

BAMBU – O AÇO VEGETAL

BAMBOO – THE VEGETAL STEEL

Gilberto Carbonari, Dr. (UEL);
Nelson M. da Silva Junior, (UEL);
Nicolas Henrique Pedrosa, (UEL);
Camila Hiromi Abe, (UEL);
Marcos Ferreira Scholtz, (IAPAR);
Caio Cesar Veloso Acosta, M.Sc. (UEL);
Luana Toralles Carbonari, M.Sc. (UFSC).

Palavras Chave

Bambu; Propriedades mecânicas; Ensaios; Material sustentável; IAPAR/Londrina

Key Words

Bamboo; Mechanical properties; Test methods; Sustainable material; IAPAR/Londrina

RESUMO

Com os problemas gerados pelos materiais mais utilizados na construção civil, como o consumo de energia, a poluição e a inviabilidade econômica, surge a necessidade de alternativas que unam o conceito de fonte renovável ao de sustentabilidade. Nesse sentido, o bambu se mostra uma importante opção, considerando seu crescimento rápido e sua alta produção. O estudo de suas características mecânicas é fundamental para o projeto de construções em bambu. Com este objetivo, a metodologia experimental utilizada permite a determinação de alguns destes parâmetros, tais como, as resistências à compressão, à tração, à flexão, e o módulo de elasticidade longitudinal. Os testes foram realizados em 9 espécies localizados no IAPAR/Londrina, oriundas da China. Considerando as variações geométricas decorrentes de alterações naturais nos bambus, os resultados confirmaram a eficácia e confiabilidade nos métodos de ensaio usados. A partir destes resultados pode-se afirmar que o bambu apresenta elevadas propriedades mecânicas. Dividindo as resistências à tração e à compressão pela densidade de cada material, todas as espécies estudadas se mostram mais eficientes que o concreto e o aço, conferindo ao bambu a designação de “aço vegetal”. Além disso, o bambu apresenta um potencial construtivo ecologicamente menos agressivo que os materiais construtivos tradicionais e uma considerável leveza.

ABSTRACT

With the problems created by the materials most widely used in civil construction, such as energy consumption, pollution and economic unviability, there is the need of alternatives that unite the concept of sustainability and renewable sources. In this sense, bamboo is an important option in view of its rapid growth and its high production. The study of its mechanical properties is essential for the design of bamboo constructions. To this end, the experimental methodology used allows the determination of some of these parameters, such as compressive strength, tensile strength, flexural strength and the longitudinal modulus of elasticity. The tests were performed in nine species from China, located in IAPAR / Londrina. Considering the geometric variations caused by natural changes existing in bamboos, the results confirmed the effectiveness and reliability of the test methods used. According to the results, it can be stated that bamboo presents high mechanical properties. Dividing the tensile and compressive strengths by the density of each material, all species studied are more efficient than concrete and steel, giving bamboo the name of “vegetal steel”. In addition, bamboo presents a less aggressive constructive potential than traditional building materials and a considerable lightness.

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de materiais construtivos convencionais mobiliza consideráveis recursos financeiros, consome muita energia e requer processos centralizados de produção. A necessidade de se repensar o consumo de materiais na construção civil, para torná-la mais sustentável também do ponto de vista ambiental, atrai olhares para a exploração de novas alternativas para materiais ecológicos de baixo custo e com reduzido consumo de energia em sua produção, minimizando a poluição, garantindo a conservação dos recursos não renováveis, a manutenção de um ambiente saudável e que não favoreça a proliferação de doenças.

Segundo Ghavami (1992), o desenvolvimento de materiais de baixo custo na construção civil torna-se uma exigência atual básica. Devido à sua grande abundância, às suas várias aplicações e pela facilidade de seu plantio, o bambu é uma matéria-prima disponível, renovável e de uso ecologicamente sustentável a ser explorada. Sua reprodução é rápida, pode ser cortado anualmente sem a necessidade de replantio, apresentando um grande potencial agrícola. Ele apresenta uma das estruturas mais perfeitas da natureza, pois combina flexibilidade com leveza. (PEREIRA e BERLDO, 2007).

Historicamente, o bambu tem fornecido alimento, abrigo, ferramentas, utensílios, e uma infinidade de outros itens. Atualmente estima-se que ele contribui para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas. Igualmente importante, ao lado dos usos tradicionais, tem sido o desenvolvimento de usos industriais do bambu (SASTRY, 1999).

O bambu pertence à família das gramíneas e possui mais de mil espécies espalhadas por todo o globo. É uma planta predominantemente tropical e que cresce mais rapidamente do que qualquer outra planta do planeta, necessitando, em média, de três a seis meses para que um broto atinja sua altura máxima, de até 30 m, para as espécies denominadas gigantes (FARRELY, 1984). A maioria dessas espécies se encontra nos continentes asiático e americano. Aliado a essas qualidades, o bambu possui boa resistência a diferentes esforços e um baixo peso específico, o que reduz o custo de seu manuseio e transporte, como observa Ghavami (2006).

Um estudo realizado por Ghavami e Marinho (2003), onde foram efetuados ensaios mecânicos em várias espécies de bambu (*Dendrocalamus giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, *Phyllostachys heterocycla pubescens*-Mosó, e *Phyllostachys bambusoides*-Matake), permitiu mapear as propriedades físicas e mecânicas, além de determinar o módulo de resistência e a

tensão na superfície do colmo devido ao momento de flexão dos referidos bambus. Com base nos resultados, é possível estabelecer critérios de dimensionamento e emprego de processos industriais viabilizando o uso do bambu.

Segundo Padovan (2010), uma das maiores dificuldades na utilização em larga escala do bambu na construção civil são as conexões estruturais entre seus elementos, que não permitem o uso de tecnologia de ligações aplicada a outros materiais, como o aço e a madeira maciça, para efetuar com eficiência a transferência de esforços, inviabilizando toda potencialidade estrutural oferecida pelo bambu. No estudo foi proposto o design de uma nova conexão estrutural, com execução de protótipo e projeto arquitetônico para ilustração de sua aplicação. Esta nova ligação visou contribuir com a viabilização da utilização do bambu na construção civil, pelo incremento tecnológico do material.

Pela grande quantidade de bambu existente na Ásia e clima favorável, os orientais não só desenvolveram técnicas para a sua utilização na construção civil, como também na área de irrigação, móveis, instrumentos mecânicos para a locomoção, entre outros. Outros países da América Latina, como Colômbia, Venezuela e Peru seguem desenvolvendo novas tecnologias de construção com bambu em conjunto com outros materiais como o concreto, o aço e a madeira, possibilitando a construção de estruturas imponentes, belas e resistentes.

Entretanto, para que isso seja viabilizado também no Brasil, é necessário determinar parâmetros mecânicos representativos confiáveis, que é o objetivo principal deste trabalho, por meio da realização de ensaios em várias espécies de bambu. Visando isso, este trabalho realiza um estudo mais aprofundado das características mecânicas do bambu, para uma maior disseminação de seu uso na construção civil.

2. ENSAIOS MECÂNICOS

O formato do papel a ser utilizado deverá ser A4 (210x297mm), com as seguintes margens: esquerda 2,0cm, direita 2,0cm, superior 2,5cm, inferior 2,5cm. Todo texto deverá ser justificado (exceto título, autores, tabelas e figuras). Não devem ser incluídas molduras ou numeração de página.

Os ensaios mecânicos propostos foram realizados nas seguintes espécies do IAPAR/Londrina (Instituto Agrônomo do Paraná), cujas mudas foram trazidas da China: *Bambusa Nutans*, *Bambusa Beecheyana*, *Bambusa Vulgaris*, *Bambusa Oldhamiia*, *Bambusa Tulda*, *Guadua Angustifolia*, *Dendrocalamus Asper*, *Dendrocalamus Giganteus*, *Arundinaria Amabilis*.

Os bambus com idade entre 4 e 7 anos foram cortados

no mês de agosto, no período da manhã, em lua minguante, que se trata do período em que as plantas acumulam menos seiva, diminuindo a possibilidade de atrair o caruncho ou outros tipos de insetos. O corte foi realizado logo acima do primeiro nó, próximo da base, de tal forma que não permitisse o acúmulo de água nos entrenós remanescentes, evitando a contaminação do bambuzal.

Depois de cortados, os colmos foram mantidos no bambuzal na posição vertical por 21 dias. Após esse período foram transportados para o Laboratório de Estruturas da UEL (Universidade Estadual de Londrina) e estocados em local protegido (Figura 1), com uma separação entre as espécies. Cada colmo foi dividido em duas partes de aproximadamente 6 m, devidamente identificados na superfície externa, para que fosse possível reconhecer os colmos da mesma vara e da mesma espécie.

Figura 01: Estocagem dos colmos de bambu no laboratório de estruturas da UEL



Fonte: Autores

Por falta de normalização específica, neste trabalho adotaram-se para os ensaios os preceitos da norma internacional ISO/TC165 N314 (1999).

2.1 Resistência à compressão

Seguindo as recomendações da ISO/TC165 N314 (1999), cada corpo-de-prova (CP) foi cortado com uma altura aproximadamente igual ao seu diâmetro externo, lixadas de forma a manter as faces paralelas entre si e sem reentrâncias, permitindo uma distribuição uniforme das tensões normais às paredes do CP durante os ensaios de compressão.

Tanto a altura quanto os diâmetros externos e internos de cada CP foram medidos com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Como as seções transversais dos bambus não são perfeitamente circulares, e a espessura pode variar ao longo da altura, portanto foram realizadas quatro medidas dos referidos diâmetros em

cada face (superior e inferior) do CP. Esses valores foram utilizados para determinar a área média da seção transversal.

Os ensaios foram realizados em uma Máquina Universal com capacidade máxima de 300 kN, em conjunto com uma prensa servo-hidráulica com capacidade máxima de 2000 kN (Figura 2), com uma taxa de incremento de carga constante de 0,01 mm/s, e precisão de $\pm 1\%$.

Figura 02: Máquina universal e prensa servo-hidráulica, utilizadas nos ensaios



Fonte: Autores

O CP é colocado de modo que o centro da cabeça móvel da máquina de ensaio coincida com o centro de gravidade da seção transversal. A resistência à compressão é obtida dividindo a carga máxima que o CP resistiu pela área de sua seção transversal. A área média é obtida a partir dos diâmetros interno e externo médios de cada uma das faces.

Foram utilizados 3 CPs para cada uma das posições no colmo (base, intermediário e topo). Por não apresentarem diferenças significativas da resistência à compressão entre os CPs ao longo do colmo, cada valor médio e respectivo intervalo de confiança apresentados na Tabela 1 referem-se a 9 CPs ensaiados ao longo do colmo (3 da base, 3 intermediários e 3 do topo).

Tabela 01: Valores médios da resistência à compressão das espécies ensaiadas

| Espécie de bambu | Resistência a compressão (MPa) | |
|-------------------------|--------------------------------|------------------|
| | Com Nó | Sem Nó |
| Dendrocalamus Asper | 51,15 \pm 5,2% | 49,84 \pm 4,5% |
| Bambusa Beecheyana | 50,16 \pm 6,8% | 48,20 \pm 5,1% |
| Dendrocalamus Giganteus | 48,27 \pm 3,5% | 46,32 \pm 3,2% |
| Bambusa Oldhamii | 72,17 \pm 6,1% | 70,04 \pm 3,8% |
| Bambusa Tulda | 75,18 \pm 7,0% | 72,75 \pm 4,8% |
| Guada Angustifolia | 45,45 \pm 4,3% | 42,17 \pm 3,1% |
| Bambusa Nutans | 47,63 \pm 4,7% | 47,38 \pm 4,4% |
| Bambusa Vulgaris | 50,40 \pm 6,7% | 48,42 \pm 5,6% |
| Arundinaria Amabilis | 38,35 \pm 5,4% | 38,20 \pm 6,7% |

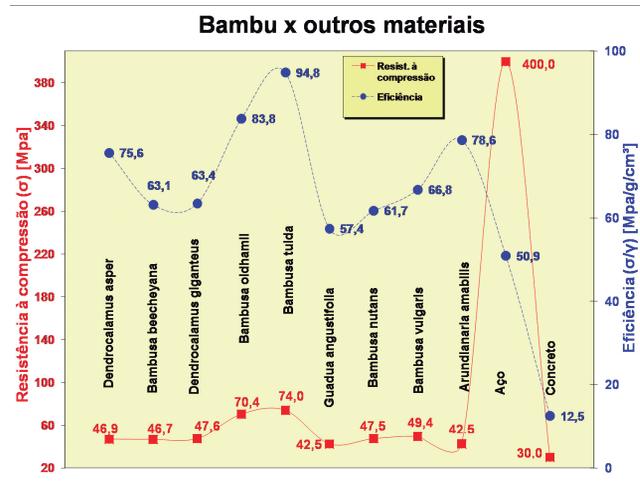
Fonte: Autores

Com base nos valores indicados na referida tabela, conclui-se que a presença ou não do nó não afeta significativamente os valores da resistência à compressão dos CPs.

A resistência à compressão variou significativamente entre as espécies ensaiadas, de 38 MPa até 75 MPa. Os maiores valores foram obtidos nas espécies *Bambusa Oldhamii* e *Bambusa Tulda*, ficando acima de 70 MPa.

Se for considerada a relação entre a resistência à compressão e a massa específica, todas as espécies de bambu ensaiadas superaram o concreto e o aço, demonstrando a eficiência superior desse material, como pode ser comprovado pela Figura 3.

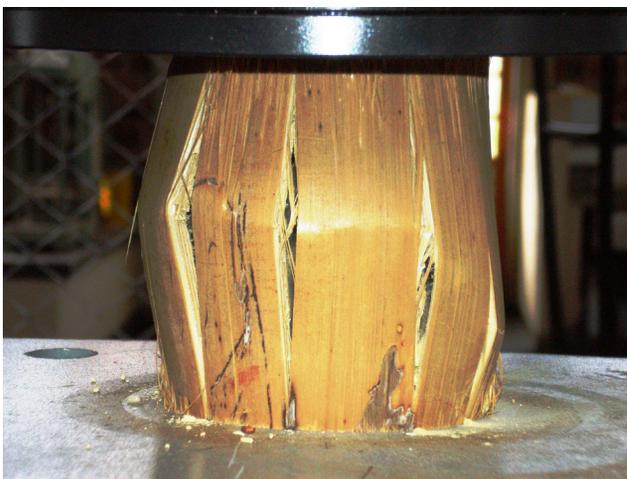
Figura 03: Eficiência do bambu em relação ao concreto e ao aço por meio da relação Resistência à compressão / Massa específica



Fonte: Autores

A Figura 4 apresenta um dos corpos de prova após a realização do ensaio de compressão.

Figura 04: Corpo de prova após a realização do ensaio



Fonte: Autores

2.2 Resistência à tração

Para os ensaios de tração axial do bambu foram retirados cilindros de bambu de 20 cm, com e sem nó, a cada 2 m do colmo, onde foram extraídas tiras paralelas às fibras, com largura de 12 mm e espessura da parede do colmo. Dependendo da espécie de bambu, as tiras foram subdivididas em duas, classificando-as como fibras internas e externas. Isso permitiu avaliar não só a influência da presença do nó, como também a posição das fibras em relação à parede do bambu.

Em seguida, as tiras são lixadas até que apresentem espessura uniforme de aproximadamente de 2 mm. Após isso, são demarcadas nas extremidades do CP regiões de 5 cm de comprimento (ver Figura 5a), que permitem fixar os mordentes da prensa. A parte central da tira, onde será obtida a resistência à tração do CP, possui 5 cm de comprimento, 3 mm de largura, e 2 mm de espessura. A parte de transição da tira, com 2,5 cm de comprimento, possui largura variável, de 12 mm a 3 mm (parte central). A realização do ensaio pode ser vista na Figura 5b.

Figura 05: (a) Corpo-de-prova de bambu utilizado nos ensaios de tração axial paralela às fibras e (b) Prensa utilizada para a realização do ensaio



Fonte: Autores

Com o CP devidamente marcado, a próxima etapa foi lixá-lo minuciosamente para garantir que a área da seção transversal na região de estrangulamento seja a mais constante possível e evitar que ocorra algum erro durante o ensaio. A norma ISO/TC165 N314 (1999) recomenda descartar resultados obtidos nos quais a ruptura ocorre fora da região central. Nestes casos, provavelmente o CP rompeu por cisalhamento. O artifício utilizado para evitar as rupturas por cisalhamento foi o de realizar um acabamento abaulado nas pontas do CP para que os mordentes fossem forçados a fazer a ancoragem de forma centrada mantendo uma boa distribuição da carga pela região.

Antes do ensaio, foram feitas três medidas de largura e espessura (direção tangencial e radial às fibras) na região de estrangulamento, para permitir o cálculo da área média da seção transversal onde ocorre a ruptura.

Os ensaios experimentais para determinar a resistência à tração foram realizados em uma Máquina Universal com capacidade de aplicação de 300 kN de força, da marca EMIC, modelo DL 30000, e uma célula de carga da mesma marca com capacidade máxima de 5 kN, a uma velocidade de carregamento controlada de 0,01 mm/seg.

Para o ensaio à tração foram utilizadas as seguintes espécies: *Bambusa Nutans*, *Bambusa Oldhamii*, *Bambusa Tulda* e *Dendrocalamus Giganteus*.

Foram utilizados 4 CPs para cada uma das posições no colmo (base, intermediário e topo), 2 para avaliar a resistência à tração das fibras internas e 2 para as fibras externas. Por não apresentarem diferenças significativas da resistência à tração entre os CPs ao longo do colmo, cada valor médio e respectivo intervalo de confiança apresentados na Tabela 2 referem-se a 6 CPs para cada tipo de fibra (externa e interna).

A diminuição da resistência observada nos CPs da parte interna da parede do bambu, conforme se verifica na Tabela 2, se deve à baixa concentração de fibras naquele local, enquanto o nó, além de também reduzir significativamente a resistência à tração, proporciona uma ruptura frágil e abrupta, o que não ocorre em CPs sem nó, nos quais vão se rompendo fibra por fibra, apresentando maior ductilidade. Além disso, na referida tabela verificou-se que o intervalo de variação dos valores obtidos dos CPs com nós é maior que os sem nó.

Tabela 02: Valores médios da resistência à tração (MPa) das espécies ensaiadas

| Espécie de bambu | Fibra interna | | Fibra externa | |
|--------------------------------|---------------|----------|---------------|----------|
| | Com Nó | Sem Nó | Com Nó | Sem Nó |
| <i>Dendrocalamus Giganteus</i> | 52±16,1% | 133±5,7% | 186±12,6% | 203±4,4% |
| <i>Bambusa Oldhamii</i> | 79±14,5% | 133±7,1% | 134±17,7% | 229±7,5% |
| <i>Bambusa Tulda</i> | 82±16,8% | 172±6,6% | 168±21,8% | 211±6,6% |
| <i>Bambusa Nutans</i> | 69±17,8% | 150±5,5% | 135±18,2% | 244±5,8% |

Fonte: Autores

Para efeito de comparação com o aço, foi utilizada a resistência à tração média da parede do colmo, entre as fibras interna e externa, para CPs com nó. Na Tabela 3 são indicados os valores das resistências médias das espécies de bambu ensaiadas à tração (fT) para CPs com nó, á do aço, as respectivas massas específicas (ρ), e as relações entre a resistência a tração e a massa específica (fT/ρ), de cada material.

Tabela 03: Eficiência das espécies de bambu e do aço (Resistência à tração / Massa Específica)

| Material | fT (MPa) | ρ (g/cm ³) | fT / ρ |
|--------------------------------|----------|-----------------------------|-------------|
| <i>Dendrocalamus Giganteus</i> | 119 | 0,75 | 159 |
| <i>Bambusa Oldhamii</i> | 106 | 0,84 | 126 |
| <i>Bambusa Tulda</i> | 125 | 0,78 | 160 |
| <i>Bambusa Nutans</i> | 102 | 0,77 | 132 |
| Aço | 250 | 7,85 | 32 |

Fonte: Autores

Assim como se verificou nos valores obtidos da resistência à compressão das espécies ensaiadas, a relação entre a resistência à tração e suas massas específicas resultam em valores muito superiores que a do aço, de 4 a 5 vezes maior. Isso reforça o entendimento que o bambu pode ser considerado um “aço vegetal”.

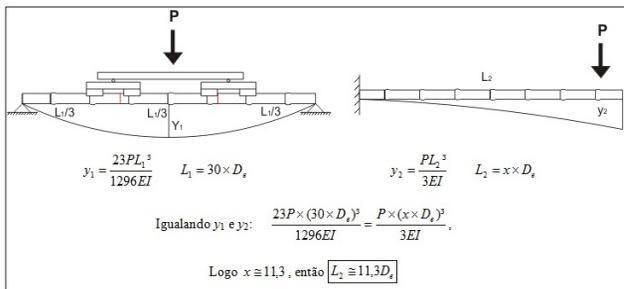
2.3 Resistência à flexão

No ensaio de flexão foram utilizadas duas espécies de bambu, *Dendrocalamus Giganteus* e *Bambusa Nutans*, extraídas do bambuzal do IAPAR/Londrina, onde se obtiveram os diagramas carga x deslocamento, possibilitando a determinação da tensão de ruptura e o módulo de elasticidade à flexão, informações fundamentais para o projeto de uma estrutura.

Para este ensaio não foi utilizada a recomendação da ISO/TC165 N314 (1999), onde o colmo de bambu está sujeito à duas cargas concentradas, com apoios nas extremidades. A metodologia proposta neste trabalho utilizou o colmo engastado em uma extremidade e livre na outra, sujeito a uma carga concentrada na extremidade livre, tornando o ensaio mais simples e preciso na obtenção do módulo de elasticidade à flexão do bambu. A proposta do elemento engastado-livre permite ter apenas uma carga aplicada, melhor simulação da vinculação, e menor comprimento do elemento, resultando em uma menor variação do diâmetro e da espessura do bambu ao longo do comprimento.

Para a obtenção do comprimento do colmo de bambu a ser utilizado no elemento engastado-livre, proposto nesse trabalho, adotou-se a recomendação da ISO/TC165 N314 (1999), onde a extensão do elemento bi-apoiado deveria ser de 30 vezes o seu diâmetro externo médio. Igualando a flecha máxima obtida entre a sugestão da referida norma (elemento bi-apoiado) e a deste trabalho (engastado-livre), obtém-se que o comprimento deste último deveria ser de 11,3 vezes o diâmetro externo médio do colmo, conforme se pode verificar no esquema da Figura 6.

Figura 06: Adequações da norma ISO/TC165 N314 (1999) para o ensaio de flexão



Fonte: Autores

A aplicação da carga no colmo engastado-livre foi realizada por um conjunto constituído de um macaco hidráulico e outro mecânico. Isso foi necessário devido à grande flecha que o bambu apresenta até a sua ruptura, superando o alcance do equipamento. Para a aquisição dos dados, fez-se uso de 2 deflectômetros (tipo LVDT) analógicos com a finalidade de monitorar os giros no engaste, e uma célula de carga com capacidade máxima de 50 kN. Foi utilizado um papel milimetrado para a medição da flecha, como forma alternativa de medida dos deslocamentos verticais, devido às limitações de medida dos deflectômetros disponíveis. Os detalhes do ensaio estão mostrados na Figura 7a.

Como forma de evitar que o engaste sofresse esmagamento das paredes do colmo de bambu durante o ensaio de flexão, o primeiro entrenó do colmo da região do engaste foi preenchido com concreto (Figura 7b). Os ensaios foram realizados após 28 dias da concretagem.

Figura 07: (a) Detalhes do ensaio de flexão para o colmo engastado-livre; (b) Detalhe do primeiro entrenó concretado junto ao engaste



Fonte: Autores

O ensaio se desenvolveu com a aplicação inicial de 10 % da carga de ruptura estimada, seguido da leitura dos extensômetros e da flecha correspondente. Este processo

se repetiu sucessivamente com a adição de 10 % da carga, a cada tomada de dados, até a ruptura.

Foram instalados extensômetros junto ao engaste, de forma que se permita descontar a parcela da flecha causada pelo pequeno, mas considerável giro no engaste. O engaste perfeito é uma idealização teórica e com as diferenças entre as medidas lidas, pode-se calcular o ângulo de giro do engaste e a inclinação correspondente que resulta em um acréscimo nos deslocamentos da extremidade do CP, o qual deve ser desconsiderado nos cálculos de módulo de elasticidade.

Após a conclusão do ensaio, o colmo utilizado foi fatiado em três partes (no engaste, no meio, e no balanço), de forma a obter com melhor precisão os diâmetros externos (D_e) e internos (D_i) médios que representam o elemento ensaiado.

Admitindo um comportamento elástico e linear, e utilizando as equações da resistência dos materiais, a partir da carga de ruptura obtida do ensaio de flexão obtém-se a tensão de ruptura média (σ_{Rupt}) por meio da equação (1).

$$(1) \quad \sigma_{Rupt} = \frac{115 D_e^2}{D_e^4 - D_i^4} P_{Rupt}$$

Onde D_e é o diâmetro externo médio do colmo de bambu e D_i o diâmetro interno médio do colmo.

O módulo de elasticidade à flexão é obtido diretamente no diagrama carga x deslocamento do ensaio, na faixa entre 10 e 50 % da carga de ruptura, utilizando os conceitos da resistência dos materiais (comportamento elástico e linear).

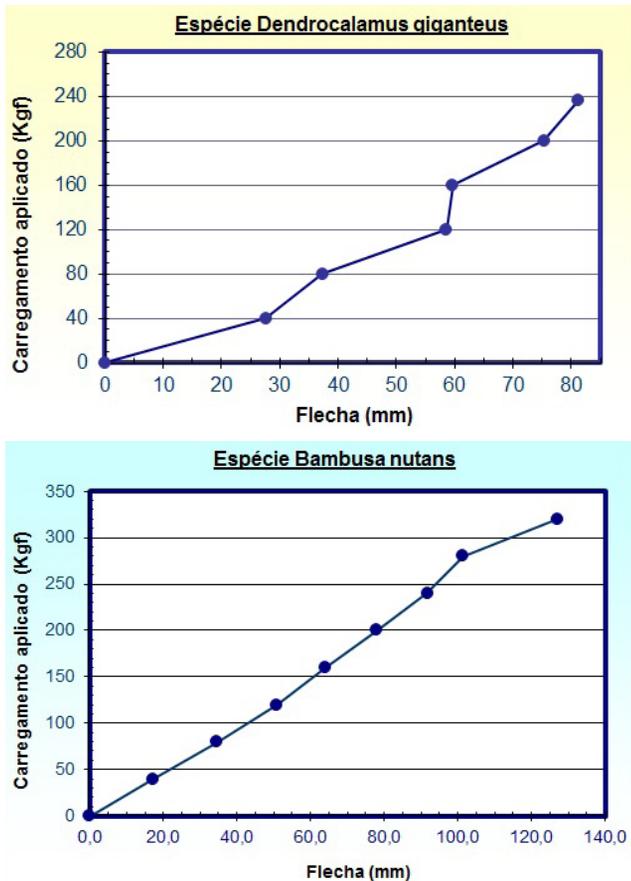
Observou-se nos ensaios que a ruptura do colmo dos bambus ensaiados ocorreu primeiramente na região tracionada da seção do colmo, na região do engaste.

O colmo da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, com 1,26 m comprimento, 10,31 cm de diâmetro externo médio, e 8,78 cm de diâmetro interno médio, rompeu com uma carga de 2,34 kN, provocando uma tensão de ruptura de 58,5 MPa. O módulo de elasticidade à flexão calculado foi de 5,3 GPa. No gráfico da Figura 8.a pode ser visto o diagrama carga x deslocamento do referido colmo, obtido no ensaio de flexão.

Na Figura 8.b está indicado o diagrama carga x deslocamento obtido no ensaio à flexão do colmo da espécie *Bambusa Nutans*. Com uma carga de ruptura de 3,5 kN, obteve-se que o colmo apresentou uma tensão de ruptura de 60 MPa. Por meio do referido diagrama chegou-se a um módulo de elasticidade à flexão de 3,4 GPa. O

comprimento do elemento neste ensaio foi de 1,10 m, com um diâmetro externo médio de 9,81 cm, e um diâmetro interno médio de 7,30 cm.

Figura 08: (a) Diagrama carga x deslocamento do colmo da espécie *Dendrocalamus Giganteus*; (b) Diagrama carga x deslocamento do colmo da espécie *Bambusa Nutans*



Fonte: Autores

Os comportamentos quase lineares entre carga e flecha mostrados nos diagramas da Figura 7 reforçam que a metodologia experimental utilizada nos ensaios foi satisfatória. O ensaio proposto neste trabalho (elemento engastado-livre) ocupa um menor espaço no laboratório, já que o comprimento do colmo de bambu diminuiu em mais de 50 % em relação ao elemento bi-apoiado recomendado pela ISO/TC165 N314 (1999), tornando o ensaio mais simples, prático e rápido.

Para uma conclusão mais precisa dos valores obtidos para as duas espécies de bambu ensaiadas é necessário um maior número de ensaios. Mas, de maneira preliminar, pode-se concluir que o bambu possui uma alta resistência aliada a uma alta flexibilidade. Estas características estão associadas às ações impostas pela natureza, já que no bambuzal os colmos de aproximadamente 25 metros devem resistir à ação do vento.

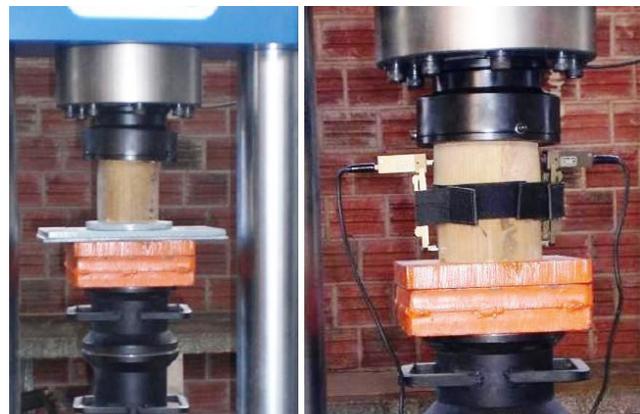
2.4 Módulo de Elasticidade no ensaio à compressão

Para a obtenção do módulo foram utilizadas três espécies de bambus do IAPAR/Londrina: *Dendrocalamus Asper*, *Bambusa Beesheyana* e *Dentrocalamus Giganteus*. A metodologia utilizada está baseada nas recomendações da ISO N314 (1999).

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal, com capacidade máxima de 300 kN, em conjunto com uma prensa servo-hidráulica com capacidade de 2000 kN, que permite um incremento de carga constante, mantendo uma precisão de ± 1 %.

Para medir as deformações dos CPs, durante o ensaio do módulo de elasticidade longitudinal, foram utilizados extensômetros eletrônicos (Figura 9), com configuração dupla de sensores independentes, utilizando uma caixa de equalização para obter o sinal da deformação média, com uma deformação máxima mensurável de 2,5 mm, e resolução de 0,0001 mm.

Figura 09: Detalhe do ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: Autores

Utilizando a mesma metodologia do ensaio de resistência à compressão, Para o ensaio do módulo de elasticidade foram utilizados 3 CPs para cada uma das posições no colmo (base, intermediário e topo). Por não apresentarem diferenças significativas entre os CPs ao longo do colmo, cada valor médio e respectivo intervalo de confiança apresentados na Tabela 4 referem-se a 9 CPs (3 da base, 3 intermediários e 3 do topo).

Os resultados obtidos do módulo de elasticidade e do respectivo intervalo de confiança, para cada espécie ensaiada, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 04: Módulos de Elasticidade obtidos no ensaio à compressão

| Espécie de bambu | Módulo de Elasticidade (GPa) | |
|-------------------------|------------------------------|------------|
| | Com Nó | Sem Nó |
| Dendrocalamus Asper | 23,30±8,5% | 24,80±6,7% |
| Bambusa Beecheyana | 20,70±7,3% | 19,70±5,5% |
| Dendrocalamus Giganteus | 21,90±6,4% | 21,80±7,2% |

Fonte: Autores

Comparando os valores apresentados na Tabela 4, para a mesma espécie, observa-se que a presença do nó não afetou significativamente o valor do módulo de elasticidade. Essa mesma conclusão se observou no ensaio da resistência à compressão das espécies de bambu ensaiadas. Verifica-se também na referida tabela que os valores médios dos módulos de elasticidade das espécies estudadas ficaram entre 20 GPa e 25 GPa, superiores aos da madeira, próximos ao do concreto, e muito menores que o aço.

3. CONCLUSÕES

Considerando que os objetivos desse trabalho estão relacionados com a obtenção das propriedades mecânicas de várias espécies de bambu, a seguir são descritas resumidamente as conclusões dos valores obtidos para cada uma delas.

Quanto a resistência à compressão, os valores obtidos para as espécies ensaiadas de bambu variaram de 38 MPa à 75 MPa.

Já para a resistência a tração, os valores médios obtidos das várias espécies ensaiadas, considerando os corpos de prova com nó, ficaram entre 102 MPa e 125 MPa.

Considerando a relação entre as resistências, tanto à compressão como à tração das espécies, e suas respectivas massas específicas, todas as espécies de bambu ensaiadas apresentaram valores superiores de eficiência em relação ao concreto e aço.

Os valores relativamente baixos obtidos dos módulos de elasticidade à flexão (de 3,4 GPa a 5,3 GPa) comprovam a alta flexibilidade do bambu, compatível com o comportamento resistente e flexível que possui o bambuzal quando sujeito à ação do vento. O módulo de elasticidade à flexão influi diretamente no dimensionamento de elementos, tais como lajes e vigas.

Os módulos de elasticidade obtidos no ensaio de compressão das espécies estudadas ficaram entre 20 GPa a 25 GPa, sendo superiores aos das madeiras de floresta plantada, e próximos ao do concreto convencional.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a metodologia utilizada foi satisfatória, e permitiu avaliar as propriedades mecânicas das várias espécies de bambu. Com base nos resultados obtidos, comprovou-se que o bambu

é um material extremamente eficiente, com baixo peso e altas resistências, tanto à tração quanto à compressão, porém com uma deficiência natural em seu módulo de elasticidade à flexão.

4. AGRADECIMENTOS

A UEL, ao CNPq, e à Fundação Araucária, pelo apoio com bolsas de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. D. **Concreto alternativo para obras rurais**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, MG, 2002, 12 p.

BARROS, B. R.; SOUZA, F. A. M. **Bambu: alternativa construtiva de baixo impacto ambiental**. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, São Paulo, 2004.

Cultivo e Manejo do Bambu, Em http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2002-2/Bambu/tratamento.htm, 2002.

EMIC – **Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda**, <www.emic.com.br>, 2010.

FARRELY, D. **The Book of Bamboo**. Sierra Club Books, São Francisco, 1984, 202p.

GHAVAMI, K. ; HOMBEECK, R. V. **Appllication of bamboo as a construction material. Part I-Mechanical properties and water repellent treatment of bamboo Part II- Bamboo reinforced concrete beams**. In: Latin American Symposium, Rational Organization of Building applied to Low-cost Housing, 1982, Sao Paulo. Rational Organization of Building Applied to Low-cost Housing. Sao Paulo : IPT, v. 1. p. 49-65, 1981.

GHAVAMI, K.; MARINHO A. B. **Propriedades geométricas e mecânicas de colmos dos bambus para aplicação em construções**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.3, p. 415-424, set./dez. 2003.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D. **Desenvolvimento de Materiais de Construção de Baixo Consumo de Energia Usando Fibras Naturais**. Revista Engenharia Agrícola, v. 001, n. 0, p. 1-19, 1992.

GHAVAMI, K. **Um material alternativo na**

Engenharia, Revista Engenharia e Construção Civil nº 492. São Paulo: Ed. Técnica Ltda., 1992.

GHAVAMI, K. **Madeira ecológica para habitações de baixo custo**. SEMINÁRIO NACIONAL DE BAMBU, ANAIS, UnB, Brasília, DF, p. 111-123, 2006.

ISO/TC165 N314 - International Organization For Standardization. **Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo**, 1999, 20 p.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura**: design de conexões estruturais. Dissertação de mestrado. UNESP, Bauru. 183p. 2010

PEREIRA, MARCO A. R.; BERALDO, ANTONIO L. **Bambu de Corpo e Alma**. Ed. Canal 6, Bauru/SP, 2007.

SASTRY, C. B. **Timber for the 21st Century**. Online. Inbar, 1999, disponível em <<http://www.inbar.int/>>.Tabela 1. Valores médios da resistência à compressão das espécies ensaiadas