

**MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE *Khaya ivorensis* A. Chev. EM FUNÇÃO DE DIFERENTES PLANOS DE CORTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL****Carolina N. XAVIER<sup>1</sup>; Alexandre Miguel do NASCIMENTO<sup>2</sup>; Marcondes G. COELHO JUNIOR<sup>3</sup>**

- 1- Mestranda em Ciências Ambientais e Florestais, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. [ncarolx@gmail.com](mailto:ncarolx@gmail.com)
- 2- Professor Associado, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. [amn@ufrj.br](mailto:amn@ufrj.br)
- 3- Graduando em Engenharia Florestal, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. [marcondescoelho22@gmail.com](mailto:marcondescoelho22@gmail.com)

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi calcular o módulo de elasticidade e avaliar se a madeira de *Khaya ivorensis* possui rigidez distinta em peças cortadas nos planos radiais, tangenciais e diagonais. Foram confeccionados ao total 72 corpos de provas, com dimensões de 5,9 x 2,9 x 40 cm (largura, espessura e comprimento, respectivamente), separados em três grupos levando em consideração o plano de corte: tangencial, radial e diagonal. Efetuou-se o cálculo da densidade aparente da madeira. A umidade foi mensurada com o equipamento medidor de umidade de madeira ST 7500. Para a realização do ensaio de flexão foi utilizado máquina universal de ensaios com capacidade de 300 kN, seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997), o vão utilizado foi de 36,5 cm. A análise estatística foi realizada através da ANOVA para um nível de significância de 5%. As amostras apresentaram densidade média entre 0,550 e 0,575 g.cm<sup>-3</sup> e um teor de umidade médio de 15,0%. O módulo de elasticidade médio das madeiras foi de 8.355, 9.177 e 7.518 MPa, respectivamente para peças tangenciais, radiais e diagonais. Observaram-se diferenças significativas entre os módulos de elasticidade, para os diferentes planos de corte, sendo que as peças radiais tiveram valor médio superior às peças tangenciais, que teve valor superior a diagonal, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Palavras-chave:** Rigidez da madeira, Flexão, Mogno africano, Propriedades mecânicas.

**Abstract:** The objective of this research was calculate the elastic modulus from bending tests and assess whether the wood *Khaya ivorensis* have different stiffness in cut pieces in radial, tangential and diagonal planes. Were made up 72 test samples with dimensions of 5.9 x 2.9 x 40 cm (width, thickness and length), divided into three groups considering the cutting plane: tangential, radial and diagonal. The calculation of the density of the wood was made and the humidity was measured with wood moisture meter equipment ST 7500. To carry out the bending test was used universal testing machine with 300 kN capacity, following the NBR 7190: 1997, the gap was set in 36.5 cm. Statistical analysis was performed using ANOVA for a 5% significance level. The samples had an average density between 0.55 and 0.57 g.cm<sup>-3</sup> and an average moisture content of 15.0%. The average modulus of elasticity of the wood were 8,355, 9,177 and 7,518 MPa, respectively for radial, tangential and diagonal planes. We observed significant differences between the modulus of elasticity for different cutting planes, and the radial pieces had an average higher than the tangential parts that had higher than the diagonal, by Tukey test at 5% significance.

**Keywords:** rigidity of wood, bending test, mechanical properties.



## 1. Introdução

Combinando crescimento rápido com boa qualidade de madeira, o plantio de mogno africano está direcionado para a exploração de madeira de qualidade superior, com o objetivo de atingir o mercado externo e movelaria (SANTOS et al., 2008). Ela foi introduzida no Brasil visando substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), devido à sua alta resistência ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella*, a principal praga do mogno nativo (GASPAROTTO et al, 2001).

A madeira tem potencial para diversos usos: indústria moveleira, compensados, laminados, assoalhos leves, construções de embarcações, instrumentos musicais e até polpa de celulose (REMADE, 2015).

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas das madeiras é imprescindível, para que possa ser definido o seu uso de uma forma mais racional (GOMES, 2007). Dentre as propriedades físicas, a densidade é reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e estar relacionada com as demais características da madeira (OLIVEIRA et al., 2005).

Haselein et al. (2002) afirmam existir uma estreita relação entre a massa específica da madeira e as propriedades mecânicas, sendo que, desta forma, qualquer fator que acarrete alteração na primeira irá produzir efeitos nas propriedades mecânicas.

O módulo de elasticidade, uma das propriedades mecânicas mais estudadas mede a rigidez de um material e expressa o esforço hipotético em que um corpo de um centímetro quadrado de área transversal pode ser estendido ao dobro do comprimento original. O valor real do módulo de elasticidade é impossível de ser atingido, pois nunca se conseguirá uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo antes disso, ocorrerá a ruptura do material (KOLLMANN e CÔTÉ JR., 1968). A rigidez da madeira é uma medida de sua aptidão em resistir à deformação imposta pela carga e é expressa, numericamente, em testes de flexão estática, através do módulo de elasticidade, utilizando-se peças de seção retangular, com dois apoios e um ponto de aplicação da carga segundo a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997)

A disposição dos elementos anatômicos da madeira ocasiona diferenças nas propriedades da madeira dependendo do plano de corte. Podendo influenciar nos valores de módulo de elasticidade. Portanto, o objetivo deste trabalho foi calcular o módulo de elasticidade a partir de ensaios de flexão estático e avaliar se a madeira de *Khaya ivorensis* possui rigidez distinta em peças radiais, tangenciais e diagonais.

## 2. Material e métodos

As árvores utilizadas no estudo são oriundas do município de Seropédica-RJ, com idade aproximada de 30 anos.

O planejamento da confecção dos corpos-de-prova foi realizado de maneira que obtivesse três grupos diferentes de acordo com o plano de corte: Radial, Tangencial e Diagonal. (Figura 1)

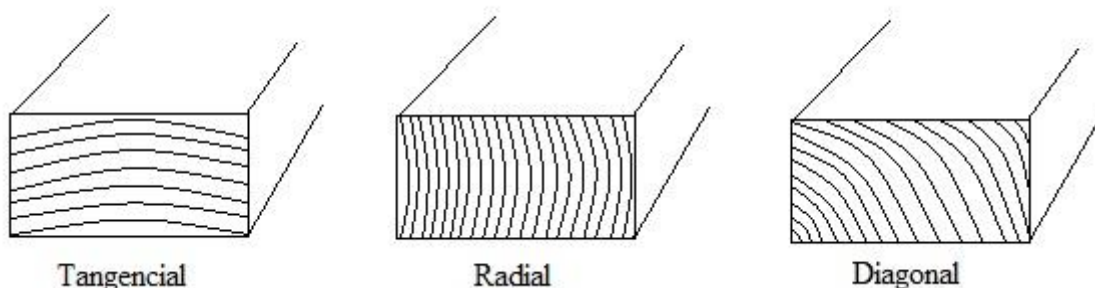


Figura 1. Planos de corte das amostras, Tangencial, Radial e Diagonal.

Para cada plano de corte foram gerados 24 corpos-de-prova, com dimensões de 5,9 x 2,9 x 40 cm (largura, espessura e comprimento) totalizando 72 corpos-de-prova. Em cada amostra foi mensurado o teor de umidade com o equipamento medidor de umidade de madeira ST 7500, o qual tem como princípio de funcionamento sensores que emitem um campo elétrico de alta frequência, penetrando no material, medindo a umidade pela variação de corrente elétrica produzida.

Nas mesmas amostras foi determinada a densidade aparente, pesando-as com balança analítica com 0,01g de precisão e as dimensões mensuradas através de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. A partir da coleta dos dados a densidade aparente de cada amostra foi calculada através da Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{tu\%}}{V_{tu\%}}$$

Equação 1

Onde:  $\rho_{ap}$  = densidade aparente da madeira para um teor e volume em umidade de equilíbrio ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $m_{tu\%}$  = massa da amostra na umidade de equilíbrio (g);  $V_{tu\%}$  = volume da amostra na umidade de equilíbrio ( $\text{cm}^3$ ).

Para a determinação da rigidez da madeira, foi efetuado o ensaio de flexão utilizando a máquina universal de ensaios com capacidade de 300 kN, seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997), o vão utilizado foi de 36,5 cm.

O ensaio foi automatizado, a carga foi interrompida quando foi atingida uma deformação de 1,825mm, ou seja, o vão dividido por 200. Gerando o diagrama de tensão x deslocamento e a partir desse, foi calculado o módulo de elasticidade no trecho linear do diagrama.

A Equação 2 foi usada para determinação do módulo de elasticidade, pois a relação entre o vão e a altura das amostras ensaiadas na flexão estava em torno de 12,5 vezes, abaixo de 21, como recomenda a NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} + 1,2 \frac{PL}{4Gbh}$$

Equação 2

Onde: P é igual a carga, L é o vão, E é o módulo de elasticidade na flexão, I é a menor inércia da seção transversal, b e h são as dimensões da seção transversal e G é o módulo de rigidez.



Foi considerado, para fins de cálculo, que a relação entre o módulo de elasticidade (E) e o módulo de rigidez (G) é igual os valores encontrados na Tabela 1. Para o corte diagonal será utilizado à média da relação entre os cortes radial e o tangencial.

Tabela 1. Relação entre o valor do módulo de elasticidade longitudinal e os módulos de rigidez em função dos planos de corte (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

Espécie ou tipo de madeira	Relação E/G	
	Corte radial	Corte tangencial
Mogno africano – <i>Khaya ivorensis</i>	11,36	16,95

A análise estatística foi feita pela Análise de Variância (ANOVA), verificando-se anteriormente a normalidade dos dados e heterocedasticidade da variância, pelos métodos de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Quando o valor de F da ANOVA foi significativo, foi aplicado o teste de Tukey, para verificar as diferenças significativas entre as médias. Todos os testes foram feitos com 5% de significância.

### 3. Resultados e discussão

A densidade aparente média, para uma umidade de equilíbrio de 15%, obtida foi de 0,559 g.cm<sup>-3</sup>, 0,575 g.cm<sup>-3</sup> e 0,550 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente para as direções tangencial, radial e diagonal. Valores apresentados na Tabela 2 mostram não existência de diferença estatística entre elas.

Tabela 2. Teor de umidade, densidade aparente e módulo de elasticidade de Mogno Africano em peças tangenciais, radiais e diagonais

Estatística	Tangencial			Radial			Diagonal		
	Tu	$\rho_{ap}$	MOE	Tu	$\rho_{ap}$	MOE	Tu	$\rho_{ap}$	MOE
	%	g.cm <sup>-3</sup>	MPa	%	g.cm <sup>-3</sup>	MPa	%	g.cm <sup>-3</sup>	MPa
$\bar{x}$	15,1	0,559 <sup>a</sup>	8.355 <sup>ab</sup>	14,9	0,575 <sup>a</sup>	9.251 <sup>a</sup>	14,9	0,550 <sup>a</sup>	7.949 <sup>b</sup>
S	1,63	0,05	1.089	1,39	0,05	873	1,09	0,04	1.180
Mín.	11,7	0,46	6.665	12,6	0,5	7.907	12,8	0,49	5.563
Máx.	17,1	0,64	10.072	17,1	0,63	10.948	16,8	0,67	9.289
CV (%)	10,8	8,9	13	9,3	7,9	9,4	7,3	8	14,8

Onde: TU: Teor de umidade;  $\rho_{ap}$ : Densidade Aparente MOE: Módulo de Elasticidade;  $\bar{x}$ : Média; S: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Carvalho et al. (2010), avaliando as propriedades físicas de *Khaya ivorensis*, obteve o valor de 0,627 g.cm<sup>-3</sup> para densidade aparente, com 12% de umidade, para madeira com idade de 10 anos.

Silva et al. (2014), observaram que a variação da densidade aparente, com 15% de umidade, da região medular até o alburno oscilou entre 0,60 a 0,80g.cm<sup>-3</sup> com valor médio de 0,71g.cm<sup>-3</sup>.



Observa-se na Tabela 2, que o valor médio do módulo de elasticidade, das peças radiais foi estatisticamente superior, pelo teste Tukey a 5% de significância, aos valores médios das peças tangenciais e diagonais.

Rezende *et al.* (2012), avaliaram as propriedades mecânicas de *Khaya ivorensis* aos 11 anos de idade e umidade acima do ponto de saturação das fibras e obtiveram um módulo de elasticidade de 8.057 MPa em flexão estática. França (2014), obteve um módulo de elasticidade de 9.577 MPa em flexão estática para mogno africano com idade de 19 anos e 12% de umidade.

No Forest Products Laboratory (2010) a madeira de *Khaya spp.*, acima do ponto de saturação das fibras teve módulo de elasticidade de 7.900 MPa, enquanto que madeira com 12% de umidade teve valor de 9.700 MPa.

Os valores médios de rigidez da madeira de *Khaya ivorensis* obtidas estão dentro da faixa de valores encontrados na literatura citada anteriormente.

Observa-se na Figura 2 os valores dos módulos de elasticidade nas distintas direções de corte, sendo a direção radial o módulo de elasticidade é estatisticamente superior as demais direções.

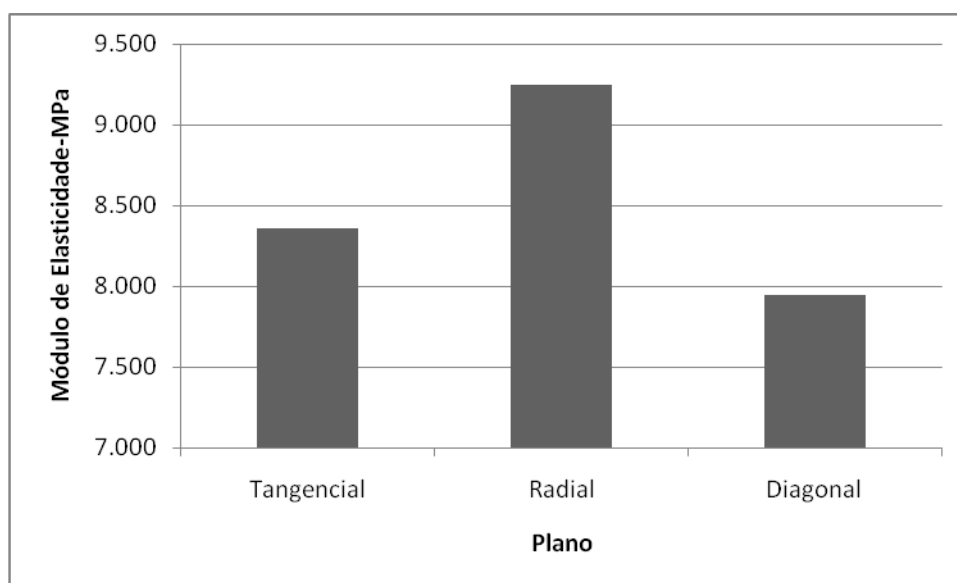


Figura 2. Valores médios dos módulos de elasticidade estáticos na flexão em função dos planos de corte.

#### 4. Conclusões

O módulo de elasticidade da madeira de mogno africano possui diferença significativa nos três planos de corte (tangencial, radial e longitudinal), sendo que as peças radiais apresentaram valores superiores aos demais planos e a direção diagonal foi a que apresentou menor valor de módulo de elasticidade.

#### Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.



CARVALHO, A. M. *et al.* Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). CERNE, v. 16, p. 106-114, 2010. Suplemento.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

FRANÇA, T.S.F. A. Caracterização tecnológica das madeiras de duas espécies de mogno africano (*khaya ivorensis* a. chev. e *khaya senegalensis* (desr.) a. juss.). 2014. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES.

GASPAROTTO, L.; HANADA, R.E.; ALBUQUERQUE, F.C.; DUARTE, M.L.R. Mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* em mogno africano. FITOPATOLOGIA BRASILEIRA, Brasília, v. 26, n. 3, p.660-661, 2001.

GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NÓBREGA, M. V. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para uso racional. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, v.11, n.5, p. 537-542, 2007.

HASELEIN, C.R.; et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith quando submetido a diferentes espaçamentos e doses de adubação. CIÊNCIA FLORESTAL, Santa Maria, v.12, n. 2, p. 147 – 152, 2002.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JR., W A Principles of wood science and technology: solid wood. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 562p.

OLIVEIRA, M. A. M.; DIAS, A. A. Ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira. CADERNOS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS, São Carlos, v. 7, n. 26, p.33-64. São Carlos – SP. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

REMADE. Mogno Africano – Boa alternativa para produção de madeira nobre. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1605&subject=E%20mais&title=Mogno%20africano%20%20Boa%20alternativa%20para%20produ%20E7%E3%20de%20madeira%20nobre](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1605&subject=E%20mais&title=Mogno%20africano%20%20Boa%20alternativa%20para%20produ%20E7%E3%20de%20madeira%20nobre) Acesso em: 07 de junho de 2015.

REZENDE, R.N.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M.; MONTEIRO, T.C.; PAULA, L.E.R.. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis* (mogno africano). In: XIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA – EBRAMEM XIII, Vitória, ES. Anais... EBRAMEM; 2012.

## II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira  
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



SANTOS, A.C.S., et al. Formação de mudas de mogno africano em recipientes de diferentes tamanhos santos, In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 12., 2008, Belém-PA. Anais... Belém: Embrapa Amazônia, 2008.

SILVA, L. V. M. S., NASCIMENTO A. M. do, GARCIA R. A., Variação radial da densidade, umidade e coloração da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* a. chev.). In. XIV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - XIV EBRAMEM, 2014, Natal, RN. Anais...EBRAMEM 2014.