

3.

Métodos e materiais

3.1.

Introdução

Os ensaios são desenvolvidos no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) do Departamento de Engenharia Civil, no Laboratório de Vibrações do Departamento de Engenharia Mecânica, ambos na PUC-Rio e no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA. Os bambus utilizados são das espécies *Phyllostachys aurea*, de um bambuzal localizado na cidade de Bananal no estado de São Paulo, *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia*, de bambuzais localizados no Jardim Botânico no estado do Rio de Janeiro.

Os bambus da espécie *Phyllostachys aurea* foram cortados em outubro de 2001, a aproximadamente 20 cm acima do nível do solo e foram mantidos em posição vertical, curando, durante o período de 5 semanas. Depois foram cortados em comprimento de três metros para o transporte ao LEM-PUC. Ficaram armazenados na posição vertical no LEM.

Os bambus das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia* foram cortados em março de 2003, 15 cm acima do nível do solo e foram mantidos na posição vertical, curando, durante o período de duas semanas. Foram cortados também em comprimento de três metros e transportados ao LEM na PUC-Rio. Foram mantidos no LEM nas mesmas condições que o *Phyllostachys aurea*.

É importante observar que devido ao fato de que o bambu apresenta diferentes propriedades físicas e mecânicas ao longo do seu comprimento, dividido em base, meio e topo, no presente trabalho, são utilizadas somente bases de bambu.

3.2.

Massa Específica

Para a determinação da massa específica, são cortadas dez amostras de cada espécie conforme mostrado na Figura 3.1. Os corpos de prova para este ensaio ainda são divididos em quatro partes para ser verificado o peso específico de acordo com a concentração de fibras, também mostrado na Figura 3.1. Eles são divididos em CP1, CP2, CP3, CP4, aumentando de acordo com a concentração das fibras, ou seja, os corpos de prova CP1 têm uma concentração de fibras menor que o CP4.

A espécie *Phyllostachys aurea* não pode ser cortada em quatro partes como as outras, pois a espessura era menor. Sendo cortada em somente duas partes, obedecendo ao mesmo princípio das outras espécies, o crescimento da concentração das fibras obedece à ordem da numeração.

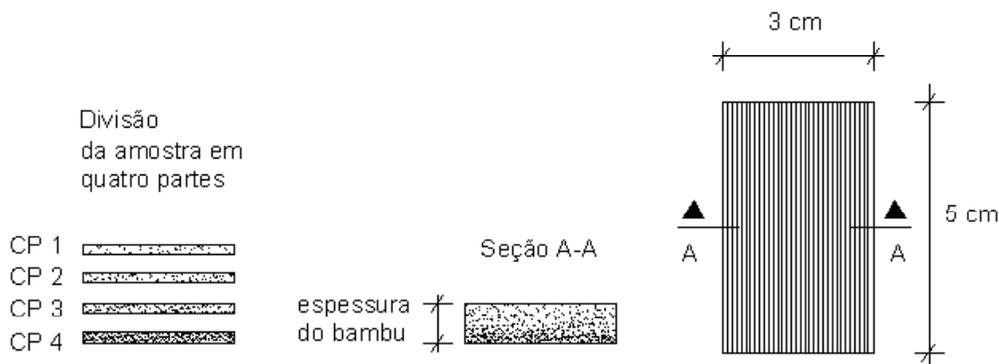


Figura 3.1 – Dimensões das amostras de bambu para o ensaio de massa específica.

O corpo de prova é pesado, seco ao ar em uma balança eletrônica com precisão de 0,01 g para obter a massa (m), em gramas, como mostrado na Figura 3.2.

Segundo a norma INBAR – ISO/ TC 165 N315 Date: 2001-12-07 para obter o volume dos corpos de prova, primeiro determina-se a massa do equipamento (M_{eq}) em que o corpo de prova é submerso na água, em gramas. Depois determina-se a massa do corpo de prova junto com o equipamento (M_{eq+a}), em gramas, segundo a Figura 3.3. O volume do corpo de prova é determinado através da equação 3.1.

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = m - M_{\text{eq+a}} + M_{\text{eq}} \quad (3.1)$$

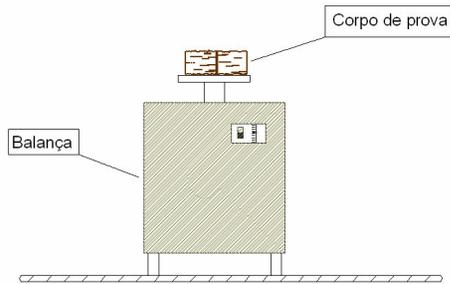


Figura 3.2 – Corpo de prova de bambu sendo pesado na balança eletrônica com precisão de 0,01 g.

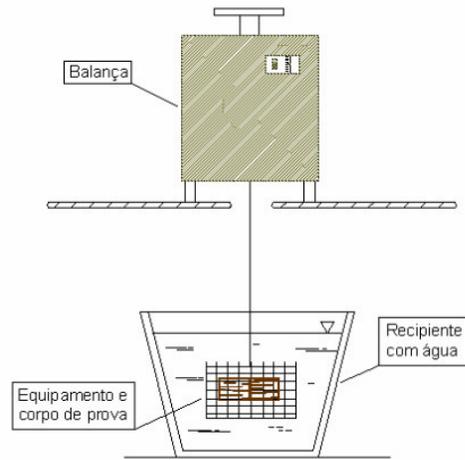


Figura 3.3 – Determinação peso do corpo de prova através da imersão em água.

A massa específica é obtida a partir da equação (3.2).

$$M_{\text{eb}} = \frac{m}{\text{Volume}} \quad (3.2)$$

3.3.

Módulo de elasticidade à flexão e coeficiente de Poisson

Este ensaio tem como objetivo determinar o módulo de elasticidade à flexão e o coeficiente de Poisson das três espécies de bambu em estudo.

São utilizados dois segmentos de bambu com nó, de cada espécie, para este ensaio. O sistema formado para a determinação do módulo de elasticidade à flexão e do coeficiente de Poisson é composto pelos elementos apresentados no esquema das Figuras 3.4, 3.5 e 3.6. São colados, no segmento, “strain gages” unidirecionais (tipo: PA-06-250BA-120L Excel Sensores), orientados nas duas direções, longitudinal e transversal, próximos ao engaste, onde as deformações são máximas.

O lado engastado do segmento é concebido através da fixação deste na extremidade de uma mesa com o auxílio de garras metálicas. Na extremidade livre do segmento foram aplicadas cargas estáticas, de maneira gradual, através da utilização de pesos colocados convenientemente em um suporte preso nessa extremidade.

Os “strain gages” foram ligados ao módulo de aquisição de dados (Vishay modelo P-350 A Serial nº 037003 Measurements Group), o qual fez a leitura das deformações à medida que as cargas são aplicadas. Também foram medidos os deslocamentos dos segmentos.

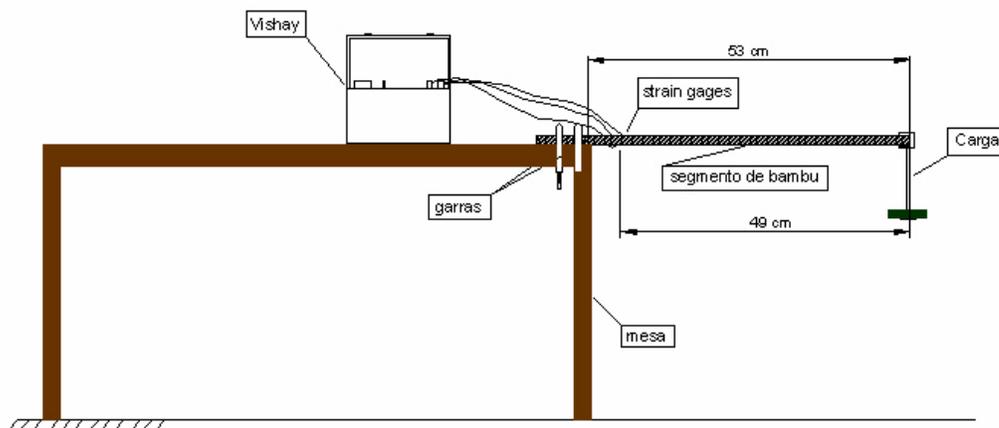


Figura 3.4 – Esquema do ensaio com carga estática.

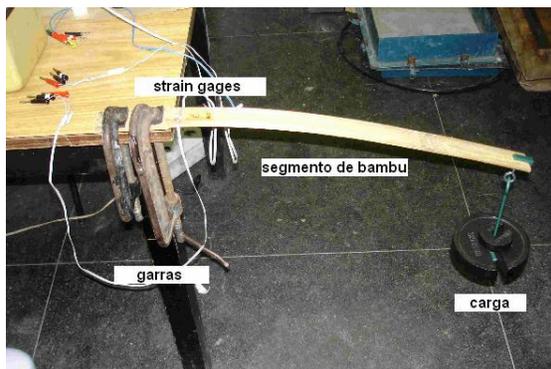


Figura 3.5 – Segmento de bambu com carga da extremidade livre.



Figura 3.6 – Vishay, utilizado para obter as deformações dos segmentos.

Os módulos de elasticidade à flexão são obtidos a partir da equação (3.3):

$$E_f = \frac{PL^3}{3dI} \quad (3.3)$$

Onde, E_f é módulo de elasticidade à flexão, P a carga, L o comprimento, d o deslocamento e I o momento de inércia da seção transversal.

O coeficiente de Poisson é determinado diretamente dos gráficos obtidos das leituras do extensômetros, conforme relatado no capítulo 4.

3.4.

Fator de amortecimento e frequência natural

3.4.1.

Via ensaio direto

Para a determinação do fator de amortecimento do bambu e da frequência natural do sistema, oito segmentos de cada espécie de bambu são cortados. Foi necessário cortar o bambu inteiro em partes menores (1 metro cada) para possibilitar o transporte do mesmo. As dimensões dos corpos de prova são: 0,038 m de base, 0,005 m de altura e 0,55 de comprimento livre (do apoio até a extremidade).

O sistema formado para a realização do ensaio é constituído basicamente pelo segmento engastado em uma de suas extremidades a um suporte metálico sobre uma mesa, um acelerômetro (modelo 752-100 S/N AB47 com sensibilidade de 10.174 mV/g) preso com o auxílio de cera de abelha na extremidade livre do segmento e um microcomputador. Uma pequena carga com um leve toque é aplicada na extremidade livre do segmento, de forma a representar um pulso de carga. A resposta é registrada no computador através do programa HP 356 xa PA 100 E, que capta o sinal enviado pelo acelerômetro. As respostas dos segmentos são avaliadas tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo, para se obterem as propriedades dinâmicas do modelo físico, ou seja, seu fator de amortecimento e frequências naturais.

O esquema do ensaio é apresentado nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9:

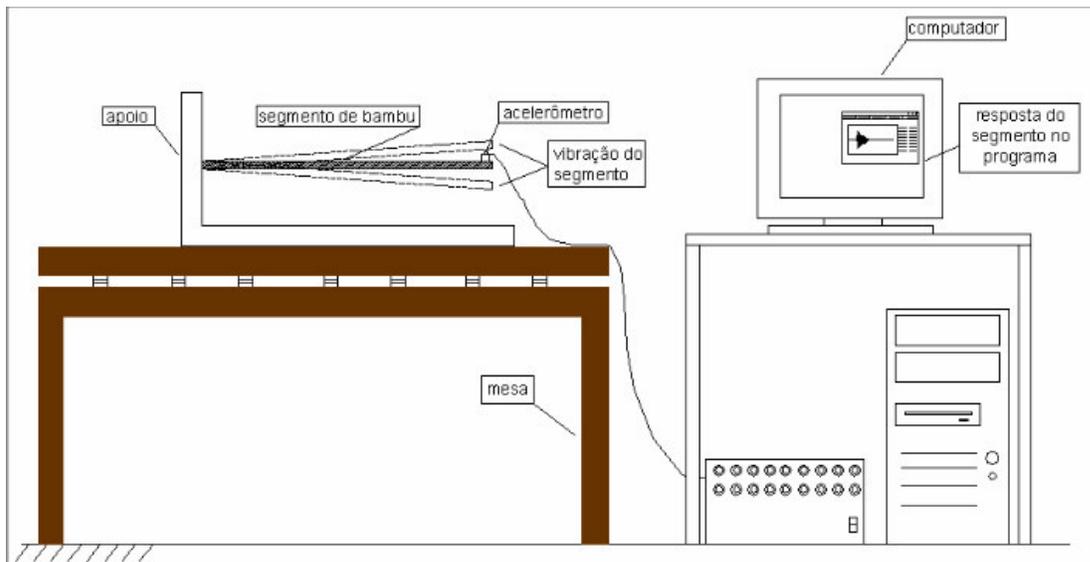


Figura 3.7 – Esquema do ensaio para determinação do fator de amortecimento e frequência natural do segmento em balanço.



Figura 3.8 – Segmento de bambu em balanço para o ensaio de determinação das propriedades dinâmicas.



Figura 3.9 – Computador usado para se obterem as respostas dos segmentos.

3.4.2.

Via análise modal

Os ensaios são desenvolvidos no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA. Inicialmente, são propostas duas formas para determinação das propriedades, fator de amortecimento e frequências naturais, sendo uma constituída

pelo bambu suspenso por um fio (barbante de algodão) e o bambu apoiado sobre esponjas, uma base elástica. Na primeira forma, não se obteve sucesso, pois o bambu era muito pesado e o fio (barbante de algodão) não suportava o peso; portanto, foi necessário cortar as amostras. Então as amostras são divididas da seguinte forma: bambus com 1 metro de comprimento apoiado sobre base elástica, às esponjas e bambus com 0,33 metros presos por um fio (barbante de algodão) em uma de suas extremidades. Estas condições de apoio se assemelham a uma análise livre-livre, que é o procurado, procedimentos que apresentassem baixa interferência das condições de contorno nas respostas dinâmicas encontradas. As espécies utilizadas nesses ensaios são as mesmas dos ensaios anteriores.

Estes ensaios têm como objetivo determinar as Funções Resposta em Freqüência (Pontual e de Transferência). Depois de obtidas as FRF's, os parâmetros modais das vigas são obtidos através de um software específico, no caso o TEST.LAB Ver 4B.

3.4.2.1.

Apoios especiais

Com base em experimentos realizados anteriormente no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA, são escolhidas duas condições de apoio especiais:

3.4.2.1.1.

Condição de contorno 1

Para este ensaio foi desenvolvido um esquema onde os bambus são presos por um fio (barbante de algodão) em uma de suas extremidades, conforme mostrado na Figura 3.10.

Para a realização deste ensaio foi necessária a utilização dos seguintes equipamentos:

- Martelo pequeno, célula de carga, com um contrapeso para aumentar a inércia do mesmo e com uma ponta de plástico;
- Cabos BNC, para a conexão do acelerômetro e do martelo com o analisador;
- Acelerômetro PCB, Modelo 352B68, sensibilidade 104,5 mV/g;

- Um analisador HP 35665 A com número de série: 3603A03491, Versão do Software instalado no Analisador: FIRMWARE REVISION: A.01.11, que realiza as análises utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT) de espectro com um ou dois canais dentro de uma faixa de frequência que vai de 0,19531 Hz até 102,4 kHz para o modo de um canal e 0,097656 Hz até 51,2 kHz para o modo de dois canais.

O martelo e o acelerômetro são conectados ao Analisador Dinâmico de Sinais HP 35665 A com os cabos CBN aos canais 1 e 2 respectivamente.

Foram utilizadas 3 amostras de cada espécie. O corpo de prova tinha 0,33 metros e foi dividido e marcado com uma caneta em 13 pontos equidistantes, o acelerômetro foi preso no último ponto na extremidade livre, ou seja, no ponto 13 com o auxílio de cera de abelha. Então foi aplicada uma carga de impacto com o martelo 5 vezes em cada ponto para obter as FRF's pontual e as FRF's de transferência.

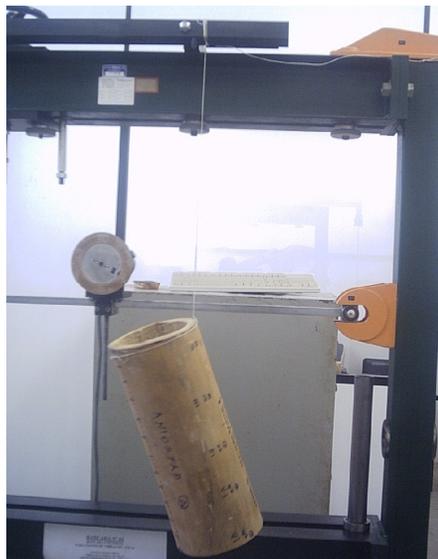


Figura 3.10 – Bambu preso em uma de suas extremidade por um fio.

3.4.2.1.2.

Condição de contorno 2

Neste ensaio o segmento bambu com 1 metro de comprimento foi apoiado sobre duas esponjas nas extremidades em uma bancada conforme mostrado na

Figura 3.11. Mede-se a distância entre os apoios, sendo então dividido em 12 partes iguais. Para a realização deste ensaio foi necessária a utilização dos mesmos equipamentos utilizados e mesmo procedimento do ensaio anterior.

A posição do acelerômetro na amostra é mostrada na Figura 3.11. Para obter a FRF Pontual aplica-se uma carga de impacto com o martelo no ponto onde o acelerômetro foi fixado, conforme a Figura 3.12. Para obter as FRF's de transferência aplica-se uma carga de impacto com o martelo nos outros pontos marcados na viga, conforme a Figura 3.13.



Figura 3.11 – Bambu inteiro apoiado sobre as esponjas.



Figura 3.12 – Obtenção da FRF Pontual.



Figura 3.13 – Obtenção de uma FRF de Transferência.