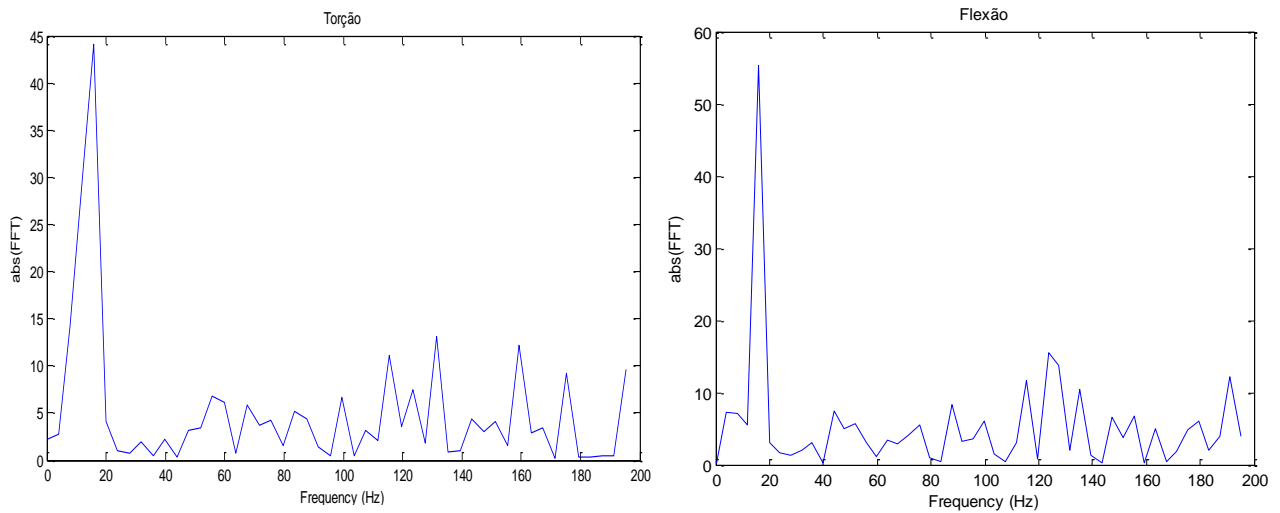


Figura 6 – Resultado da implementação numérica para torção e flexão

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Foi possível verificar, por meio do modelo numérico, que a velocidade de escoamento de 10,7 m/s proporcionaria a ocorrência de *flutter* a uma frequência de aproximadamente 18 Hz, para flexão e torção.

Quando medida no túnel de vento, a velocidade de *flutter* obtida para as mesmas características foi de 12,5 m/s.

Considerações Finais

Avaliar *flutter* em túneis de vento requer um grande trabalho e está cercado por uma grande gama de fonte de erros. A principal delas é a medição da frequência separada dos graus de liberdade. Para quem opta pela construção de asa rígida acoplada a uma suspensão, tal como a seção idealizada por Theodorsen e Garrick (1942), precisa construir uma bancada de complexidade considerável. Para quem opta pela avaliação de uma asa elástica, está mais próximo do problema real, mas requer cuidados devido à característica danosa que o *flutter* confere à estrutura.

A presença do corpo esbelto foi fundamental na redução do momento de inércia torcional, permitindo o acoplamento dos modos de vibrar a uma velocidade dentro da faixa de operação do túnel. A necessidade do mesmo é evidenciada observando-se que na implementação em elementos finitos da longarina isolada, a torção pura não aparece dentre os cinco primeiros modos de vibrar.

A utilização de vídeos de alta velocidade se mostrou eficaz na tomada dos dados e na medição da frequência de *flutter*, essa técnica dispensa instrumentos como acelerômetros ou outros dispositivos que perturbem o escoamento, além de apresentar erro relativo substancialmente baixo. É um método muito útil principalmente em túneis de seção fechada ou de difícil instrumentação por bancada, tal como o usado neste trabalho.

Os objetivos do trabalho foram alcançados e o modelo numérico pôde ser validado. O modelo teórico está incluído num contexto de pequenas perturbações de forma que o desvio entre a velocidade de *flutter* obtida no modelo e a do túnel pode ser atribuído ao nível de turbulência da seção de teste e ao amortecimento interno da estrutura, ausente na modelagem e impossível de se eliminar completamente na prática. A principal dificuldade apresentada no processo foi a medição da frequência isolada de cada um dos modos de vibrar, mas com a correta marcação dos pontos que caracterizam flexão e torção pura no corpo esbelto, o processo pôde ser concluído.

Agradecimentos

A minha orientadora pelo incentivo, paciência e amizade. A UFV, FAPEMIG, CAPES, CNPQ e FUNARBE pelo apoio financeiro. A Polliana C. Oliveira Martins (UFU) e Guilherme Ribeiro Benini (EMBRAER) pelas dúvidas tiradas e e-mails respondidos.

Referências Bibliográficas

- Brandt, A., “Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures”. First edition. New York, EUA. John Wiley & Sons Inc., 2011.
- Theodorsen, T., Garrick, I.E., “Mechanism of Flutter – a Theoretical and Experimental Investigation of the Flutter Problem”, NACA Report 685, 1942.
- Westin, M.F., “Aeroelastic Modeling and Experimental Analysis of a Flexible Wing for Wind Tunnel Flutter Test”, 91p. Thesis of master of sciences in Flight Mechanics and Control-Aeronautics Institute of Technology, São José dos Campos, 2010.
- Wright, J.R., Cooper, J.E., “Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads”, Aerospace Series, John Wiley, 2008.