

Avaliação da resistência à compressão e tração paralela às fibras em colmos de *Dendrocalamus asper*

Rafael Silveira Gomes Cardoso¹; William Moreira de Oliveira¹; William Colatino Martins¹;
Caio Cesar Nemer Martins¹; Vinicius Resende de Castro¹; Angélica de Cassia Oliveira
Carneiro¹

¹ Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), Departamento de Engenharia Florestal (DEF), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil – lapem@ufv.br

Resumo O presente estudo avaliou as propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus asper*, com foco na resistência à compressão e tração paralelas às fibras em diferentes posições longitudinais (base, meio e topo) do colmo de bambu. Os resultados indicaram que a resistência à compressão na base do colmo foi superior em aproximadamente 21% em relação ao meio e topo. Já os valores de resistência à tração apresentaram tendência de crescimento no sentido longitudinal da base ao topo, enquanto os valores do módulo de elasticidade reduziram nesse mesmo sentido. Conclui-se que o bambu *Dendrocalamus asper* possui características mecânicas favoráveis para uso estrutural, com valores satisfatórios de resistência à compressão e tração paralelas às fibras.

Palavras-chave: Bambu, Uso estrutural, Propriedades mecânicas.

Evaluation of compressive and tensile strength parallel to the fibers in *Dendrocalamus asper* culms

Abstract: The present study evaluated the mechanical properties of *Dendrocalamus asper* bamboo, focusing on the compressive and tensile strength parallel to the fibers in different longitudinal positions (base, middle and top) of the bamboo culm. The results indicated that the compressive strength at the base of the culm was approximately 21% higher than at the middle and top. Tensile strength values showed a tendency to increase in the longitudinal direction from base to top, while elastic modulus values reduced in the same direction. It is concluded that *Dendrocalamus asper* bamboo has favorable mechanical characteristics for structural use, with satisfactory values of compressive and tensile strength parallel to the fibers.

Keywords: Bamboo, Structural use, Mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal tem conduzido ao desenvolvimento e à crescente adoção de materiais sustentáveis e ecologicamente viáveis na construção civil e na arquitetura, demandando, assim, espécies, práticas e processos mais alinhados com princípios ecológicos (Kelkar *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2020). Dentre estes princípios, pode-se citar a introdução de espécies de bambu adequadas, de acordo com as propriedades mecânicas exigidas para uso na construção civil.

Conforme Carbonari *et al.* (2017), o bambu é reconhecido como uma fonte de matéria-prima disponível, renovável e ecologicamente sustentável, devido à sua abundância, facilidade de cultivo e capacidade de corte anual sem necessidade de replantio. Além disso, o bambu é frequentemente descrito como "aço vegetal" devido à sua eficácia comparativa com materiais convencionais como concreto e aço (da Cruz *et al.*, 2022). Entretanto, é importante considerar a deficiência do bambu em relação ao módulo de elasticidade à flexão, o que pode influenciar sua aplicabilidade em projetos estruturais mais complexos (do Amaral *et al.*, 2023).

As propriedades mecânicas do bambu o posicionam como uma alternativa promissora para a construção sustentável, embora seja imperativo levar em conta suas limitações ao projetar estruturas que demandem alta rigidez à flexão (da Mota Nunes *et al.*, 2021). A sinergia entre suas características singulares e o desenvolvimento de técnicas inovadoras de conexão estrutural, como proposto por Padovan (2010), pode ampliar ainda mais o potencial de uso do bambu na indústria da construção civil, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência dos projetos.

O *Dendrocalamus asper* é uma espécie de bambu de grande porte originário do sudeste asiático, podendo chegar até 25 metros de altura na inserção das folhas, com colmos variando de 20 centímetros na base de diâmetro, e até 8 centímetros na posição mais apical (Mustafa *et al.*, 2021). Os colmos inferiores, mais próximos da base, possuem raízes aéreas (radículas) nos nós. No Brasil, o *Dendrocalamus asper* possui melhor produtividade (até 100 t/ha/ano) em altitudes variando de 400 a 500 metros de altitude, e em áreas com precipitação média anual de cerca de 2.400 milímetros, com melhores resultados em solos bem drenados (Rusch *et al.*, 2018).

Deste modo, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do bambu *Dendrocalamus asper* em relação as características mecânicas ao longo do sentido longitudinal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

As varas de bambu foram coletadas de um plantio da Universidade Federal de Viçosa, próximo ao Laboratório de Análise de Sementes Florestais, nas coordenadas geográficas 20° 46' 08,56" S e 42° 52' 32,61 O. O corte dos colmos de bambu foi realizado acima do primeiro nó, a 20 centímetros do solo. Para extração das varas,

contou-se com o auxílio de um trator e com uma motosserra para a colheita, sem danificar a integridade do bambu. Após a coleta em campo, as peças foram levadas à serraria para serem desdobradas de acordo com as dimensões adequadas para o preparo dos corpos de prova.

2.2 *Densidade*

Para a determinar densidade, conforme a ABNT NBR 16828-2 (2020), as amostras foram confeccionadas com 20 mm x 30 mm x espessura da parede do colmo, com 12 repetições para cada posição, “Base”, “Meio” e “Topo”, onde a base é representada por 0% da altura e o topo 100% da altura total da vara. A massa deve ser determinada com precisão de 0,01 grama, e o volume determinado pelo método de imersão Figura 1.

A densidade básica foi calculada ao dividir a massa pelo volume da amostra.

$$\rho = \left(\frac{m}{V} \right) \times 10^6$$

Em que ρ é a densidade, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³); m é a massa do corpo de prova, expresso em gramas (g); V é o volume do corpo de prova, expresso em milímetros cúbicos (mm³).

Figura 1. Preparo das amostras para densidade.



Fonte: (Autor)

2.3 *Propriedades mecânicas*

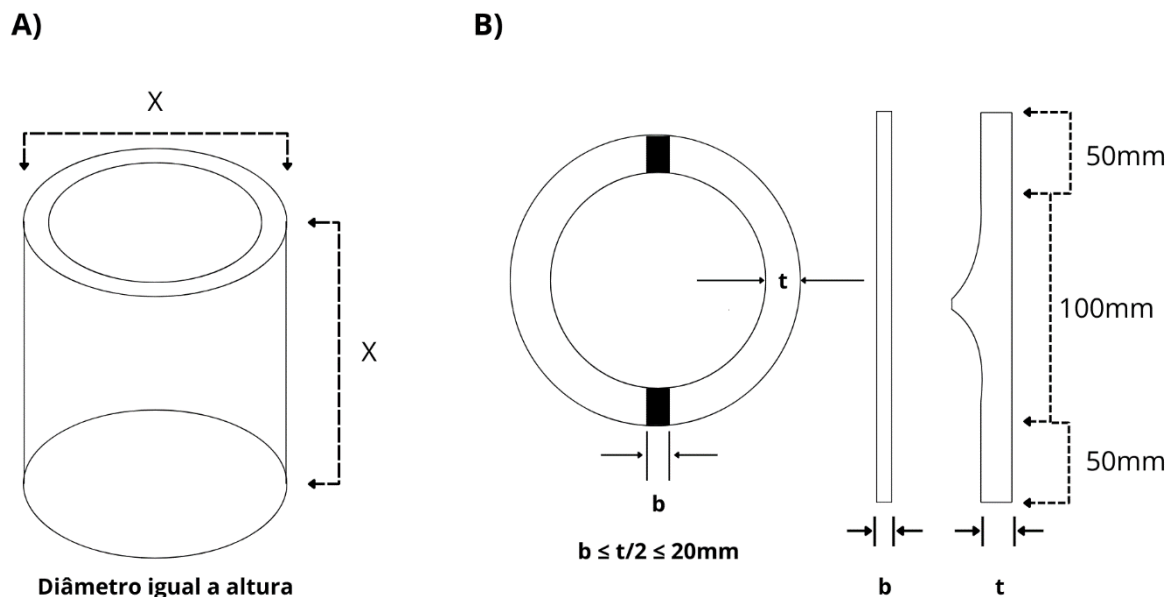
As propriedades mecânicas do bambu foram mensuradas em uma máquina de ensaio universal do modelo Contenco®. Os dados foram obtidos com auxílio do software Pavitest, de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 16828-2 (2020) para resistência nos ensaios de compressão e tração paralela às fibras, e

módulo de elasticidade no ensaio de tração paralela às fibras. Os corpos de prova foram mantidos em umidade de equilíbrio higroscópico entre 12 e 15%, base seca.

2.4 Preparo dos corpos de prova

Conforme a ABNT NBR 16828-2 (2020), os colmos foram divididos em “Base”, “Meio” e “Topo”, onde a base é representada por 0% da altura e o topo 100% da altura total da vara, coincidindo com o início das folhas. Para os ensaios de compressão paralela às fibras, os corpos de prova foram confeccionados utilizando a parte central do colmo e sem a presença de nó, e o comprimento do corpo de prova foi igual ao diâmetro do colmo, variando de 108 a 176 milímetros de diâmetro (Figura 2A). Para o ensaio de tração paralela às fibras, os corpos de prova foram confeccionados com nó em sua parte central, com comprimento do trecho central do corpo de prova de 50 a 100 milímetros e seção transversal retangular (Figura 2B). Para cada ensaio foram confeccionadas 12 amostras por posição (Base, Meio e Topo).

Figura 2. Detalhe das dimensões dos corpos de prova para os ensaios de compressão em “A” e de tração em “B”.



Fonte: (Autor)

2.5 Resistência à compressão paralela às fibras

Para determinar a resistência à compressão paralela às fibras, conforme a norma ABNT NBR 16828-2 (2020), foi aplicado um carregamento de forma constante comprimindo o corpo de prova, à velocidade de 0,01 mm/s.

A resistência à compressão foi calculada ao dividir a carga máxima registrada no equipamento pela área da seção transversal do corpo de prova.

$$f_{c0} = F_{m\acute{a}x} / A$$

Em que, f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras, $F_{m\acute{a}x}$ a força máxima aplicada e “A” é a área da seção transversal do colmo.

2.6 Resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras

Para determinar a resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras, conforme a norma ABNT NBR 16828-2 (2020), foi aplicado um carregamento de forma constante tracionando o corpo de prova, com velocidade de 0,01mm/s.

A resistência à tração foi calculada ao dividir a carga máxima registrada no equipamento pela área da seção transversal do corpo de prova. O módulo de elasticidade foi expresso conforme a norma.

$$f_{t0} = F_{m\acute{a}x} / A$$
$$E_{t0} = \frac{(F_{60} - F_{20})}{[A \times (\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})]}$$

Em que f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras, F_{60} e F_{20} representam respectivamente 60 e 20% da carga de ruptura do ensaio. ε_{60} e ε_{20} representam respectivamente 60 e 20% da deformação específica correspondente às forças F_{60} e F_{20} , tais deformações foram obtidas através do deslocamento da máquina de ensaio.

2.7 Análise estatística

O experimento utilizou um delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Foi realizado Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e Teste de homogeneidade de variância (Bartlett).

Quando as pressuposições foram alcançadas foi realizada análise de variância (ANOVA). Quando a diferença foi significativa foi aplicado teste de Tukey, 5% de significância.

Todas as análises foram realizadas no software livre R (R CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à caracterização mecânica dos colmos da espécie *Dendrocalamus asper* estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e mecânica dos colmos da espécie *Dendrocalamus asper*

		Base	Meio	Topo
Compressão Tração	f_{co} (MPa)	40,82 ^a (2,41)	31,87 ^b (3,43)	30,17 ^b (1,70)
	f_{to} (MPa)	63,94 ^a (5,41)	77,85 ^a (7,04)	72,20 ^a (10,47)
	E_{to} (GPa)	1,06 ^b (0,11)	1,22 ^{ab} (0,10)	1,45 ^a (0,14)
Compressão Tração	$f_{co,K}$ (MPa)	36,86	26,23	27,37
	$f_{to,K}$ (MPa)	47,91	34,10	35,59
	$E_{to,K}$ (MPa)	11056,67	7868,30	8212,05
Densidade	Kg/m ³	537,50 ^b (52,94)	627,02 ^{ab} (86,94)	674,97 ^a (142,54)

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey com 5% de significância. Entre parênteses valores de desvio padrão. f_{co} , f_{to} e E_{to} representam resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade respectivamente.

Para a resistência à compressão, os melhores resultados encontrados foram na posição basal, atingindo valores médios de 40,82 MPa. Carbonari *et al.* (2017) avaliando a resistência à compressão do bambu *Dendrocalamus asper*, obteve 49,84 MPa. Observou-se que a resistência das amostras da base foi aproximadamente 21% superior àquelas retiradas do meio e do topo do colmo (Tabela 1). Este resultado pode ser atribuído ao adensamento dos feixes vasculares, bem como ao maior comprimento e espessura da parede das fibras encontradas na base do colmo (Srivaro; Jakranod, 2016).

Para a resistência à tração, os melhores resultados encontrados foram na posição central, atingindo valores médios de 77,85 MPa. Carbonari *et al.* (2017) avaliando a resistência à tração do bambu *Dendrocalamus giganteus*, obteve 119 MPa. Durante o ensaio, observou-se que algumas amostras falharam na seção do nó, o que causou a obtenção de áreas de fratura incertas. Observou-se que a resistência à tração não apresentou diferença estatística. Já o módulo de elasticidade apresentou um aumento no sentido longitudinal, onde o topo é 15% superior às amostras do meio e 26% quando comparados às amostras da base. Segundo Rivera-Segura *et al.* (2024), há uma interação negativa em relação a composição anatômica do colmo, com o aumento do tamanho e da frequência dos feixes vasculares, têm-se uma queda nas propriedades mecânicas.

Para a densidade, os melhores resultados encontrados foram na posição do topo, atingindo valores de 674,94 Kg/m³. Observou-se que amostras do topo foram

aproximadamente 20% superior às amostras da base. O aumento longitudinal da densidade ocorre no sentido base topo (da Cruz *et al.*, 2022).

Segundo da Cruz *et al.* (2022), ao analisar a relação resistência versus a densidade, o bambu apresenta uma vantagem significativa em comparação com materiais convencionais, como o aço. Essa relação favorável entre resistência e densidade do bambu permite a criação de sistemas mais leves e resistentes, contribuindo para sua aplicação na construção civil.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Os ensaios mecânicos apresentaram resultados satisfatórios (compressão paralela às fibras com valores entre 30 e 40 Mpa e o ensaio de tração paralela com valores entre 63 e 77Mpa);
- O bambu *Dendrocalamus asper* apresentou características mecânicas favoráveis, especialmente sob condições de compressão, sendo que as seções basais são mais adequadas para tais aplicações.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES, CNPq e FAPEMIG. Adicionalmente, agradecemos o apoio da UFV, EMBRAPII, SIF e aos laboratórios LAPEM, LCP e LPM.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 16828:** Estruturas de Bambu – Determinação das Propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro. 2020.

BERNDSEN, R. S.; STREZELECKI, R.J.; BATISTA, D. C. *et al.* Resistência à flexão estática e à compressão paralela do bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*). **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 485-494, 2013.

CARBONARI, G.; JUNIOR, N. S.; PEDROSA, N. H. *et al.* Bambu–O aço vegetal. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017.

CHEN, M.; YE, L.; LI, H. *et al.* Flexural strength and ductility of mossô bamboo. **Construction and Building Materials**, v. 246, p. 118418, 2020.

DA CRUZ, Luisa Souza Neves Frade; BARROS, Marcelo Miranda. Bambu estrutural: possibilidades para uma engenharia sustentável. **MIX Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 79-92, 2022.

DA MOTA NUNES, G.; JÚNIOR, A. D. S. S.; DOS SANTOS PASTOR, J. O uso do bambu como material estrutural na construção civil. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 55, p. 152-164, 2021.

DO AMARAL, L. M.; KADIVAR, M.; PAES, J. B. *et al.* Physical, mechanical, chemical, and durability assessment of water leaching treatment of bamboo. **Advances in Bamboo Science**, v. 5, p. 100040, 2023.

JIMENEZ, J. P.; RAMOS, J. E. Dimensional stability and mechanical strength of thermally modified giant bamboo [*Dendrocalamus asper* (Schult.) backer] using steam and oil. **Advances in Bamboo Science**, p. 100081, abr. 2024.

KELKAR, B. U.; SHUKLA, S.R.; NAGRAIK, P. *et al.* Structural bamboo composites: A review of processing, factors affecting properties and recent advances. **Advances in Bamboo Science**, p. 100026, 2023.

MUSTAFA, A. A.; DERISE, M. R.; YONG, W. T. L. *et al.* A concise review of *Dendrocalamus asper* and related bamboos: germplasm conservation, propagation and molecular biology. **Plants**, v. 10, n. 9, p. 1897, 2021.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2010.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <http://www.r-project.org>.

RIVERA-SEGURA, R.; MOYA, R.; GAIATÁN-ALVAREZ, J. *et al.* Analysis of the physical-mechanical properties of *Dendrocalamus asper* (Schult.) versus two *Guadua angustifolia* (Kunth) varieties, South and Caribe in the Atlantic Region of Costa Rica. **Advances in Bamboo Science**, v. 6, p. 100057, 2024.

RUSCH, F.; HILLIG, É.; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

SIREGAR, S. H.; RAHMADINI, S.; HASMALINA, N. *et al.* Pulp synthesis using bamboo raw materials through unbleached and bleached processes. **Acta Chimica Asiana**, v. 6, n. 1, p. 247-253, 2023.

SRIVARO, S.; JAKRANOD, W. Comparison of physical and mechanical properties of *Dendrocalamus asper* Backer specimens with and without nodes. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, p. 893-899, 2016.