

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZAÇÃO DINÂMICO-MECÂNICA DE MATERIAIS POR AMORTECIMENTO DE VIBRAÇÃO

Ayrton O. Abrantes, ayrtonabrantes@hotmail.com¹

Carlos E. Rufino da Silva, carlooseduardorufino7@gmail.com²

Wanderley F. de Amorim Júnior, wanderley.ferreira@ufcg.edu.br¹

Adriano A. Batista, adriano@df.ufcg.edu.br²

¹Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco BR, Universitário, Campina Grande – PB.

²Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882, Departamento de Física, Bloco CY, Universitário, Campina Grande – PB.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo desenvolver, construir e testar uma bancada experimental para aplicação em um ensaio não-destrutivo para caracterização dinâmico-mecânica de materiais por meio do levantamento de curvas de amortecimento, através da qual pode-se obter frequência de ressonância (ω), módulo de elasticidade (E), fator de amortecimento (ζ) e fator de perda ($\tan \delta$). Utiliza-se de uma viga cantilever como corpo de prova. A metodologia utilizada constitui-se basicamente na divisão do projeto nas fases informacional, conceitual, detalhamento, fabricação e testes. A avaliação se dá de duas formas. Primeiramente, através da comparação entre módulos de elasticidade teórico e experimental de um aço inoxidável 304 austenítico. Outra forma de avaliação se deu por meio da comparação do fator de perda calculado a partir de ensaios na bancada desenvolvida com os resultados obtidos em ensaio utilizando equipamento DMTA (Dynamic-Mechanical Thermal Analyzer) modelo Q800, em uma viga de poliéster (material viscoelástico). O sistema proposto constitui-se basicamente de estrutura metálica, base inercial, sensor óptico e dispositivos eletrônicos para captura de sinal. O mesmo foi bem avaliado e pode ser tratado como alternativa ao uso do equipamento de DMTA em caracterizações simples de materiais, sob temperatura constante próxima a ambiente. Sua utilização é simples e versátil.

Palavras-chave: Vibrações, Amortecimento, Materiais, Caracterização.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização de materiais na engenharia é algo corriqueiro e de extrema importância no desenvolvimento de projetos mecânicos. Desta forma, é essencial a existência de procedimentos precisos, consistentes e o mais simples possíveis capazes de quantificar propriedades mecânicas dos materiais.

O objetivo deste trabalho é conceber e construir uma bancada experimental versátil, de fácil utilização, com a finalidade de realizar ensaio de amortecimento de vibração para caracterização dinâmico-mecânica de materiais, a qual consiste basicamente em estrutura metálica, base inercial, sensor óptico e dispositivos eletrônicos para captura de sinal. A necessidade deste desenvolvimento surgiu em pesquisa realizada pelos autores na Universidade Federal de Campina Grande, afim de caracterizar de forma não-destrutiva a interface fibra-matriz de sistemas compósitos poliméricos através da determinação do fator de perda ($\tan \delta$) da interface, como sugerido por Gu *et. al.* (1998).

Através da bancada desenvolvida, torna-se possível a realização de ensaio dinâmico-mecânico não-destrutivo, capaz de mensurar de forma simples e eficaz, frequência de ressonância (ω), módulo de elasticidade (E), fator de amortecimento (ζ) e fator de perda ($\tan \delta$) de materiais, através da obtenção da curva de amortecimento (*damping*) de um corpo de prova, o qual constitui-se de uma viga retangular *cantilever*, engastada verticalmente. A determinação destas propriedades se dá a partir da obtenção da curva de amortecimento do material em vibração sub-amortecida, que conforme descrito por Rao (2008), tem a forma observada na Fig. 1. Na mesma figura observa-se também o ajuste da curva de decaimento exponencial pela equação $A = A_0 \cdot e^{-\zeta \omega_0 t}$, através da qual se extrai as informações desejadas.

Diversas produções científicas utilizam-se da realização de ensaios dinâmico-mecânicos simples para caracterização de materiais. Souza e Lima (2010) e Santade (2013) utilizaram acelerômetro para monitoramento da amplitude de vibração. Neste tipo de caracterização por amortecimento de vibração, os trabalhos citados se utilizam de viga retangular *cantilever* como corpo de prova, na maioria das vezes engastadas horizontalmente.

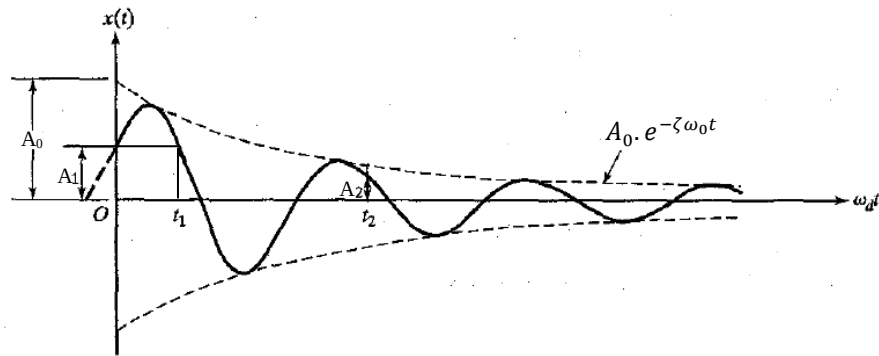


Figura 1. Curva típica de vibração sub-amortecida. Adaptada de RAO (2008).

Sensores ópticos de posição, comumente chamados de PSDs (*position sensitive devices*), têm a capacidade de detectar a posição de um objeto pela emissão e detecção de um feixe de luz laser refletido de forma especular neste. Se torna um dispositivo alternativo ao uso de acelerômetros neste tipo de aplicação. São comumente usados em diversas aplicações industriais, inclusive atividades de alta precisão como medidas de espessuras, guia de robôs soldadores, etc (Mayer, 1994). Este tipo de sensor terá aplicação neste trabalho para medição precisa de variação de amplitude de vibração de uma amostra em forma de viga *cantilever*, engastada verticalmente. Para maior precisão fez-se uso de um amplificador de sinais. Acelerômetros interferem nos resultados, pelo contato direto com a viga alterando a massa efetiva do corpo de prova e modificando a taxa de amortecimento pela presença do fio.

Uma das principais aplicações da bancada desenvolvida se dá na caracterização de materiais com comportamento viscoelástico, como no caso de polímeros, cujo fator de perda, também chamado $\tan \delta$, é a razão entre o módulo de perda (E'') e o módulo de armazenamento (E'), ($\tan \delta = \frac{E''}{E'}$), onde δ (vide Fig. 2) é o ângulo de defasagem entre a tensão aplicada e a deformação resultante, o que define o módulo complexo $E^* = E' + iE''$ (Lorandi *et. al.*, 2016).

Com interesse em aplicações de amortecimento o uso de materiais viscoelásticos é muito vasto, desde plásticos de elevada rigidez a adesivos utilizados em tratamentos superficiais (Moreira e Rodrigues, 2004).

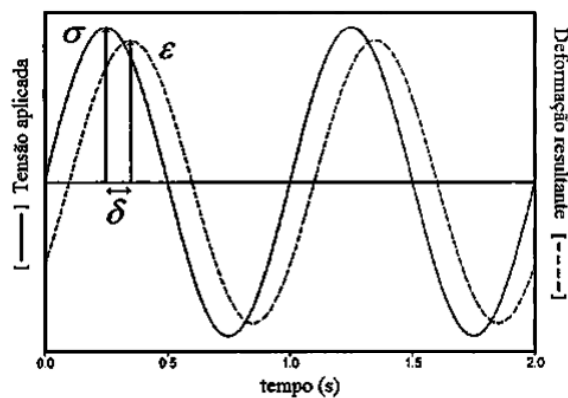


Figura 2. Defasagem entre tensão aplicada e deformação resultante em materiais viscoelásticos. (Lorandi, Cioffi e Ornaghi, 2016)

O DMTA (*Dynamic-Mechanical Thermal Analyzer*), por sua vez, é um equipamento bastante comum, utilizado para caracterização de materiais, muito utilizado em polímeros para determinação de suas propriedades viscoelásticas, como por exemplo o fator de perda ($\tan \delta$). É possível a determinação dos módulos mecânicos de um material em função do tempo, da temperatura e da frequência (Sakaguchi, 2001). Equipamentos DMTA, aplicam uma força oscilatória de forma senoidal, tal que o material responde com sua deformação também de forma senoidal, com um ângulo de defasagem no caso dos viscoelásticos (Canevarolo, 2004). Entretanto, estes equipamentos possibilitam variação de frequência da força aplicada e da temperatura, já a bancada aqui proposta, pelo menos em primeira análise, se propõe a análises sob temperatura ambiente. Em materiais ferromagnéticos, há a possibilidade de excitação eletromagnética de forma senoidal para a obtenção de curvas de ressonância dos primeiros modos normais de vibração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bancada experimental, cujo desenvolvimento se relata, foi desenvolvida no Laboratório de Eletrônica Aplicada à Física (L.E.A.F.) do Departamento de Física da UFCG em parceria com o Laboratório de Projetos de Instrumentos (L.P.I.) do Departamento de Engenharia Mecânica da mesma instituição.

Seguiu-se uma metodologia específica sugerida por Pahl (2005), a qual subdivide o projeto em cinco fases principais (Fig. 3).

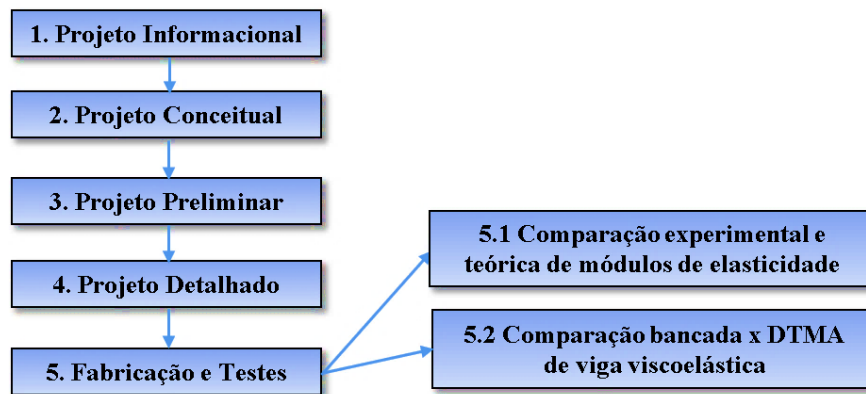


Figura 3. Metodologia de projeto seguida no desenvolvimento da bancada.

O aparato foi avaliado de duas formas. A primeira se deu a partir da comparação entre módulos teórico e experimental de elasticidade de um aço inoxidável 304 austenítico, utilizando um corpo de prova que consiste em uma viga retangular *cantilever*, com dimensões 67,00mm x 0,693mm x 0,211mm, obtida a partir de laminação a frio de um fio com 0,4mm de diâmetro. De acordo com a Irestal Group (2012) para este material, $\rho = 7,9.10^3 \text{ kg/m}^3$.

A segunda forma de avaliação se deu a partir da comparação entre o fator de perda ($\tan \delta$) obtido por meio da bancada desenvolvida, com o obtido em equipamento DMTA, na mesma temperatura de referência. Utilizou-se uma viga com dimensões 69,90mm x 8,94mm x 1,02mm, fabricada com Resina Poliéster Insaturada Ortoftálica Comum, cuja reação de cura se deu adicionando o catalizador Butanox, composto de peróxido de metil etil cetona, na proporção de 1% em peso. Esta viga, por ser de material polimérico, possuindo longas cadeias moleculares, apresenta comportamento viscoelástico. Ambas as vigas foram ensaiadas sob temperatura constante de 27°C. Estas oscilam lateralmente e foram engastadas verticalmente pela extremidade inferior, tal que esta ficou ortogonal à base e ao plano de medição do sensor, cujo laser mirou-se na extremidade superior da viga. As dimensões foram verificadas em projetor de perfil, com quadra check (digital) Modelo JT12B3. O engaste vertical se dá afim de minimizar a influência do peso da própria viga na descrição matemática do fenômeno.

Utilizou-se um DMTA (*Dynamic-Mechanical Thermal Analyzer*) modelo Q800 da marca TA Instruments, para obtenção de resultados a serem comparados com os obtidos através da bancada, quando esta foi avaliada comparando as propriedades viscoelásticas da viga de poliéster. O modo de ensaio foi *single-cantilever*, realizado sob frequência constante de 1Hz, amplitude de 15µm e com variação de temperatura de 20°C até 120°C, com taxa de aquecimento de 5°C/min.. O valor tomado como resultado para comparação do fator de perda foi aquele obtido à mesma temperatura em que se oscilou a viga na bancada desenvolvida, ou seja, 27°C.

2.1 Modelo Analítico Usado para Avaliação das Vibrações

O fenômeno foi modelado, como detalha-se em Batista *et. al.* (submetido para publicação), através da teoria de Euler-Bernoulli para elasticidade, que descreve a vibração flexional de uma viga *cantilever* pela equação diferencial:

$$\rho S \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -EI \frac{\partial^4 x}{\partial z^4}. \quad (1)$$

Onde, x é a deflexão da viga (ou amplitude de vibração) em um tempo t e z é a distância da extremidade engastada percorrida ao longo da viga. ρ é a densidade do material, S a área da seção transversal, I é o momento de inércia de área em torno do eixo maior da seção, neste caso $I = bh^3/12$, E é o módulo de elasticidade do material e ω_0 é frequência de ressonância no modo de vibrar adequado.

A solução para $z = L$ (extremidade livre) com as condições de contorno adequadas, nos dá $\cos(kL) \cosh(kL) = -1$, cujas raízes (kL) são: 1,875104; 4,694091; 7,854757 e 10,995541, correspondentes ao primeiro, segundo, terceiro e quarto modos normais de vibração respectivamente, onde $k = \left(\frac{\rho S \omega_0^2}{EI}\right)^{1/4}$. Resolvendo para E , é possível obter o módulo de elasticidade a partir da frequência de ressonância no primeiro modo de vibrar (ω_0 em rad./s), calculada através de ensaio na bancada desenvolvida e com conhecimento da raiz (kL) correspondente.

$$E = \frac{\omega_0^2 \rho S}{I k^4} \quad (2)$$

Os dados de Deslocamento (mm) X Tempo (s) foram capturados por osciloscópio, possibilitando plotar o gráfico, ou curva de amortecimento, da viga em vibração sub-amortecida. A partir destes, extraiu-se a frequência de ressonância no primeiro modo de vibração da viga (ω_0), a qual serve para o cálculo do módulo de elasticidade (E) pela Eq. (2).

A partir da curva de amortecimento, pode-se ainda calcular o fator de perda ($\tan \delta$) da amostra, como foi feito para a viga de poliéster. Desenvolvendo segundo Rao (2008), tem-se o ajuste da curva do decaimento logarítmico $A(t) = A_0 \cdot e^{-\zeta \omega_0 t}$. Possibilitando o cálculo do fator de perda pela Eq. (3)

$$\tan \delta \cong 2 \zeta = 1/Q \quad (3)$$

A_0 é a amplitude inicial, ζ é o fator de amortecimento, Q é denominado fator de qualidade e ω_0 é a frequência natural em rad/s .

A montagem da bancada e o desenvolvimento do modelo analítico utilizado no cálculo do módulo de elasticidade e o sistema de aquisição de dados foram descritos em mais detalhes no artigo "*Resonance in flexural vibrations of a thin clamped steel bar*" (Batista et. al., submetido para publicação, 2017).

3. PROJETO CONCEITUAL

Foram estabelecidos como principais requisitos a serem atendidos pela bancada: simplicidade, versatilidade à pesquisa e boa precisão. Com o desenvolvimento do processo de projeto, alcançou-se a melhor concepção para a bancada mostrada na Fig. 4.

Escolheu-se para monitoramento da amplitude de vibração da viga um sensor óptico Keyence IL-S025, que mede uma amplitude máxima de deslocamento de 5mm, a uma distância de referência de 25mm, com precisão de 10 μ m, auxiliado de um amplificador de sinal Keyence IL-1000, o qual acoplado é a um osciloscópio Agilent DSO7104B que fornece a curva de amortecimento do material pela captura do sinal de amplitude em função do tempo através de um computador.

O equipamento permite que o comprimento (L) da viga possa ser variado entre 30mm e 150mm, o que possibilita pesquisa futura para determinação da influência do comprimento da viga nos resultados do ensaio, inclusive influência de arrasto aerodinâmico.

A concepção da bancada é esquematizada na Fig. 4:

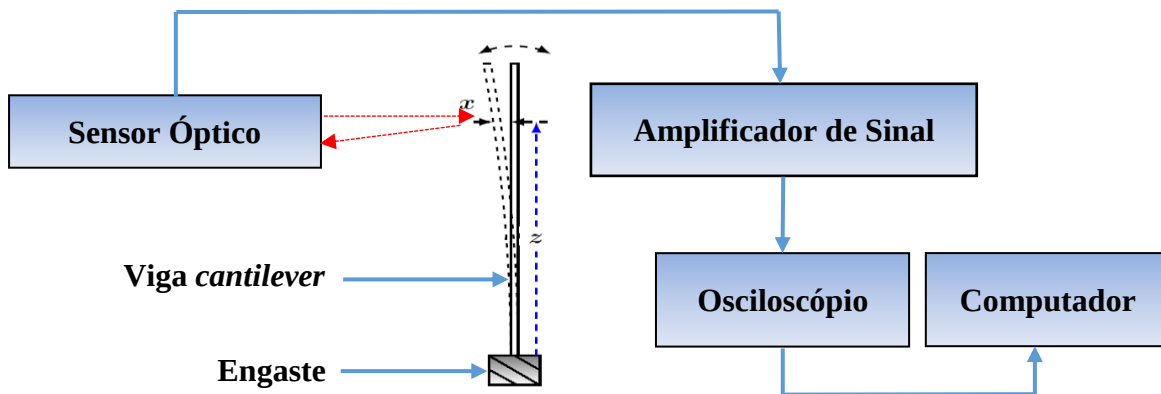


Figura 4. Esquema da concepção da bancada. Própria Autoria

4. FABRICAÇÃO E MONTAGEM

Utilizou-se para construção da bancada:

- Base inercial construída em mármore, para suportar toda estrutura e equipamentos utilizados;
- Suportes amortecedores de vibração – *Vibra Stop*, os quais suportam a base de mármore;
- Perfil estrutural (40x40) em alumínio para apoio e suporte de equipamentos eletrônicos; cantoneiras em alumínio;
- Parafusos fixadores;
- Engastes de aço que suportam a viga durante o ensaio e a haste que suporta o sensor óptico.

As partes descritas acima foram montadas junto aos aparatos eletrônicos descritos no tópico 3 (sensor óptico, amplificador, osciloscópio, computador).



Figura 5. Bancada experimental montada, em fase de avaliação e testes.

5. AVALIAÇÃO E TESTES

5.1 Comparação Teórica x Experimental do módulo de elasticidade de um aço inoxidável 304

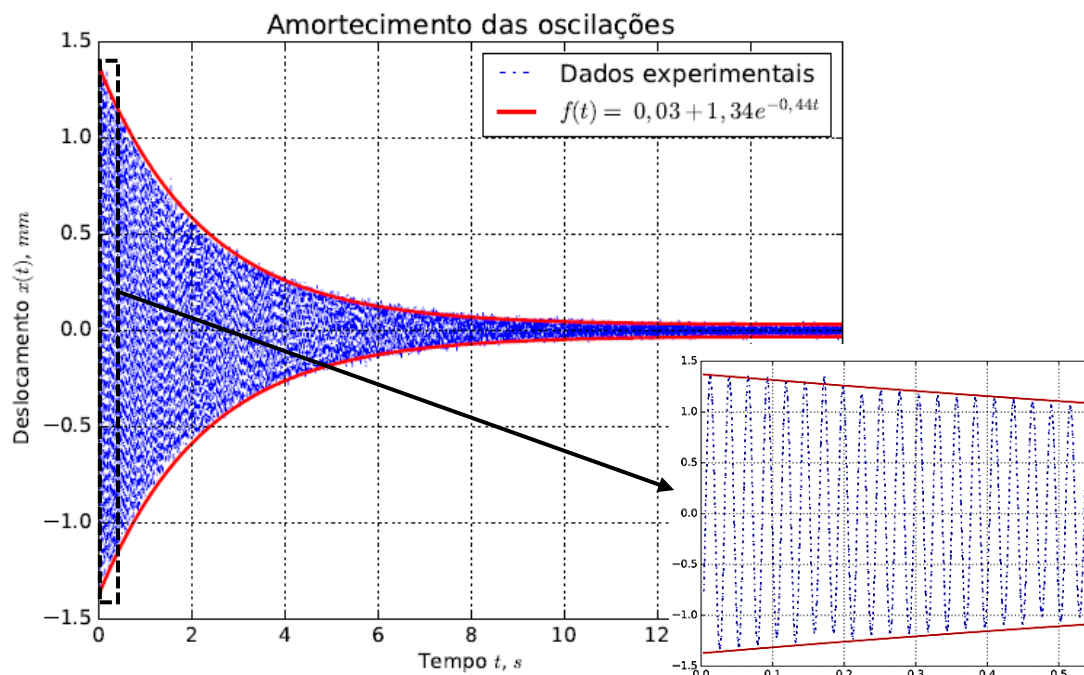


Figura 6. Curva de amortecimento obtida através da bancada desenvolvida para uma viga de aço inoxidável 304.

Através do ajuste da curva do decaimento logarítmico, obteve-se a função, $f(t) = 0,03 + 1,34e^{-0,44t}$, onde a constante 0,03 representa o ruído existente em mm, $A_0 = 1,34\text{mm}$ é a amplitude inicial e $\zeta\omega_0 = 0,44$ é o produto entre fator de amortecimento e frequência natural da viga.

A área da seção transversal é $S = 1,462 \cdot 10^{-7}\text{m}^2$ e o momento de inércia $I = 5,425 \cdot 10^{-16}\text{m}^4$. Sendo $kL = 1,875105$, no primeiro modo de vibra e $L = 0,067\text{m}$, tem-se $k = 27,99\text{m}^{-1}$.

Tabela 01: Dados extraídos da curva de amortecimento da viga de aço inoxidável ferrítico

ω_0 - Freq. Angular de Ressonância (rad/s)	ζ - Fator de Amortecimento	$\tan \delta$ - Fator de Perda
238,485	$1,845 \times 10^{-3}$	$3,690 \times 10^{-3}$

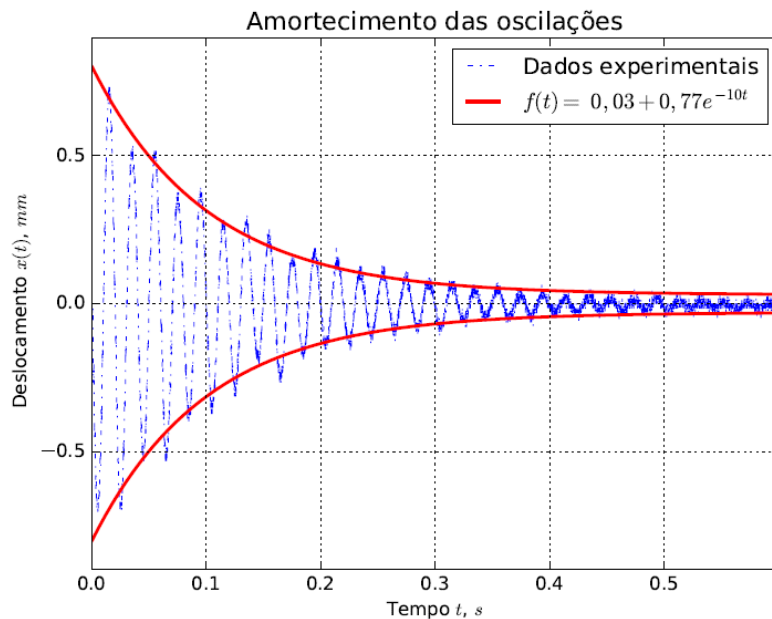
O pequeno valor de $\tan \delta$, se dá devido ao fato de que os metais em geral não apresentam comportamento viscoelástico, ao contrário do que acontece com polímeros. Este fator é útil para comparar a capacidade de amortecimento (dissipação de energia) de materiais de engenharia.

Tabela 02: Verificação do Módulo de Elasticidade

	Módulo de Elasticidade - E (GPa)
Dado da Literatura	193,00
Medido	197,280

É de conhecimento geral e prática comum em projetos de engenharia a utilização de $E=200\text{GPa}$ para aços em geral. Entretanto, para o aço inoxidável 304 especificamente, a Irestal Group (2012) fornece o valor de $E=193,00\text{GPa}$, em catálogo técnico para aços inoxidáveis. Observa-se assim um erro em relação ao dado tabelado de 2,22% do módulo de elasticidade obtido através da bancada para o aço utilizado.

5.2 Comparação do fator de perda ($\tan \delta$) de viga de material viscoelástico: Bancada x Equipamento de DMTA

**Figura 7. Curva de amortecimento obtida através da bancada desenvolvida para a viga de poliéster.**

Do gráfico da Figura 7, com o ajuste da curva do decaimento logarítmico obteve-se a função, $f(t) = 0,03 + 0,77e^{-10t}$, onde a constante 0,03 representa o ruído existente em mm, $A_0 = 0,77\text{mm}$ é a amplitude inicial e $\zeta\omega_0 = 10$ é o produto entre fator de amortecimento e frequência natural da viga.

Tabela 3. Dados extraídos da curva de amortecimento da viga de poliéster.

ω_0 - Freq. Angular de Ressonância (rad/s)	ζ - Fator de Amortecimento
315,617	0,031684

A análise em DMTA forneceu a curva conforme exibida na Fig. 8. A variação acentuada de $\tan \delta$ em aproximadamente 90°C se dá devido a esta ser a temperatura de transição vítrea do material chamada comumente de Tg.

Entretanto, este fenômeno não é o foco deste trabalho, o qual se limita à avaliação do fator de perda à temperatura de 27°C, para simples verificação de funcionamento da bancada experimental desenvolvida.

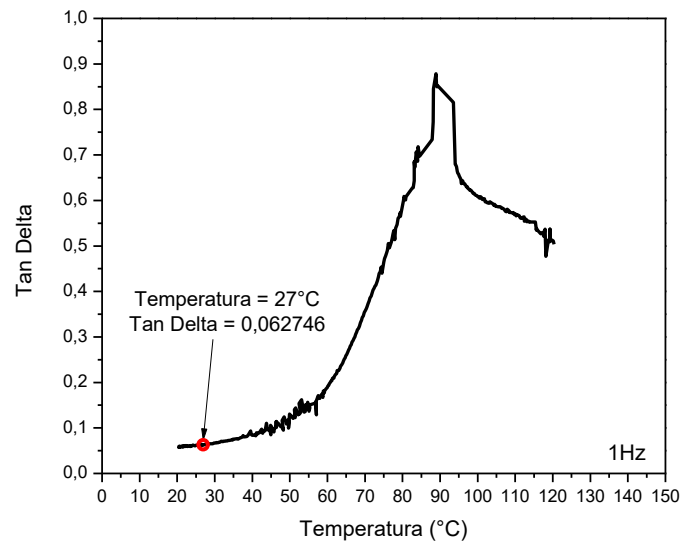


Figura 8. Gráfico de Tan Delta (fator de perda) x Temperatura (°C) da viga de poliéster, obtido por DMTA.

Tabela 4. Verificação dos fatores de perda obtidos a 27°C, através do ensaio da viga de poliéster em DMTA e na Bancada Experimental.

	Fator de Perda - $\tan \delta$ (27°C)
Resultado em DMTA	0,062746
Resultado na Bancada Desenvolvida	0,063368

Desta forma, observa-se uma discrepância de aproximadamente 1% do valor obtido pela bancada experimental em relação ao valor obtido no DMTA do $\tan \delta$, nas condições determinadas para ambos os ensaios na viga de poliéster.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido, construído e avaliado um sistema que se constitui de uma bancada experimental para caracterização dinâmico-mecânica de materiais. O mesmo apresentou perfeito funcionamento e foi bem avaliado nas duas formas de avaliação abordadas durante a fase de testes. As discrepâncias encontradas nas comparações do módulo de elasticidade experimental e da literatura (2,22%) para o aço inoxidável 304, assim como do fator de perda entre os obtidos pela bancada desenvolvida e por análise em DMTA (1%) para a viga de poliéster, foram consideradas relativamente pequenas e comuns em procedimentos experimentais, determinando o equipamento como confiável e preciso na caracterização dinâmico-mecânica de materiais. Desta forma, pode-se inferir que a bancada experimental desenvolvida pode ser tratada como alternativa ao uso do equipamento DMTA em caracterizações simples de materiais, em primeira análise sob temperatura constante e próxima à temperatura ambiente. A utilização do equipamento se dá de forma simples e versátil.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LAMMEA) do Departamento de Engenharia Mecânica e ao Laboratório de Termoanálises do Departamento de Engenharia de Materiais, ambos da UFCG, pela disponibilização de equipamentos e infraestrutura na realização de ensaios. A Magna Silmara de Oliveira Araújo pelo auxílio na realização dos ensaios em DMTA. Ao apoio propiciado pelo CNPq por meio de bolsa de pesquisa concedida ao primeiro autor.

8. REFERÊNCIAS

- Batista, A.A.; Da Silva, C.E.R. e De Souza, A.A.L.. Resonance in flexural vibrations of a thin clamped steel bar, (submetido para publicação, 2017).
- Canevarolo, S. V. Técnicas de caracterização de polímeros, Editora Artliber, p. 263-284, 2004.
- Irestal Group (Org.). Técnicas de Aço Inoxidável. Barcelona: Irestal Group, 2012. 4 p.

- Lorandi, N. P.; Cioffi, M. O. H.; Ornaghi J. H. Análise Dinâmico-Mecânica de Materiais Compósitos Poliméricos. Scientia Cum Industria, [s.l.], v. 4, n. 13, 2016.
- Mayer, J.R., "A Portable Instrument for 3-D Dynamic Robot Measurements Using Triangulation and Laser Tracking" IEEE Transactions on robotics and automation, VOL. 10, NO. 4, 1994
- Moreira, R. S.; Rodrigues, J. D.. Caracterização dinâmica do módulo complexo de materiais viscoelásticos. In: Métodos Computacionais em Engenharia, 2004, Lisboa. APMTAC, 2004. p. 1 - 15.
- Pahl, Gerhard et al. Projeto na Engenharia. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- Rao, Singiresu S.. Vibrações Mecânicas. 4. ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008
- Sakaguchi, R. L. et al. Dynamic mechanical analysis of storage modulus development in light-activated polymer matrix composites. Dental Materials. Publicação Online, p. 197-202. ago. 2001.
- Santade, F. Análise dinâmica do amortecimento em estruturas compostas com material viscoelástico. 2013. 79 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2013.
- Souza, J. C. S.; LIMA J.J.. Determinação dos Módulos de Armazenagem e de Perda de Materiais Viscoelásticos - Padrão ASTM. In: Nono Simpósio de Mecânica Computacional, São João del Rei. Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia, 2010. p. 1 - 8.
- Gu W., Kampe S. L., Lu G. Q. e Wu H. F.. Correlation of fiber pull-out strenght and interfacioal vibration damping techniques by micromechanical analysis. Journal of Materials Science, n. 33, 1998.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EXPERIMENTAL COUNTERTOP DEVELOPMENT FOR DYNAMIC-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF MATERIALS BY VIBRATION DAMPING

Ayrton O. Abrantes, ayrtonabrantes@hotmail.com¹

Carlos E. Rufino da Silva, carlooseduardorufino7@gmail.com²

Wanderley F. de Amorim Júnior, wanderley.ferreira@ufcg.edu.br¹

Adriano A. Batista, adriano@df.ufcg.edu.br²

¹ Federal University of Campina Grande, St. Aprígio Veloso, 882, Departament of Mechanical Engineering, Block BR, Universitário, Campina Grande – PB.

² Federal University of Campina Grande, St. Aprígio Veloso, 882, Departament of Physics, Block CY, Universitário, Campina Grande – PB.

Abstract. *The objective of this work was to develop, construct and test an experimental countertop for application in a non-destructive test for dynamic-mechanical characterization of materials by means of the lifting of damping curves, through which, one can obtain resonance frequency (ω), modulus of elasticity (E), damping factor (ζ) and loss factor ($\tan \delta$). A cantilever beam is used as specimen. The methodology used is basically the division of the project in the informational, conceptual, detailing, manufacturing and testing phases. Assessment comes in two forms. Firstly, through the comparison between theoretical and experimental modulus of elasticity of an austenitic 304 stainless steel. Another form of evaluation was obtained by comparing the loss factor calculated from the developed countertop tests with the results obtained using a DMTA (Dynamic-Mechanical Thermal Analyzer) equipment, Q800 model, on a polyester beam (viscoelastic material). The proposed system consists basically of metallic structure, inertial base, optical sensor and electronic devices for signal capture. It has been well evaluated and can be treated as an alternative to the use of DMTA equipment in simple characterization of materials, at close to ambient temperature. Its use is simple and versatile.*

Keywords: Vibrations, Damping, Materials, Characterization.