

3

Materiais e métodos

O trabalho em estudo foi desenvolvido em diversos laboratórios, são eles: Laboratório de Estruturas e Materiais – LEM - do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio; Laboratório de Materiais Conjugados do Instituto Militar de Engenharia – IME; Laboratório de Microscopia Digital - LMD e Laboratório de Processamento Digital de Imagem – LPDI, ambos do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio. Tendo por objetivo determinar as propriedades físicas (peso específico, absorção de água, mudanças dimensionais, teor de umidade natural) e mecânicas (resistência à tração, compressão axial e ao cisalhamento longitudinal) e meso-estrutural do bambu da espécie *Guadua weberbaueri*, com idade aproximada de três anos e proveniente de bambuzal localizado na Reserva Florestal Humaitá, em Porto Acre – Acre.

A nomenclatura utilizada para a identificação da amostra foi igual a do exemplo a seguir: **3GWB4**, onde:

- 3** – Número da amostra;
- G** – Espécie *Guadua*;
- W** – Gênero *weberbaueri*;
- B** – Base – amostra retirada da região basal;
- 4** – Número do internó.

3.1. Propriedades físicas

3.1.1. Peso específico

Para se determinar o peso específico (γ), os corpos de prova cilíndricos (Figura 3.1), com dimensões $L = D$ (L = comprimento e D = diâmetro), são pesados em balança eletrônica com precisão de 0,01g na condição de seco ao ar (P_s) e depois medido seu volume aparente (V) utilizando um picnômetro com precisão de 0,25 ml. Eles se encontram secos ao ar após permanecerem estocados horizontalmente e em local coberto durante dois meses.



Figura 3.1 - Corpo de prova para os ensaios de peso específico e teor de umidade natural.

O peso específico é calculado pela fórmula:

$$\gamma = \frac{P_s}{V} (kN / m^3) \quad (3.1)$$

3.1.2. Teor de umidade natural

Os corpos de prova são pesados na condição de secos ao ar (P_s) e de secos em estufa (P_0). A condição de seco em estufa é atingida quando a diferença de peso, após duas passagens consecutivas dos corpos de prova pela estufa a 103 ± 2 °C for inferior a 0,01g.

O teor de umidade natural (h) é expresso percentualmente em relação ao peso seco em estufa pela fórmula:

$$h = \left(\frac{P_s - P_0}{P_0} \right) 100 \quad (3.2)$$

3.1.3. Absorção de água

Os corpos de provas secos ao ar são pesados (Figuras 3.2) e logo em seguida imersos em água para que fiquem na condição de saturado (P_n). Utilizando-se uma balança eletrônica com precisão de 0,01g, eles são pesados a cada 24 horas durante 7 dias.



Figura 3.2 - Pesagem do corpo de prova do ensaio de absorção de água.

A quantidade de água absorvida (A) é obtida, em porcentagem, em relação ao peso seco ao ar pela seguinte fórmula:

$$A = \left(\frac{P_n - P_s}{P_s} \right) 100 \quad (3.3)$$

3.1.4. Mudanças dimensionais

Para medir as variações dimensionais nos corpos de provas fixam-se pares de pontos com caneta esferográfica em faces opostas ao longo da direção longitudinal, circunferencial e radial. As dimensões dos corpos de prova secos ao ar foram medidas com um paquímetro e posteriormente os mesmos foram imersos na água. A cada 24 horas são feitas novas medições.

As variações em relação às dimensões secas (V) são obtidas pela seguinte fórmula:

$$V = \left(\frac{D_v - D_s}{D_s} \right) 100 \quad (3.4)$$

3.2. Determinação das propriedades meso-estrutural

O método utilizado para a determinação da fração volumétrica das fibras e sua variação ao longo da espessura foi o seccionamento da imagem em fatias perpendiculares à direção de variação da concentração de fibras, considerando que a distribuição destas dentro de cada seção é uniforme. Tendo-se calculado as frações volumétricas em cada seção, os valores correspondentes são plotados em gráfico em função da posição em relação ao diâmetro. Seguindo-se o procedimento padrão para o processamento digital de imagens, esquematizado na Figura 3.3, cada fase deste trabalho é detalhada.

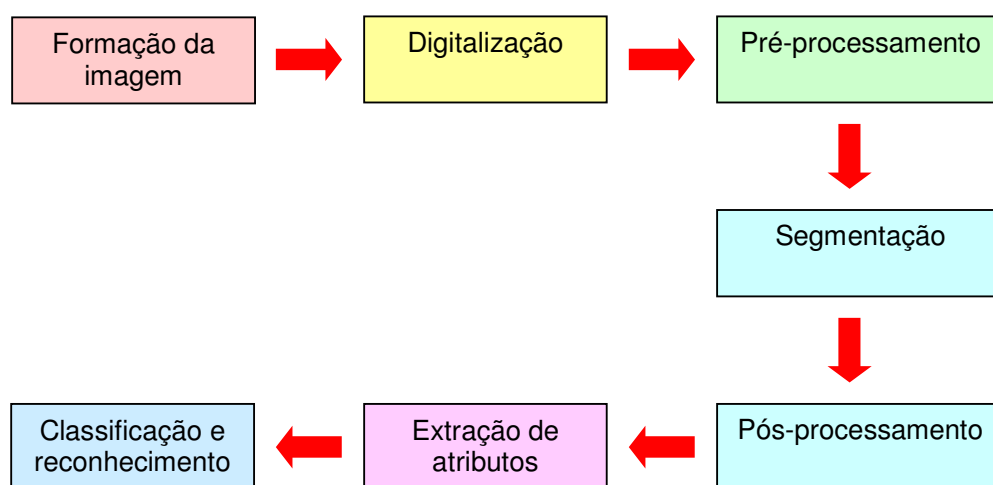


Figura 3.3 - Esquema do processamento digital de imagens.

Foi retirada amostra da base do colmo do bambu *Guadua weberbaueri*. A amostra foi lixada (lixa nº. 400, 600, 800 e 1000) e polida com alumina de 6,0 e 0,5 μm (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Lixamento e polimento da amostra.

As imagens foram obtidas no Laboratório de Microscopia Digital – LMD do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia – DCMM da PUC-Rio, através do microscópio óptico Zeiss AxioPlan 2ie motorizado e controlado por software com a lente de magnificação de 5X, equipado com uma câmera digital Axiocam HR - 3900 x 3090 pixels (Figura 3.5). O processamento e análises das imagens foram realizados no Laboratório de Processamento Digital de Imagens – LPDI, utilizando o software KS-400 3.0, da Zeiss, sob orientação do professor Sidnei Paciornik.



Figura 3.5 - Aquisição Digital de Imagens.

3.3. Propriedades mecânicas

3.3.1. Determinação das propriedades mecânicas

Foram determinadas as características mecânicas de resistência à tração, compressão axial e cisalhamento longitudinal. Os ensaios mecânicos de resistência à compressão axial foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais – LEM da PUC-Rio e os ensaios de resistência à tração e cisalhamento longitudinal foram realizados no Laboratório de Materiais Conjugados – LMC do Instituto Militar de Engenharia - IME.

Os ensaios para a determinação das características físicas e mecânicas foram realizados de acordo com as normas propostas pelo INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN (INBAR, 1999), com exceção dos ensaios de tração que foram de acordo com Ghavami (1998) e cisalhamento longitudinal que teve como precedentes ensaios realizados por Moreira (1991). Foi proposta a divisão da espessura do bambu em duas fatias de aproximadamente 2,0 mm, para determinar a resistência à tração axial e cisalhamento longitudinal em função da espessura, ou seja, desde a região mais externa, onde se tem uma maior concentração de fibras, até a região mais interna da parede do colmo, onde a concentração de fibras é menor.

3.3.1.1. Determinação da resistência à tração

Para determinar a resistência à tração (σ_t) da espécie *Guadua weberbaueri* foram selecionados três colmos, os quais foram analisados no seu estado de seco ao ar. Para o estudo em questão, foram confeccionados três corpos de prova da região da base do colmo de acordo com Ghavami (1998), analisando corpos de prova com e sem a presença de nós. Foram cortadas tiras de bambu com comprimento de 200 mm por 10 mm de largura e a espessura própria da parede do colmo, aproximadamente de 5 mm, de onde foi retirada a amostra. Em seguida foi feito o fatiamento proposto, com espessura de 2 mm. Para evitar o esmagamento das fibras e o escorregamento do bambu durante a aplicação de carga, foram utilizadas chapas de alumínio com 10 mm de largura por 50 mm de comprimento e espessura em torno de 1,0 mm. Estas foram coladas no bambu utilizando *SIKADUR 32 (Sika)* e arranhadas para melhorar a aderência entre as chapas e a garra da máquina de ensaio. Os corpos de prova foram

tratados com produto químico Jimo Cupim®. A Figura 3.6 representa os corpos de prova para este ensaio.

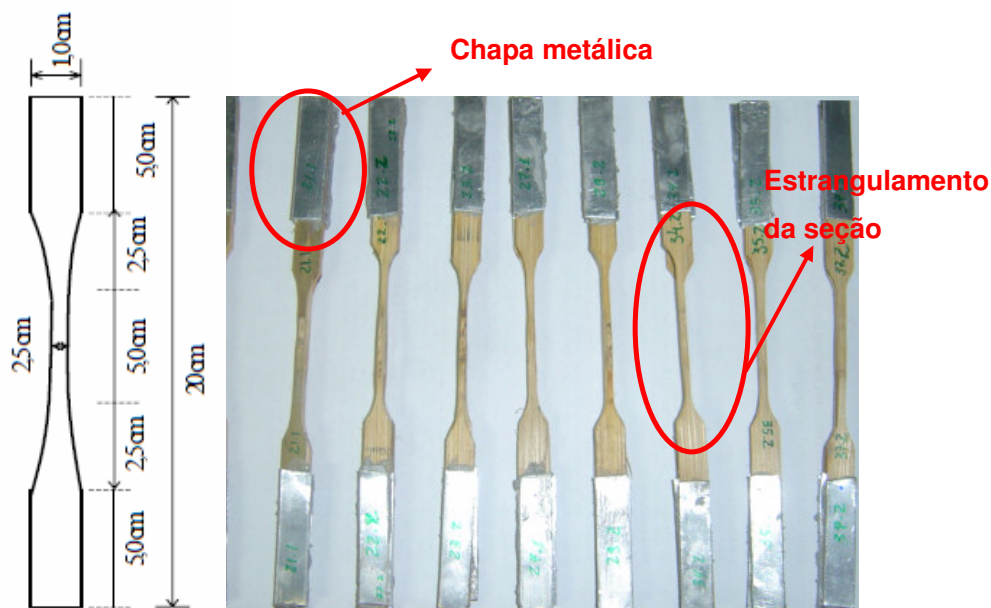


Figura 3.6 - Forma e dimensões do corpo de prova.

As deformações longitudinais foram calculadas através da relação entre o deslocamento do travessão da máquina e a distância entre as pontas das placas de alumínio, sendo plotadas no diagrama tensão versus deformação até a ruptura. Para garantir a qualidade dos resultados, tomou-se o cuidado de verificar se não houve o deslizamento entre o corpo de prova e o mordente da máquina de ensaio. Caso ocorresse deslizamento, o corpo de prova era eliminado. A velocidade controlada da máquina de ensaio foi ajustada em 2 mm / min. Vê-se na Figura 3.7 o ensaio de resistência à tração.

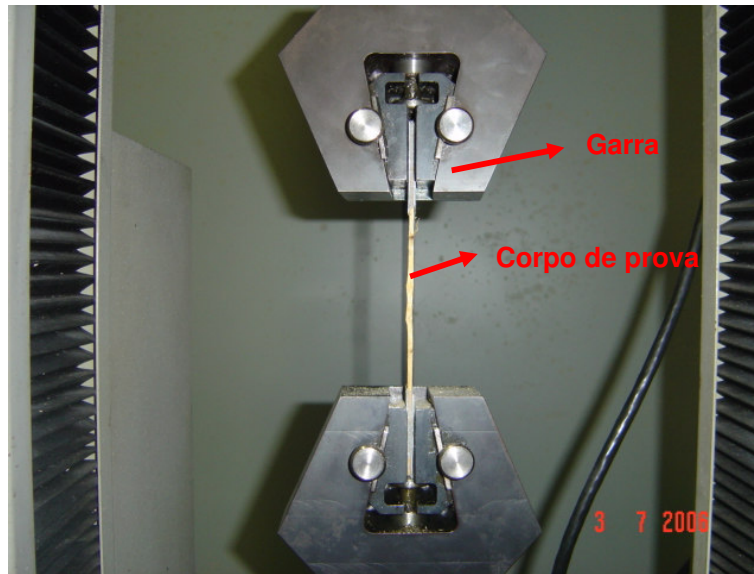


Figura 3.7 - Ensaio de resistência à tração.

3.3.1.2. Resistência ao cisalhamento longitudinal

Para a determinação da tensão de cisalhamento (τ) ao longo das fibras e do módulo de elasticidade ao longo da espessura do bambu, utilizam-se as normas de estruturas de madeira adaptadas para bambu tendo como precedente os ensaios realizados por Moreira (1991), de acordo com proposta de normalização de ensaio elaborada por Ghavami (1998). Foram retirados corpos de prova com e sem nó da região basal medindo 200 mm de comprimento por 10 mm utilizando-se serra fita e lixadeira elétrica, para em seguida fazer o fatiamento proposto em espessura de 2,0 mm. Foram feitos entalhes de 1,0 mm de largura até o eixo de simetria (Figura 3.8), tendo cuidado para que os cortes transversais não ultrapassassem este eixo, pois quando isto ocorre o corpo de prova pode romper por esforço de tração, tornando o resultado pouco confiável. Os corpos de prova foram tratados com produto químico Jimo Cupim®.

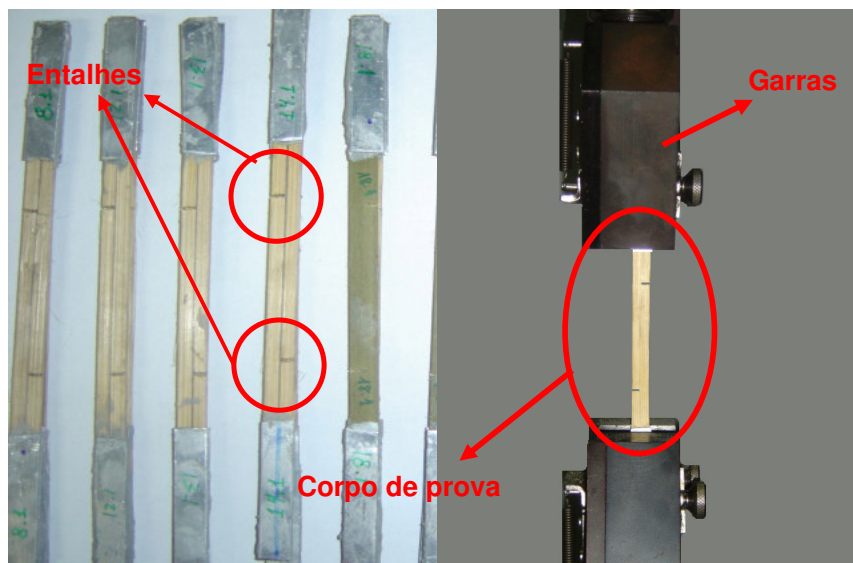


Figura 3.8 - Corpos de prova e ensaio de resistência ao cisalhamento longitudinal.

Assim como no ensaio de tração, também foram utilizadas chapas de alumínio para evitar o esmagamento das fibras e o escorregamento do corpo de prova durante a aplicação de carga.

As deformações relativas, longitudinais, foram calculadas através da relação entre o deslocamento do travessão da máquina e a distância entre os entalhes, sendo plotadas no diagrama tensão versus deformação até a ruptura (Anexo II). Assim como no ensaio de resistência à tração, para garantir a integridade dos resultados, tomou-se o cuidado de verificar se não houve o deslizamento entre o corpo de prova e o mordente da máquina de ensaio. Caso ocorresse deslizamento, o corpo de prova era eliminado. A velocidade controlada da máquina de ensaio foi ajustada em 2 mm / min.

3.3.1.3. Resistência à compressão axial

Para determinar a resistência à compressão (f_b) dos corpos de prova submetidos à carga de compressão paralela às fibras foram selecionados três colmos, os quais foram tratados com produto químico Jimo Cupim® e retirados da sua base três amostras com e sem nó. Os ensaios foram realizados no LEM da PUC-Rio, numa prensa hidráulica CONTENCO 240 t para ensaios de compressão axial, de acordo com a norma proposta pelo INBAR (1999) – ISO/DIS - 22157, onde a altura do corpo de prova de bambu é igual ao seu diâmetro (Figura 3.9).

Após o corte dos bambus no comprimento ideal ($L = D$), foram niveladas as superfícies dos mesmos com massa epóxi (Plastic), e lixadas as faces laterais marcadas, para torná-las lisas e paralelas. Em seguida, colou-se extensômetro eletrônico de resistência (EER) tipo L, em uma das faces, para medir simultaneamente as deformações longitudinal e transversal. Para a acomodação dos extensômetros nos corpos de prova foi realizado um pré-carregamento e descarregamento de 10 KN.

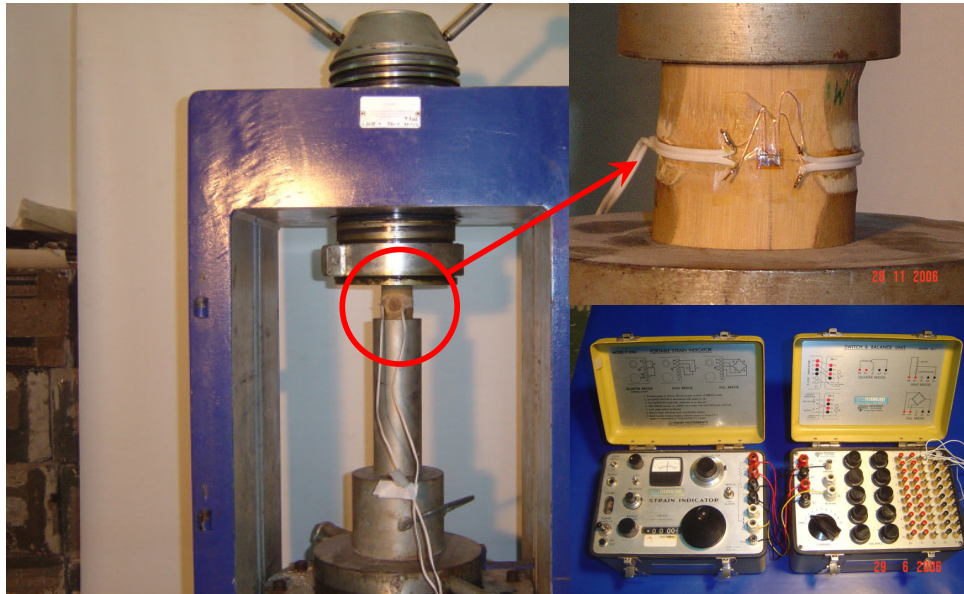


Figura 3.9 - Ensaio de resistência à compressão e sistema de aquisição de dados - Vischay.

Neste ensaio o controle da aplicação de carga foi feito de forma manual, em intervalos de 2,00 KN. Os strain-gages foram ligados a um sistema de aquisição de dados (SAD), marca Vischay, em circuito de $\frac{1}{4}$ de ponte de Wheatstone, que fez a leitura analógica das deformações longitudinais e transversais às fibras do bambu para cada carga aplicada até a carga de ruptura.

A partir dos valores obtidos, plotou-se a curva tensão (MPa) - deformação ($\mu\epsilon$), e através dela obteve-se os módulos de elasticidade (GPa) e coeficiente de Poisson para cada amostra ensaiada.