

ESTUDO ACERCA DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES MODAIS DE MATERIAIS METÁLICOS

Aline B. Bonatto (IC)¹, Lucas A. de Oliveira (PG)¹, Prof. Dr. Guilherme F. Gomes (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Análise Modal; Parâmetros modais; Temperatura; Vibração.

Introdução

A análise de vibrações está presente em diversos campos de aplicação, tais como na área da aeronáutica, automobilísticas, construções, entre outras. O estudo das vibrações auxilia na prevenção de danos e falhas de estruturas, no campo de manutenção ou até mesmo em fase de projetos. Além disso, o estudo das vibrações também pode estar voltado para evitar danos à saúde de trabalhadores que estão constantemente expostos aos efeitos das vibrações, como mencionado por McCallig *et al.* (2010) a exposição prolongada à vibração pode resultar em uma série de efeitos adversos e até mesmo desenvolvimento de doenças ocupacionais. Diante das diversas aplicações da análise de vibrações, se faz necessário entender como esta é realizada.

De acordo com Salawu (1997), a existência de danos em estruturas provoca mudanças nos parâmetros modais (frequência natural, amortecimento e modos de vibração) e essas mudanças podem ser observadas a partir de resultados alcançados em ensaios de vibração.

Xia *et al.* (2011) menciona que em análises de vibrações em estruturas se faz necessário que sejam conhecidas as propriedades dos materiais da estrutura analisada; uma vez que mudanças condições ambientes, tal como temperatura podem afetar o desempenho desta. À vista disso, Ni *et al.* (2005) cita que condições ambientais podem alterar os parâmetros modais de vibrações, e isto pode até camuflar alterações causadas por danos estruturais, porém se estes efeitos ambientais forem bem conhecidos e analisados poderão ser separados dos efeitos de danos estruturais.

Assim, nesse trabalho serão coletados sinais de vibração, utilizando as técnicas de análise modal, de dois materiais: Alumínio 6351-T6 e Aço Inox 304. Estes materiais, serão expostos às variações de temperaturas utilizando um equipamento Ultra congelador, capaz de alcançar temperaturas de -40° a 80°C e combinado à isso, essas vigas que estarão sob condição de vibração livre, serão excitadas, de modo que serão coletados os sinais de vibração.

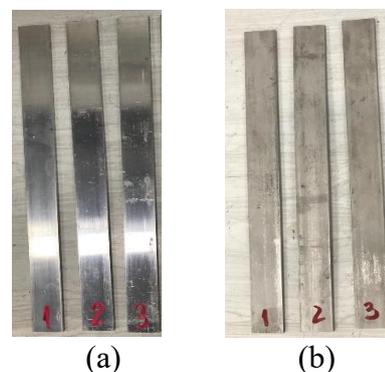
O trabalho tem como objetivo geral analisar a influência

da variação de temperatura nas propriedades modais desses materiais. Dentre os objetivos específicos estão: realizar ensaios de vibração livre em temperatura controlada, obter as respostas no domínio do tempo e frequência extraíndo as informações modais e analisar comportamento dos sinais obtidos diante da variação de temperatura.

Metodologia

Inicialmente, o arranjo experimental para realizar o experimento proposto foi preparado. Para isso, 3 corpos de prova de Alumínio 6351-T6 e 3 corpos de prova de Aço Inox 304 foram utilizados, como apresentado na Figura 1.

Figura 1– Corpos de prova de Alumínio 6351-T6 e Aço Inox 304 respectivamente



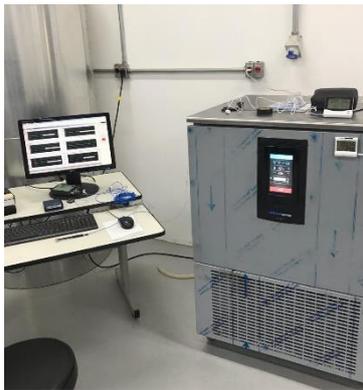
Fonte: Autoria própria

Tendo em vista o objetivo específico de simular vibrações livres em temperaturas controladas, utilizamos de um equipamento ultra congelador da marca Klimaquip, modelo UKI, de 1,8 kW de potência. O modelo em questão alcança temperaturas de -40°C a 80°C.

Para realizar a análise modal dos sinais de vibração, outros equipamentos foram utilizados, são eles: martelo de impacto da marca Brüel & Kjær, e mini acelerômetro da PCB Piezotronics, modelo 352C22 de 1,5g.

Ademais, para fixação do acelerômetro no corpo de prova, foi utilizado cera de abelha e para realizar as medições de temperatura das vigas foi utilizado um termômetro digital infravermelho da marca Minipa, modelo MT-320B. É importante salientar também, que o software utilizado por apresentar os sinais obtidos por meio do acelerômetro e martelo de impacto é o RT Pro Photon+. A Figura 2 apresenta o arranjo experimental utilizado.

Figura 2 – Equipamentos utilizados durante o experimento



Fonte: Autoria própria

Diante do posicionamento da viga e fixação do acelerômetro neste, uma série de procedimentos foram realizados de forma padronizada. O mesmo procedimento foi seguido variando a temperaturas na câmara de -40°C a 80°C , para cada um dos 3 corpos de prova, tanto do Alumínio 6351-T6 como do Aço inox 304. Na Figura 3, há um exemplo da condição da câmara do ultra congelador quando uma determinada medição foi realizada sob temperatura negativa.

Os procedimentos seguidos, foram divididos em basicamente 3 etapas, são elas: configuração do ultra congelador para alcançar temperatura desejada, utilização do martelo de impacto para excitar a viga de modo que o acelerômetro capte os sinais e finalmente a coleta dos dados por meio do software mencionado. vibração livre engastada e em temperaturas variadas, foi analisado por meio de análise modal.

Figura 3 – Corpo de prova em temperatura negativa



Fonte: Autoria própria

Resultados e discussão

Além dos resultados experimentais, foram obtidos os resultados analíticos das vigas em vibração engastada livre. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados analíticos e experimentais, com temperatura de referência de 20°C , encontrados para cada modo de vibração do Alumínio 6351-T6 e Aço Inox 304, respectivamente.

Tabela 1 – Frequência natural experimental ($T= 20^{\circ}\text{C}$) e analítica da viga de Alumínio 6351-T6

Modo de vibração	ω_n Analítica	ω_n	Diff(%)
		Experimental $T = 20^{\circ}\text{C}$	
1	40,2846	33,693	-16,36
2	252,459	208,967	-17,23
3	706,893	581,067	-17,80

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Frequência natural experimental ($T= 20^{\circ}\text{C}$) e analítica da viga de Aço Inox 304

Modo de vibração	ω_n Analítica	ω_n	Diff(%)
		Experimental $T = 20^{\circ}\text{C}$	
1	41,4384	37,35	-9,87
2	259,69	235,1	-9,47
3	727,139	655,767	-9,82

Fonte: Autoria própria

Diante das Tabelas 1 e 2 é possível observar que apesar de haver variação entre os dados de frequência analítica e experimental, existe um comportamento percentual similar entre os três modos de vibração.

Em relação a todos os resultados obtidos experimentalmente, existem alguns fatores que influenciam na confiança das medições e podem ter influenciado nos resultados das medições. Por outro lado em relação aos resultados analíticos, algo que pode ter interferido no cálculo seria o módulo de elasticidade de cada material, uma vez que foram encontradas pequenas variações dos módulos de elasticidade de ambos os materiais na literatura e essas variações podem ter afetado o resultado final, visto que a equação utilizada para encontrar a frequência natural em vibrações livres flexionais dependem do módulo de elasticidade, como indicado na Equação 1, mencionada em Inman (2007).

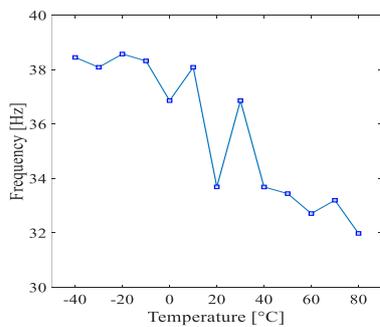
$$\omega = \sqrt{\frac{\beta^2 EI}{\rho A}} \quad (1)$$

Desse modo, seria interessante que fosse feito um teste de obtenção do módulo de elasticidade real de cada material, para que o resultado analítico também estivesse mais condizente com a realidade.

Todos resultados experimentais de Frequência natural e Amortecimento foram obtidos por meio das FRF (Função de Resposta em Frequência).

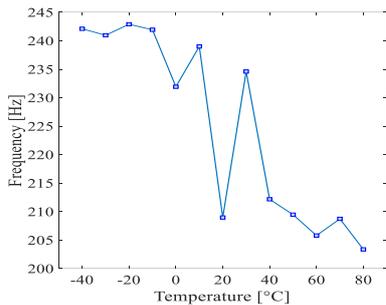
Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentados os 3 modos de vibração coletados dos corpos de prova do alumínio 6351-T6. É possível observar um tipo de comportamento padrão entre os três modos de vibração, onde nos três modos é perceptível um decréscimo da frequência à medida que a temperatura aumenta.

Figura 4 – Modo 1 Alumínio 6351-T6



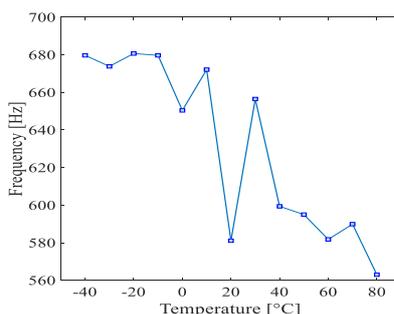
Fonte: Autoria própria

Figura 5 – Modo 2 Alumínio 6351-T6



Fonte: Autoria própria

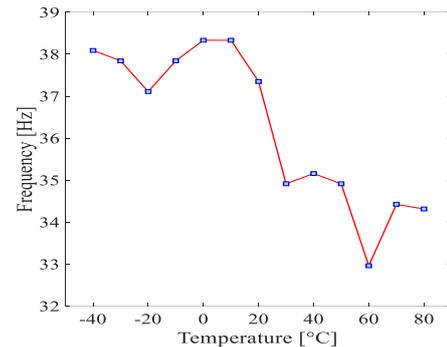
Figura 6 – Modo 2 Alumínio 6351-T6



Fonte: Autoria própria

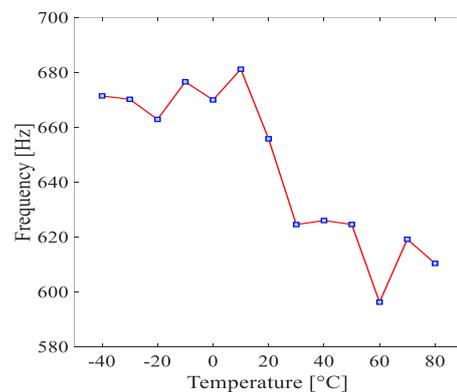
Já nas figuras 7, 8 e 9 são apresentados os resultados de frequência natural em relação à temperatura dos corpos de prova de Aço Inox 304. Diante destas, também é possível observar um comportamento de decaimento da frequência natural conforme a temperatura aumenta.

Figura 7 – Modo 1 Aço Inox 304



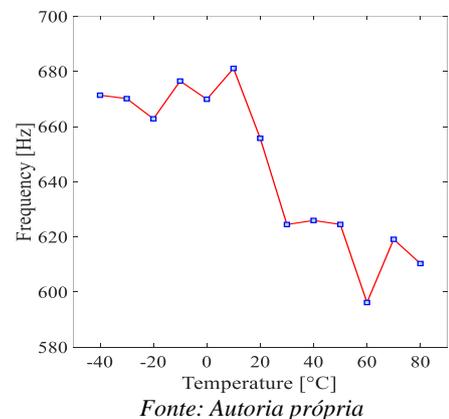
Fonte: Autoria própria

Figura 2 – Modo 2 Aço Inox 304



Fonte: Autoria própria

Figura 8 – Modo 3 Aço Inox 304

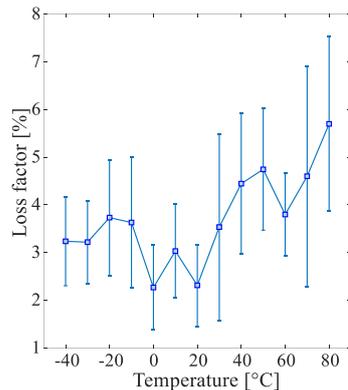


Fonte: Autoria própria

O amortecimento das vigas de cada material também foi coletado. Nas figuras 9 e 10 o sinal de amortecimento

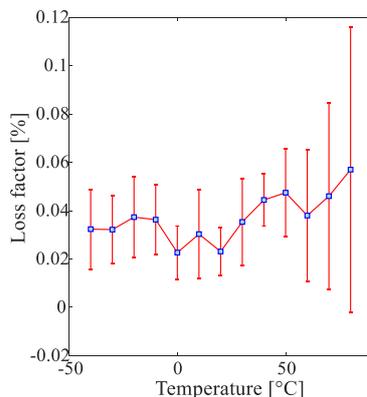
global em função da temperatura para os corpos de prova de alumínio 6351-T6 e aço inox 304 são apresentados. Nestes gráficos, em ambos os materiais não foram identificados padrões de comportamento, isso pode ocorrer pela dificuldade de aquisição de sinais de amortecimento, influenciado por diversos fatores.

Figura 9 – Amortecimento global Alumínio 6351-T6



Fonte: Autoria própria

Figura 9 – Amortecimento global Alumínio 6351-T6



Fonte: Autoria própria

Conclusões

Apesar de que fatores tanto experimentais como analíticos possam ter afetado os resultados, foram encontradas respostas satisfatórias no trabalho. O comportamento de decaimento da frequência natural à medida que a temperatura aumenta, está relacionado diretamente ao módulo de elasticidade (rigidez) pois no cálculo de frequência natural, a rigidez do material é uma das variáveis. Tendo isso em vista, de acordo com Callister (2016), o módulo de elasticidade diminuiu com o aumento da temperatura. Assim, o padrão observado de decaimento da frequência natural, está relacionado com a diminuição do módulo de elasticidade provocada pelo aumento da temperatura, confirmando experimentalmente a Teoria.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Guilherme Ferreira Gomes, por todo auxílio, disponibilidade, paciência e todos os ensinamentos proporcionados.

Ao aluno de Doutorado Lucas Antônio de Oliveira membro do GEMEC (*Grupo de Estudos em Mecânica Experimental e Computacional*) agradeço o auxílio durante os experimentos e por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá).

Referências

MCCALLIG, M.; PADDAN, G.; VAN LENTE, E.; MOORE, K.; COGGINS, M. **Evaluating worker vibration exposures using self-reported and direct observation estimates of exposure duration.** *Applied Ergonomics*, v. 42, n. 1, p. 37–45, 2010. Elsevier Ltd.

SALAWU, O. S. **Detection of structural damage through changes in frequency: a review.** *Engineering Structures*, v.19, n. 9, p.718-723. 1997

XIA, Y.; XU, Y. L.; WEI, Z. L.; ZHU, H. P.; ZHOU, X. Q. **Variation of structural vibration characteristics versus non-uniform temperature distribution.** *Engineering Structures*, v. 33, n. 1, p. 146–153, 2011. Elsevier Ltd.

NI, Y. Q.; HUA, X. G.; FAN, K. Q.; KO, J. M. **Correlating modal properties with temperature using long-term monitoring data and support vector machine technique.** *Engineering Structures*, v. 27, n. 12 SPEC. ISS., p. 1762–1773, 2005. Elsevier BV.

INMAN, Daniel J. **Engineering Vibration.** 3 Ed. Printice Hall, 2007.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução.** 9 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.