

Avaliação de propriedades mecânicas da madeira jovem de *Khaya grandifoliola* C. DC.

Bruno M. B. Burns¹; Alexandre M. de Carvalho¹; Bernardo C. P. Moraes¹; Jessica T. C. Faria¹; Thainá A. Chagas¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ, Brasil –
bmburns05@gmsil.com

Resumo: A madeira de *Khaya grandifoliola* C. DC. ganhou destaque devido às suas propriedades mecânicas e potencial de uso sustentável. Este estudo avaliou as características físicas e mecânicas da madeira jovem dessa espécie, com foco na resistência ao cisalhamento, flexão e compressão. As amostras foram coletadas de árvores selecionadas em plantio na Bahia/Brasil, que por sua vez produziram corpos de prova para ensaios mecânicos. Após um período de secagem natural, os corpos de prova foram submetidos a ensaios utilizando uma máquina universal de testes, permitindo a obtenção de dados precisos sobre suas propriedades. Os resultados indicam que a *Khaya grandifoliola* apresenta características favoráveis para aplicações em pequenos móveis, contribuindo para o desenvolvimento de práticas sustentáveis na exploração de recursos florestais. Este trabalho ressalta a importância da pesquisa em madeiras tropicais e seu papel no atendimento às demandas do mercado consumidor, promovendo a valorização da espécie e a conservação ambiental.

Palavras-chave: Mogno africano, Propriedades mecânicas da madeira, Tecnologia da madeira.

Mechanicals properties evaluations of the young wood of *Khaya grandifoliola* C. DC.

Abstract: The *Khaya grandifoliola* C. DC. wood has gained prominence in forestry engineering because of your mechanical's properties and potencial for sustainable use. This study evaluates the mechanicals characteristics of the young wood of this specie, focusing in the shear, flexion and compression resistance. The samples were collected from trees selected in a farm located in Trancoso City – BA, that belongs to the company Symbiosis Investimentos e Participações S.A., where log seccion were made to produce the test bodies. After a period of natural dry, the test bodies were submitted to tests, using a universal testing machine, allowing you to obtain accurate data about your properties. The results indicate that *Khaya grandifoliola* show favorable characteristics to applicate in small furniture, contributing to the sustainable practices development in the exploration of forestry resources. This work highlights the tropical wood research importance and its role in meeting demands of the cosumer market, promoting the appreciation of the specie and Ambiental conservation.

Keywords: African mahogany, Wood mechanical properties, Wood technology.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Delatorre et al. (2020), a madeira é um material importante devido às suas propriedades tecnológicas, eficiência térmica e facilidade de manuseio,

permitindo sua aplicação em áreas como construção civil, indústria de papel e celulose, e geração de energia. Por ser um recurso renovável, a madeira favorece práticas sustentáveis e oferece versatilidade, com diferentes aspectos estéticos e características que atendem a diversas demandas do mercado.

Com o aumento da demanda por materiais sustentáveis e renováveis, a valorização de espécies como a *Khaya grandifoliola* se torna essencial para promover práticas de manejo florestal responsáveis e sustentáveis (GONÇALVES et al., 2023).

A determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira é realizada por meio de ensaios laboratoriais, utilizando equipamentos específicos e seguindo normas que detalham métodos e dimensões das amostras (Silva, 2013).

O estudo dessas propriedades permite prever aplicações do material, considerando suas capacidades de suportar cargas, resistir ao desgaste e lidar com variações ambientais, tanto em ambientes externos quanto internos (Reis et al., 2019; Rolim e Piotto, 2018).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas da espécie *Khaya grandifoliola* em plantio de dez anos, localizado no município de Trancoso – BA, através dos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras, flexão estática e compressão paralela às fibras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de coleta do material

O material utilizado a *Khaya grandifoliola*, a qual coletou-se na fazenda da empresa Symbiosis Investimentos e Participações S.A. localizada no município de Trancoso/BA. O local contém diversas espécies nativas e exóticas com idades variadas, em plantios consorciados entre diferentes espécies.

2.2. Material coletado

Para a coleta do material, foram abatidas três árvores de cada espécie de mogno africano, selecionando uma de menor diâmetro, uma de médio porte e uma bem conformada. As árvores, com 10 anos de idade, foram identificadas e marcadas.

De cada uma, foram cortadas duas toras de dois metros para a confecção de amostras. Os corpos de prova foram escolhidos aleatoriamente, evitando defeitos, e

confeccionados após 120 dias de secagem natural. A umidade média para a espécie *Khaya grandifoliola* foi de 13,05%.

2.3. Confeção dos corpos de provas

Após o corte, as árvores foram transportadas para uma serraria na fazenda, onde as toras foram desdobradas em tábuas e pranchas usando uma serra de fita.

Foram confeccionadas pranchas de 60 mm de espessura, que foram resserradas em sub-amostras de 45 cm de comprimento. Essas sub-amostras foram enviadas ao Laboratório de Processamento de Madeira da UFRRJ para a produção de corpos de prova para ensaios de propriedades mecânicas, com uso de maquinários do local.

Os corpos de prova para cisalhamento e compressão paralela às fibras foram confeccionados conforme a NBR ABNT 7190:1997, enquanto os de flexão estática seguiram a norma ASTM D143:2000. De cada sub-amostra, foram produzidos dois corpos de prova para cada tipo de teste, totalizando 6 para cisalhamento, 6 para flexão e 6 para compressão da espécie *Khaya grandifoliola*.

Os corpos de provas foram classificados como na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de espécie e identificação dos corpos de provas:

Espécie	Amostra
<i>Khaya grandifoliola</i>	290.1
<i>Khaya grandifoliola</i>	290.2
<i>Khaya grandifoliola</i>	302.1
<i>Khaya grandifoliola</i>	302.2
<i>Khaya grandifoliola</i>	306.1
<i>Khaya grandifoliola</i>	306.2

2.4. Realização dos testes

Foi utilizada a máquina universal de ensaios com o software Pavitest Madeira para ensaios em madeiras, que forneceu dados e controlou a realização dos ensaios.

Com o auxílio de um paquímetro digital foram medidas as dimensões exatas de altura e largura de todos os corpos de provas (flexão, cisalhamento e compressão) e em seguida inseridas uma de cada vez, na máquina, para iniciar os testes.

2.4.1. Ensaios de Cisalhamento paralelo às fibras

Os ensaios foram realizados em corpos de prova com as dimensões de 5,0 x 2,0 x 3,0 x 5,0 x 6,4 cm, direcionando a maior dimensão em paralelo com as fibras (ABNT 7190:1997). Para os ensaios de cisalhamento, os parâmetros fornecidos pelo software foram a carga máxima cisalhante aplicada ($Fv0, máx$) e o módulo de ruptura (MOR). O módulo de ruptura, que representa a máxima resistência ao cisalhamento, é calculado através da seguinte equação:

$$fv0 = \frac{Fv0, máx}{Av0}$$

onde:

$Fv0, máx$ representa a carga máxima cisalhante aplicada ao corpo de prova em kgf;

$fv0$ representa a máxima resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em kgf.cm⁻²;

$Av0$ representa a área inicial da seção crítica do corpo de prova em um plano paralelo às fibras.

2.4.2. Ensaios de flexão estática

Os ensaios foram realizados em corpos de prova com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 41,0 cm (ABNT 7190:1997).

Para o teste de flexão estática, foram determinados os valores da resistência da madeira à flexão, considerado como MOR ou módulo de ruptura, dado pela máxima tensão que pode atuar no corpo de prova e determinado pela equação:

$$fM = \frac{M, máx}{We}$$

onde:

fM representa a resistência da madeira à flexão em MPa;

$M, máx$ representa o máximo momento aplicado ao corpo de prova, em newtons-metro;

We representa módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova, dado por $bh^2/6$, em metros cúbicos.

Para o cálculo da rigidez da madeira, expressa pelo MOE ou módulo de elasticidade foi utilizada a equação descrita na norma ABNT 7190:1997. A equação está disposta abaixo:

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%}) L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) 4 bh^3}$$

onde:

E_{M0} representa o módulo de elasticidade na flexão estática em MPa;

$F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada;

$V_{10\%}$ e $V_{50\%}$ são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada $F_{M,est}$, em metros;

L representa o vão, ou seja, a distância entre os apoios do corpo de prova em cm. Para este teste utilizou-se 36,5 cm.

b e h correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova, em metros.

2.4.3. Ensaios de compressão paralela às fibras

Os ensaios foram realizados em corpos de provas com dimensões de 5,0 x 5,0 x 15,0 cm (ABNT 7190:1997).

No teste de compressão paralela, foram obtidos resultados como a carga máxima de compressão ($F_{c0,máx}$), o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). O ensaio foi realizado de duas maneiras: metade dos corpos de prova foi testada sem extensômetros, enquanto a outra metade utilizou extensômetros na maior dimensão do corpo e abertura de 90 mm para medir o MOE. O MOR indica a resistência à compressão paralela às fibras, e a resistência (f_{c0}) é calculada por uma equação específica.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A}$$

onde:

F_{c0} refere-se a força máxima aplicada, durante o ensaio, aplicada ao corpo de prova em kgf;

f_{c0} refere-se a resistência à compressão paralela às fibras em kgf.cm²

A é a área da seção transversal comprimida em cm²

Além disso, o MOE foi calculado através da seguinte equação (ABNT 7190:1997):

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

onde:

E_{c0} representa a rigidez ou módulo de elasticidade no sentido paralelo às fibras;

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de compressão as quais representam 10% e 50% da resistência máxima à compressão;

$\varepsilon_{10\%}$ e $\varepsilon_{50\%}$ representam as deformações nas tensões $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes às propriedades mecânicas encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4, as quais referem-se a cisalhamento, flexão e compressão, respectivamente.

Tabela 2. Valores das cargas máximas aplicadas aos corpos de prova de cisalhamento e valores de f_{c0} , da espécie *Khaya grandifoliola*:

Amostras	Carga máxima (kgf)	f_{c0} (MPa)
290.1	2420	9,13
290.2	2430	9,15
302.1	2410	9,20
302.2	2250	8,60
306.1	2490	9,59
306.2	2560	9,64
Média	2426,67	9,22
Desvio Padrão	103,28	0,38
CV%	4,26	4,10

Carga máxima = carga máxima aplicada pela máquina ao corpo de prova; f_{c0} = máxima resistência apresentada pelo corpo de prova após o ensaio; CV% = coeficiente de variação.

Tabela 3. Valores das cargas máximas aplicadas aos corpos de prova de flexão estática, valores de f_{c0} e do E_{M0} , da espécie *Khaya grandifoliola*:

Amostras	Carga máxima (kgf)	f_{c0} (MPa)	E_{M0} (MPa) ABNT
290.1	166,2	57,34	6058,52
290.2	182	59,17	5845,59
302.1	123,5	43,47	4885,30
302.2	137	44,88	5272,51
306.1	202,8	69,41	5850,73
306.2	180	60,06	5636,69
Média	175,5	55,72	5591,56
Desvio Padrão	27,63	9,88	436,44
CV%	15,75	17,73	7,81

Carga máxima = carga máxima aplicada pela máquina ao corpo de prova; f_{c0} = resistência máxima apresentada pelo corpo de prova após o ensaio; E_{M0} = Módulo de elasticidade apresentado pelo corpo de prova após o ensaio segundo a ABNT 7190:1997; CV% = coeficiente de variação.

Tabela 4. Valores das cargas máximas aplicadas aos corpos de prova de compressão paralela às fibras, valores do f_{c0} e do E_{c0} , da espécie *Khaya grandifoliola*:

Amostras	Carga máxima (kgf)	f_{c0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
290.1	8350	31,85	-
290.2	9180	35,70	7787,5
302.1	6780	25,82	-
302.2	8260	31,50	7059,7
306.1	8280	31,10	-
306.2	9510	36,60	8563,7
Média	8393,33	32,09	7803,63
Desvio Padrão	948,80	3,85	752,13
CV%	11,30	11,27	9,64

Carga máxima = carga máxima aplicada pela máquina ao corpo de prova; f_{c0} = resistência máxima apresentada pelo corpo de prova após o ensaio; E_{c0} = Módulo de elasticidade apresentado pelo corpo de prova após o ensaio; CV% = coeficiente de variação.

Segundo Silva (2013), nos testes de cisalhamento com arvores de *Khaya ivorensis* de trinta anos de idade, indicou uma resistência de cerca de 15,00 MPa e

um coeficiente de variação de 12,75% para a espécie *Khaya ivorensis*, a partir de árvores com 30 anos de idade. Para compressão registrou-se valores de compressão de 49,62 MPa e um coeficiente de variação de 24,62%.

No presente estudo, a média de resistência observada foi de 55,72 MPa. Além disso, a rigidez média registrada neste trabalho foi de 5591,56 MPa, conforme as normas da ABNT. Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2024), as espécies que apresentam resistência ao cisalhamento variando entre 7,6 e 11,47 MPa são classificadas como de resistência média. Da mesma forma, aquelas que suportam esforços de compressão entre 29,22 e 48,24 MPa também são categorizadas como de média resistência. Por último, em relação ao módulo de elasticidade, as espécies que apresentam valores entre aproximadamente 9.414 e 12.847 MPa são consideradas de resistência média.

A *Swietenia macrophylla*, conhecida como mogno-brasileiro, apresenta resistências à ruptura para cisalhamento, flexão estática e compressão paralela de 8,73, 55,11 e 31,68 MPa, respectivamente, além de um módulo de elasticidade de 6.470 MPa (SFB, 2024).

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Embora as árvores sejam jovens, a qualidade da madeira sugere um potencial que varia de média a boa em termos de propriedades mecânicas. Isso indica e reforça a possibilidade de utilização em estruturas leves, como na produção de móveis e esquadrias.
- A espécie possui considerável potencial de crescimento e melhoria de suas propriedades, visto que os resultados obtidos se relacionam a grande incidência de lenho juvenil.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of small Clear specimens of timber**. In: _____. Annual book of ASTM standards. Danvers, 2004. p. 23-53 (Designation: D 143-2000).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:projeto de estruturas de madeiras**. São Paulo, 1997. Disponível em: [https://www.academia.edu/34645241/NBR 7190 Projetos De Estrutura De Madeira a](https://www.academia.edu/34645241/NBR_7190_Projetos_De_Estrutura_De_Madeira_a) Brasília – DF. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Laboratório de Produtos Florestais: Banco de dados de madeiras brasileiras**. Serviço Florestal Brasileiro, 2024. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras?start=120> Acesso em: 21 jul. 2024.

DELATORRE, F. M.; CUPERTINO, G. F. M.; SANTOS JUNIOR, A. J. D.; SILVA, A. M. D.; DIAS JÚNIOR, A. F.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento da madeira de Ingá (*Inga edulis* Mart) frente a ensaios de usinagem. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e352985119, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5119. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5119>. Acesso em: 5 jun. 2024.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia forestalis**, v.[s.l.], n. 65, p. 102-113, 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap10.pdf>.

GONÇALVES, K. D. S. T.; SOUSA, H. R. S.; MARIANO, D. C.; EBLING, A. A.; NETO, C. F. O.; OKUMURA, R. S. Qualidade de povoamentos de Mogno africano na Amazônia Oriental. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 3, p. 1-17, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/10030>.

ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. Silvicultura e tecnologia de espécies da mata atlântica. Belo Horizonte, **Editora Rona**, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326262183 Silvicultura e Tecnologia de Especies da Mata Atlantica](https://www.researchgate.net/publication/326262183_Silvicultura_e_Tecnologia_de_Especies_da_Mata_Atlantica).

SILVA, L. V. M. S. D. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/5347>