

Validação numérica de ensaios de caracterização do bambu

Numerical validation of bamboo characterization test

RESUMO

Leonardo Pirola dos Santos
leonardosantos.2016@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Paóla Regina Dalcanal
paoladalcanal@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

O cimento é um dos materiais mais usados na construção civil, mas em sua fabricação é lançada grande quantidade de gás carbônico na atmosfera, portanto buscam-se materiais que possam substituí-lo ou reduzir a sua utilização. Neste sentido, o bambu tem se mostrado uma opção, por ser um material natural, abundante, relativamente de baixo custo, com crescimento rápido e que apresenta boas propriedades mecânicas. Porém, ainda pouco explorado na construção civil brasileira, por falta de normatização nacional e estudos sobre seu comportamento como elemento estrutural. Visando aumentar o conhecimento sobre seu comportamento, essa pesquisa é parte de um projeto maior de estudos do bambu, que auxiliou uma dissertação de mestrado, e tem como objetivo modelar numericamente o ensaio de flexão dinâmica realizado. Para isso, foi feita uma análise do tipo modal, utilizando-se o programa *Ansys*. Os resultados obtidos na modelagem computacional, quando comparados aos da pesquisa experimental, apresentam diferença de valores. Essa divergência pode ser explicada pela forma de consideração do bambu, que na modelagem foi adotado como isotrópico, e na realidade é um material ortotrópico.

PALAVRAS-CHAVE: Análise modal. MEF - Programas de computador. Dinâmica estrutural.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

Cement is one of the most used materials in civil construction, but in its manufacture a large amount of carbon dioxide is released into the atmosphere, so materials are researched that can replace it or reduce its use. In this sense, bamboo has proved to be an option, as it is a natural, abundant, relatively low-cost material, with rapid growth and good mechanical properties. However, still little explored in Brazilian civil construction, due to the lack of national standardization and studies on its behavior as a structural element. In order to increase knowledge about its behavior, this research is part of a larger project of studies of bamboo, which helped a master's thesis. It aims to numerically modeling the dynamic bending test performed. For this, one realized a modal analysis using the *Ansys* program. The results obtained in computational modeling, when compared to those of experimental research, present a difference in values. The way one had considered the bamboo in numerical modeling can explain this divergence, because one had adopted it as isotropic and, in reality, it is an orthotropic material.

KEYWORDS: Modal analysis. FEM – computer programs. Structural dynamics



INTRODUÇÃO

Desde o início da colonização do território brasileiro, as construções foram executadas de acordo com a cultura de cada país colonizador que fez parte desse processo. Devido a essa cultura, as edificações em sua maioria, foram sendo construídas com pedras e madeira, até a chegada do cimento por volta da década de 20, onde foi inaugurada a primeira fábrica de cimento no Brasil (SNIC, 2003).

Mas, para gerar este material, que se tornou o mais usado na construção civil, devido as suas propriedades mecânicas, baixo custo em relação a outros materiais e por ser moldável, é necessária uma grande quantidade de energia, liberando assim, uma grande quantidade de gás carbônico na atmosfera. Por conta disso, a construção civil é responsável por 54% das emissões de carbono do mundo e 25% da extração de madeira do planeta, gerando também uma média de 500 quilos de resíduos por habitante (TEIXEIRA JUNIOR et al, 2009).

Dessa maneira, havendo a necessidade da descoberta de novos materiais renováveis e que possam ser utilizados na construção civil, surge o bambu como alternativa. Além disso, ele se destaca por ter um baixo custo, ser pouco poluente, possuir resistência comparada com a do aço, seu plantio é fácil além de ter um crescimento rápido e ser durável (SOUZA, 2004).

Neste estudo, foi utilizada a espécie *Phyllostachys aurea* (PA) devido a sua grande disponibilidade na região sudoeste do Paraná, onde foi realizada a pesquisa. Como há poucos estudos em relação ao material em questão, o objetivo desse estudo é detalhar o comportamento da espécie *Phyllostachys aurea* sob a ação de cargas dinâmicas, descobrir seu módulo de elasticidade dinâmico, e realizar a validação do ensaio experimental de flexão dinâmica, realizado na dissertação “Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*”, (VASATA, 2020), realizada pela aluna de mestrado Ana Claudia Dal Prá Vasata, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco (UTPFR-PB) .

Para tal foi realizada a modelagem numérica, no programa *Ansys 18.1*, de uma viga em bambu submetida ao ensaio de flexão dinâmica, com o intuito de descobrir sua frequência natural e seu módulo de elasticidade dinâmico e comparar esses valores aos obtidos experimentalmente.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é de natureza aplicada, onde o objeto de estudo retrata os fenômenos ocorridos durante os ensaios dinâmicos com bambu da espécie *Phyllostachys aurea*.

Os colmos de bambu utilizados no ensaio experimental foram coletados na cidade de Pato Branco, Paraná, em novembro de 2018. Quando coletados, foram armazenados em local com proteção do sol e chuva, sem contato com o solo, até atingirem um teor de umidade próximo de 12%. Feito isso, as amostras passaram por um processo de marcenaria, sendo lixadas para gerar uma seção retangular e uniforme, retirando-se o máximo possível da casca presente na parte externa das amostras (VASATA, 2020).

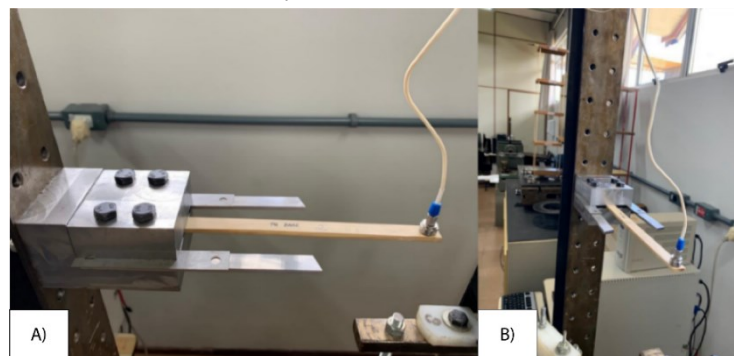
O ensaio de flexão dinâmica foi realizado de forma semelhante ao indicado na norma ASTM E756 (2017), que traz o padrão de testes para medir as propriedades de vibração-amortecimento dos materiais. Trata-se de um ensaio com a amostra engastada. Para prender a amostra, foi construído um engaste, garantindo que não gerasse amortecimento, nem houvesse rotação nem translação nesta extremidade. O engaste, mostrado na Figura 1, foi feito com Aço-1029.

Para apertar os parafusos do engaste e prender a amostra no ensaio foi utilizado um torquímetro, modelo 2550-23 fabricado pela Gedore. O torque estabelecido em cada parafuso do engaste foi de 20N.m. Para chegar neste valor foram feitos testes com vários torques diferentes e foi visto que não há interferência do mesmo no ensaio.

Para excitar a amostra foi utilizado um martelo de impacto, modelo 2303-10, fabricado pela ENDEVCO, Figura 2 A), sendo que cada excitação foi aplicada no centro de cada amostra. Vale destacar que a frequência natural dos materiais varia conforme o comprimento da amostra, sendo assim, os ensaios foram realizados em 4 comprimentos diferentes.

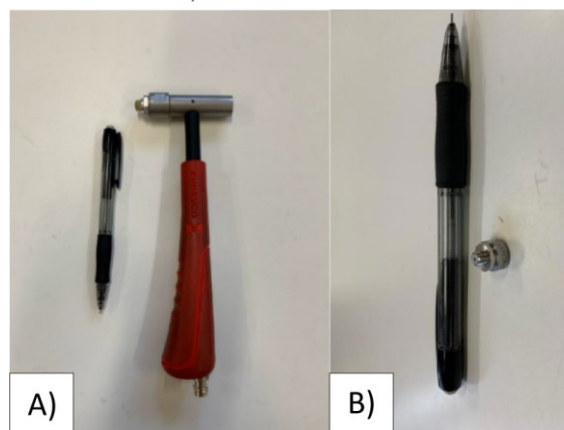
Um acelerômetro, modelo 256-100 S/N 13657, também fabricado pela ENDEVCO, Figura 2 B), foi utilizado para medir a amplitude da excitação aplicada. Em cada amostra, foram feitas 5 excitações em cada variação de comprimento.

Figura 1 – Ensaio de flexão dinâmica, com detalhe do engaste construído: A) vista lateral, B) vista frontal



Fonte: Vasata (2020).

Figura 2 – Equipamentos utilizados no ensaio de flexão dinâmica: A) martelo de impacto, B) acelerômetro.



Fonte: Vasata (2020).

Todos os sinais emitidos após a excitação da amostra foram enviados a um analisador de sinais, modelo 01dB-Metravib, fabricado pela AREVA. Com isso, foi possível calcular os espectros de frequência discreta de sinais individuais, determinando assim, a frequência natural das amostras ensaiadas (VASATA, 2020).

A frequência natural indica o quanto uma estrutura livre oscila após uma força aplicada gerar uma excitação na mesma. Ela é função da rigidez e da massa da estrutura e representa o quanto a estrutura vibra quando não há nenhuma força aplicada sobre ela. Sua mensuração é feita em Hertz (Hz). Uma estrutura possui diversas frequências naturais, sendo sua principal a primeira, a menor, denominada também fundamental. Juntamente com as frequências naturais existem os modos de vibração da estrutura, que são as formas como a estrutura vibra. Para cada frequência natural existe um modo de vibração (DA NÓBREGA E DE HANAI, 2005).

A frequência natural é obtida no ensaio dinâmico pelo sistema de aquisição de dados. E o módulo de elasticidade dinâmico experimental pode ser calculado, utilizando-se os valores de frequência natural, utilizando-se a Eq. (1), (ARMANDEI; DARWISH; GHAVAMI, 2015):

$$E_{dyn} = 12 \frac{\rho L^4 f^2}{t^2 C_n^2} \quad (1)$$

Onde:

ρ : massa específica aparente, kg/m³;

f : frequência natural, Hz;

L : comprimento da viga, m;

t : espessura, m;

C_n : coeficiente para o modo n para uma viga uniforme;

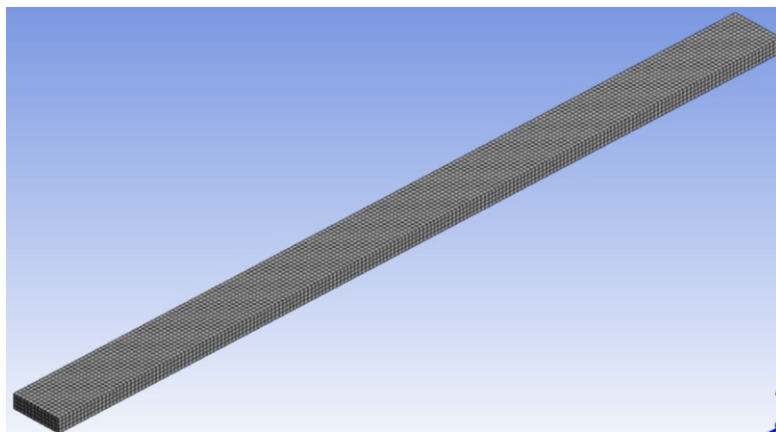
Já para realizar a modelagem computacional, foco desse estudo, foi utilizado o programa *Ansys 18.1*, versão disponível na UTFPR, que se trata de um programa que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF) em suas análises, usando amplamente para simulações na área da engenharia. Neste caso foi utilizada a análise modal para encontrar a frequência fundamental das amostras.

A análise modal é um processo teórico e experimental que possibilita a criação de um modelo matemático que representa o comportamento dinâmico da estrutura para determinação de seus parâmetros modais tais como: frequências naturais, modos de vibração e fatores de amortecimento modal. Esses parâmetros podem ser determinados por métodos teóricos, como por exemplo o MEF.

Segundo Antunes (2003), na modelagem numérica, o MEF tem sido considerado o mais impactante dos métodos numéricos durante as últimas décadas, sendo utilizado em grande escala na engenharia. Apesar disso, deve-se ter em mente de que a modelagem numérica não é fiel à realidade, podendo ter como incertezas as condições de contorno, diferença entre estrutura projetada e construída, além do amortecimento modal que varia de acordo com cada estrutura e só pode ser mensurado quando a estrutura já estiver sido executada (SILVA et al., 2018).

Nesta simulação, foram modeladas duas vigas com uma malha quadriculada de tamanho de 0,001 m, totalizando 10400 elementos, como apresentado na Figura 3. Cada viga com propriedades diferentes, uma representando a base do colmo e outra o meio do colmo de bambu. Ambas com as dimensões de 200 x 13 x 3,6 mm (C x L x H).

Figura 3 – Malha utilizada na modelagem computacional.



Fonte: Autoria própria (2020).

Para realização da modelagem computacional, o material lançado no programa *Ansys* foi considerado como isotrópico, pois o pouco tempo de pesquisa não permitiu realizar os ensaios para validação das propriedades do bambu em todas suas direções. Portanto, os valores de módulo de elasticidade a flexão (E_m) e densidade (ρ), necessários para modelagem computacional, foram retirados da dissertação de Vasata (2020), e estão expressos na Tabela 1, divididos em *Phyllostachys aurea* Base (PAB) e *Phyllostachys aurea* Meio (PAM):

Tabela 1 – Valores do módulo de elasticidade e da densidade adotados.

Amostra	ρ (kg/m ³)	E_m (GPa)
PAB	571,68	10,39
PAM	638,84	9,55

Fonte: Vasata (2020).

O coeficiente de Poisson, utilizado na modelagem numérica, foi retirado da bibliografia de Rosa (2005), sendo igual a 0,34.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a modelagem computacional para a primeira frequência natural das amostras, bem como os obtidos experimentalmente por Vasata (2020), são apresentados na Tabela 2. E, os valores dos módulos de elasticidade dinâmicos, calculados por meio da Eq. (2), são expostos na Tabela 3.

Tabela 2 – Primeira frequência natural.

Amostra	Mode	Frequência Natural (Hz) Modelagem computacional	Média da Frequência Natural (Hz) Vasata, (2020).
PAB	1	62,23	46,63
PAM	1	56,44	39,07

Autor: Autoria própria (2020).

Tabela 3 – Módulo de elasticidade dinâmico.

Amostra	E_{dyn} (GPa) Modelagem Computacional	Média E_d (GPa) Vasata, (2020)
PAB	10,47	4,40
PAM	9,62	2,96

Autor: Autoria própria (2020).

Tendo em vista os resultados obtidos experimentalmente por Vasata (2020) e os resultados obtidos através da modelagem computacional, percebe-se um valor quase 2,3 vezes maior obtido pela modelagem numérica em relação ao ensaio de flexão dinâmica para a região da base e de cerca de 3,25 vezes maior para a região do meio. Essa diferença de valores pode ser interpretada na consideração do material na modelagem, uma vez que o bambu é um material ortotrópico, ou seja, um material cujas suas propriedades variam de acordo com a direção em que é analisado, e na modelagem foi considerado como isotrópico. Outro ponto importante a ser considerado é que as vigas experimentais possuíam uma certa quantidade de casca em sua composição, já na modelagem numérica a viga é tratada como um elemento uniforme.

CONCLUSÃO

Levando-se em consideração os objetivos deste trabalho, que são a modelagem numérica de uma viga em bambu para o ensaio de flexão dinâmica, pode-se concluir que os resultados foram discrepantes em relação ao ensaio realizado por Vasata (2020), porém de forma justificável levando-se em consideração as divergências entre os procedimentos e considerações adotadas.

Apesar disso, pode-se perceber que o material em estudo possui alto potencial na construção civil, devido a suas boas propriedades mecânicas e que devem-se pesquisar e aprimorar conteúdos sobre o assunto.

O pouco tempo da pesquisa não permitiu melhorar a modelagem numérica. Acredita-se que, considerando-se o material como ortotrópico e não homogêneo na modelagem computacional os resultados ficarão mais próximos dos experimentais.

REFERÊNCIAS

SNIC. **O Cimento no Brasil**. Rio de Janeiro: Snic, 2003.

TEIXEIRA JUNIOR, A. B.; KENUPP, L. Kozłowski; CAMPOS, R. de Q. Utilização do bambu na construção civil - uma alternativa ao uso da madeira. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 1-7, jul. 2009. Disponível em: <http://snic.org.br/historia.php>. Acesso em: 01 ago. 2020.

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na habitação de interesse social no Brasil**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo. **Construction And Building Materials**. Rio de Janeiro, p. 784-791. out. 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815304992?casa_to ken=eCfEUhUxxcYAAAAA:HdWzVYMYrtdSR4_qeT8qONyT0uAzZVNO6LQTVyhhNU TZSzFxlT-G2X9Hrbi1vkBM39Q_jm6V9_s. Acesso em: 10 ago. 2020.

VASATA, Ana Claudia dal Prá. **Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea***. 2020. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

DA NÓBREGA, Petrus Gorgônio B.; DE HANAI, João Bento. **A análise modal na avaliação de estruturas de concreto pré-moldado**. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/132.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

Standard, ASTM E 756: **Standard test method for measuring vibration-damping properties of materials**. West Conshohocken, PA: [s.n.], 2017.

ANTUNES, P. T. S. **Modelagem numérica tridimensional visando o estudo de tensões na Bacia do Recôncavo via método dos elementos finitos**. 2003. Tese de Doutorado. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA, Irwing Aguiar Ribeiro da et al. Análise estrutural dinâmica experimental e numérica de passarelas devido ao caminhar de pedestres. **Anais do XIII Simmec**. Vitória: 2018. Disponível em: <https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CILAMCE2017-0586.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

ROSA, C. C. da. **Análise experimental das propriedades dinâmicas dos bambus das espécies *guadua*, *dendrocalamus* e *aurea***. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.