



INFLUÊNCIA DO CANCRO (*Lasiodiplodia theobromae*) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya* SPP.)

Argel Costa Souza¹; Rafael Silva dos Santos²; Joabel Raabe³; Michael Douglas Roque Lima⁴; Diogenis Fontenele Ferreira Junior⁵; João Miguel Santos Dias⁶; Luiz Fernandes Silva Dionisio⁷.

¹ Mestrando em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).
argelsouza1@gmail.com.

² Graduando em Engenharia Florestal. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

³ Doutor em Ciências Florestais. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

⁴ Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

⁵ Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

⁶ Mestre em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

⁷ Doutor em Ciências Florestais. Universidade do Estado do Pará (UEPA)

RESUMO

Este trabalho avaliou as propriedades mecânicas da madeira de *Khaya* spp. em árvores sadias e em árvores com presença de cancro (*Lasiodiplodia theobromae*). Foram confeccionados corpos de prova isentos de defeitos, retirados de árvores classificadas em duas condições de sanidade (C0 = sem incidência visível de cancro, C3 = com incidência visível de cancro nível 3) e em duas posições radiais (lenho juvenil e lenho adulto). Os ensaios de flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, e cisalhamento foram conduzidos conforme adaptações das normas ASTM D143-94 e ABNT NBR 7190-3:2022. Os resultados indicaram que a presença de cancro não promoveu diferenças estatisticamente significativas nas propriedades mecânicas da madeira, o que demonstra que a deterioração não avançou até as regiões avaliadas. Em contraste, a variação radial apresentou efeito expressivo: o lenho adulto exibiu valores superiores de resistência e módulo de elasticidade à flexão e compressão paralela e perpendicular às fibras, além da resistência ao cisalhamento em relação ao lenho juvenil, possivelmente em razão da maior densidade e maturação estrutural. Os resultados confirmam que a qualidade estrutural da madeira de *Khaya* spp. é mais fortemente determinada pela transição radial do que pela presença do cancro, reforçando o potencial tecnológico da espécie mesmo em plantios acometidos pela doença.

Palavras-chave: Resistência mecânica. Lenho juvenil. Lenho adulto.

Área de Interesse do Simpósio: Ciências Agrárias.

Realização



Apoio





1. INTRODUÇÃO

A madeira é uma das matérias-primas mais versáteis e amplamente utilizadas, empregada na geração de energia, construção civil, produção de móveis, celulose e papel (Ibá, 2024). Além do seu amplo uso, destaca-se por ser um recurso renovável e sustentável, passível de colheita e replantio contínuo (Beims *et al.*, 2022), o que a torna uma alternativa ambientalmente vantajosa em relação a outros materiais.

A determinação das características tecnológicas da madeira é essencial para definir sua melhor aplicação. No entanto, por ser um material de origem biológica, apresenta elevada variabilidade estrutural e funcional. Essa variação ocorre entre espécies, árvores e diferentes regiões do fuste, sendo influenciada por fatores anatômicos, químicos e físicos (Oliveira e Silva, 2003).

Embora o Brasil tenha avançado em estudos com os gêneros *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., ainda há carência de pesquisas sobre outras espécies com potencial madeireiro. Entre elas, destaca-se o gênero *Khaya* sp., reconhecido pelo alto valor econômico, beleza e boas propriedades tecnológicas, sendo amplamente empregado como matéria-prima em produtos de maior valor agregado (Pakull *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020).

As espécies do gênero *Khaya* sp. são amplamente valorizadas pela beleza e estabilidade da madeira, sendo empregadas em móveis e instrumentos musicais de alto padrão, nos quais a estética é essencial. Entretanto, as espécies do gênero são suscetíveis ao cancro do córtex, causado por *Lasiodiplodia theobromae*, um fungo manchador que escurece o lenho e reduz o valor comercial das toras (Webber *et al.*, 2021). Embora seja conhecido principalmente por causar descoloração, estudos indicam que o fungo também degrada parcialmente as paredes celulares (França *et al.*, 2024), podendo afetar o crescimento e as propriedades mecânicas da madeira.

Apesar da relevância econômica do mogno africano (*Khaya* spp.), a literatura sobre os efeitos desse patógeno nas propriedades mecânicas da madeira ainda é escassa, especialmente considerando diferentes níveis de severidade do cancro. Diante disso, o objetivo desse estudo foi comparar as propriedades mecânicas da madeira de *Khaya* spp. em árvores sadias e acometidas por cancro, contribuindo para o entendimento da influência do fungo sobre a

qualidade tecnológica da espécie.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização do local de estudo e coleta do material

A madeira utilizada neste estudo foi adquirida em uma área de floresta plantada com *Khaya* spp. localizada na fazenda Boa Esperança, no município de Cidelândia, Maranhão, Brasil (5°11'27"S, 47°45'31"W, a 168 metros de altitude). O plantio possuía uma área de 12,7 hectares, com idade de 18 anos.

Foram desbastadas seis árvores, distribuídas em dois tratamentos diferentes, sendo três árvores por tratamento. Os tratamentos foram: árvores sem incidência visível de cancro (C0) e árvores com incidência visível de cancro severo (C3) (Figura 1), conforme a metodologia descrita por Ribeiro *et al.* (2023).

Figura 1 - Escala de incidência e severidade de cancro para *Khaya* sp. utilizada em campanhas de inventários florestais.



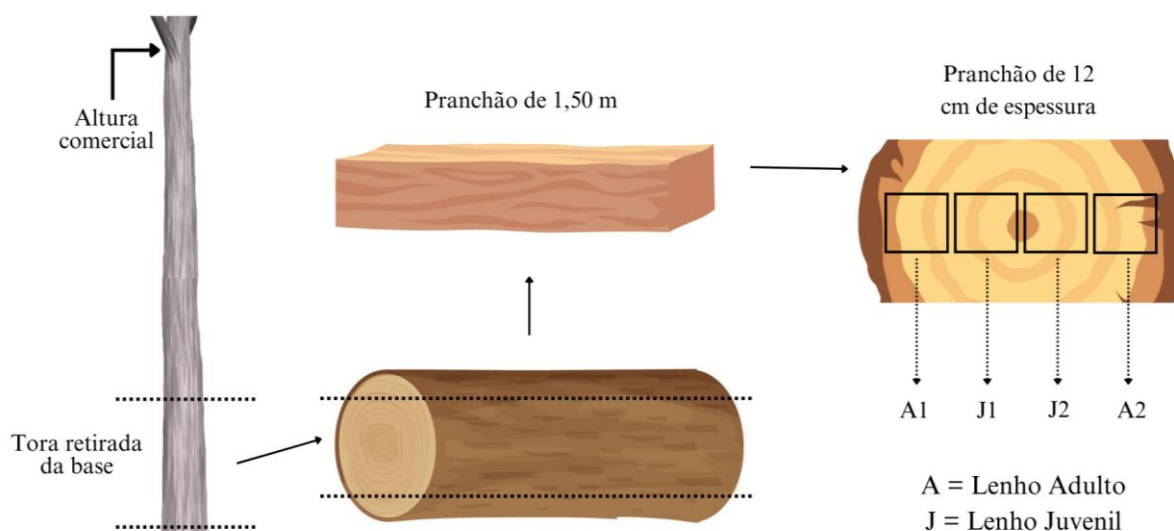
C0 - sem incidência; C3 - incidência severa. Fonte: Autores, 2025.

2.2 Produção dos corpos de prova (CP's)

Após a seleção, as árvores foram abatidas para retirada de toras de aproximadamente 1,5 m de comprimento a partir da base da árvore. Destas toras, foram extraídos pranchões

centrais, a partir dos quais foram confeccionados os corpos de prova utilizados na avaliação das propriedades mecânicas da madeira, totalizando 249 corpos de prova (CP's – Tabela 1). Para fins de análise, as regiões próximas à medula foram denominadas lenho juvenil, enquanto as próximas à casca foram denominadas lenho adulto (Figura 2), conforme critérios estabelecidos por Lourençon *et al.* (2014).

Figura 2 - Esquema de obtenção dos corpos de prova (CP's).



Fonte: Adaptado de Lourençon *et al.* (2014).

2.3 Realização dos ensaios

Os ensaios de caracterização mecânica foram realizados conforme as metodologias descritas na tabela 1. No ensaio de flexão estática, determinaram-se a resistência e o módulo de elasticidade global na flexão. Por meio do ensaio de compressão, obtiveram-se a resistência e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras. Já no ensaio de cisalhamento, avaliaram-se as resistências ao cisalhamento paralelo e perpendicular aos anéis de crescimento. Todos os ensaios foram realizados em máquina universal Instron Emic 23-100, equipada com célula de carga de 100 kN, extensômetro tipo clip-gauge e relógio comparador digital com resolução de 0,001 mm.

Tabela 1 - Ensaio mecânicos para madeira de *Khaya* spp. com presença e ausência de cancro.

| Ensaio | Tipo | Símbolo | CP's | Norma |
|-----------------|--|-----------|------|----------------------|
| Flexão estática | Resistência máxima | f_M | 53 | ASTM (2000) |
| | Módulo de elasticidade | MOE | | |
| Compressão | Módulo de elasticidade paralelo às fibras | E_{c0} | 50 | ABNT NBR 7190-3:2022 |
| | Módulo de elasticidade perpendicular às fibras | E_{c90} | 50 | |
| Cisalhamento | Resistência paralela aos anéis de crescimento | f_{v0} | 48 | ABNT NBR 7190-3:2022 |
| | Resistência perpendicular aos anéis de crescimento | f_{v90} | 48 | |

CP's = Corpos-de-prova. Fonte: Autores (2025).

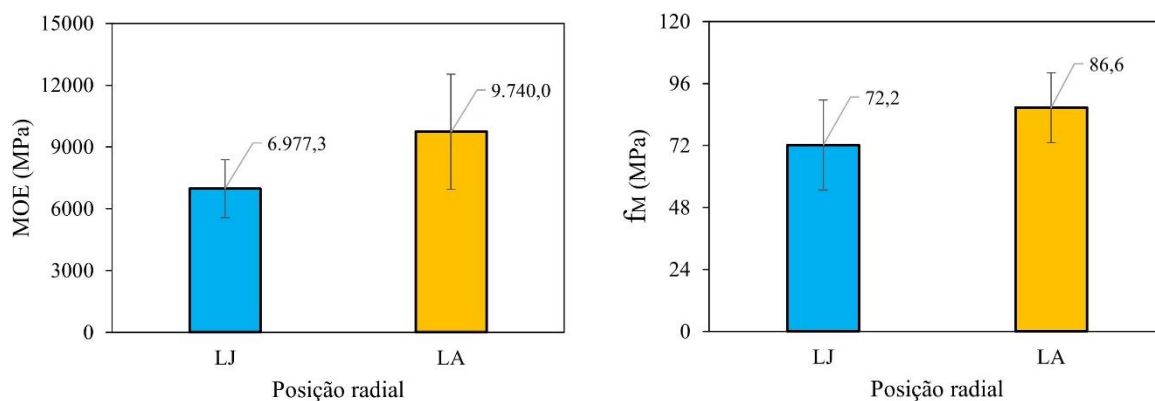
2.4 Delineamento estatístico e análise de dados

Os dados foram testados quanto à homogeneidade das variâncias e à normalidade dos resíduos pelos testes de Levene ($p \leq 0,05$) e Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$), respectivamente. Os dados obtidos nos ensaios mecânicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2×2 , considerando como fatores árvores sem cancro (C0) e com cancro severo (C3) e a posição radial (lenho juvenil – LJ e lenho adulto – LA), com 8-10 repetições cada. Todas as análises foram realizadas no software R (versão 4.4.3, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de cancro severo em *Khaya* spp. é associado ao fungo *Lasiodiplodia theobromae* (Reis, Oliveira e Santos, 2019). No presente estudo, a presença desse tipo de cancro nas árvores avaliadas não resultou em diferenças significativas nas propriedades mecânicas da madeira. O módulo de elasticidade (MOE) à flexão apresentou valores médios de 6.977 MPa para o lenho juvenil e 9.740 MPa para o lenho adulto (Figura 3), evidenciando maior rigidez e resistência na madeira formada em estágios mais avançados de crescimento. O mesmo padrão foi observado para a resistência máxima, o que confirma que o lenho adulto apresenta desempenho estrutural superior em função de sua maior densidade e maturação anatômica.

Figura 3 - Módulo de elasticidade (MOE) e resistência máxima (f_M) por posição radial para madeiras de *Khaya* spp.



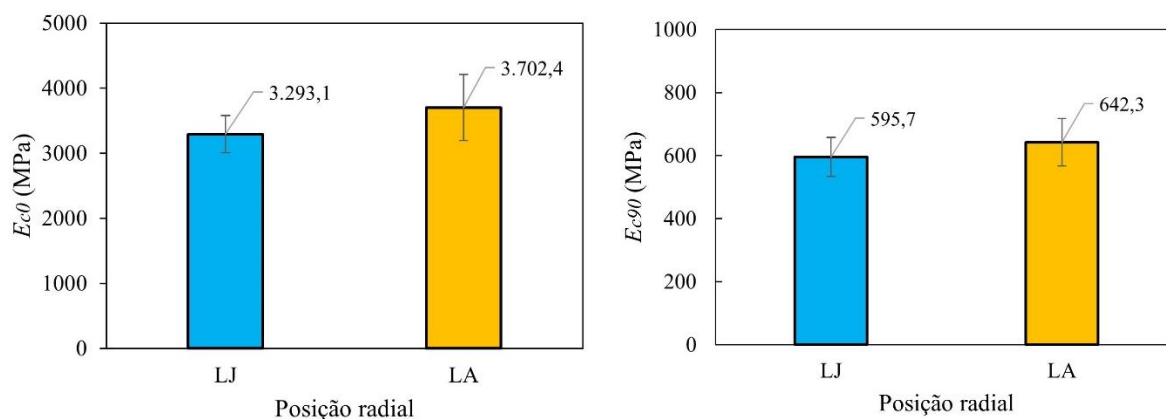
Nota: Barras representam o desvio padrão ($\pm DP$); LJ = Lenho Juvenil; LA = Lenho Adulto. Fonte: Autores, 2025.

A ausência de efeito significativo do cancro pode ser atribuída à natureza do patógeno e à localização das amostras. Os resultados sugerem que, nas regiões basais do fuste, de onde foram retirados os corpos de prova, a colonização do fungo foi limitada, permanecendo restrita principalmente ao câmbio e ao floema, sem alcançar o xilema secundário, responsável pela resistência mecânica (Benchimol, Melo e Costa, 2021). Assim, infere-se que, embora o cancro possa causar prejuízos estéticos e desvalorização comercial das toras, seus efeitos não se estendem às regiões internas da madeira, o que explica a manutenção da integridade estrutural observada. Esse comportamento é compatível com estudos em *Khaya ivorensis* e outras espécies, nas quais a deterioração promovida por *L. theobromae* é superficial e não compromete o lenho (Florence *et al.*, 2002).

Os resultados de compressão paralela e perpendicular às fibras estão em consonância com os relatados por Pranata e Suryoatmono (2014), evidenciando maior módulo de elasticidade na direção paralela em função do alinhamento das fibras, o que proporciona maior resistência e menor deformação (Figura 4). O lenho adulto apresentou desempenho superior ao juvenil em ambas as direções, resultado que corrobora estudos anteriores que apontam o aumento progressivo da densidade e da espessura das paredes celulares à medida que a madeira amadurece (Refort *et al.*, 2024). Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas

entre as classes de sanidade, notou-se leve tendência de redução nos valores das amostras com cancro, possivelmente associada a pequenas alterações anatômicas localizadas.

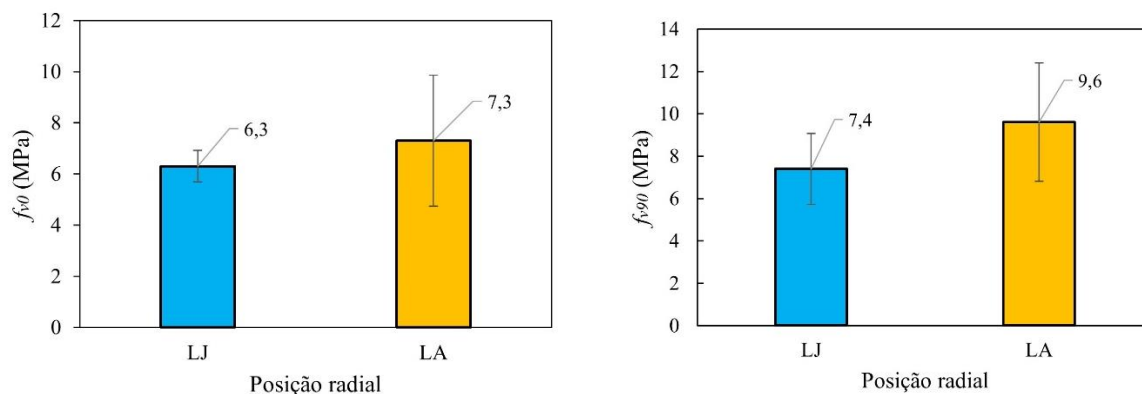
Figura 4 - Módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) e perpendicular (E_{c90}) às fibras por posição radial para madeiras de *Khaya* spp.



Nota: Barras representam o desvio padrão (\pm DP); LJ = Lenho Juvenil; LA = Lenho Adulto. Fonte: Autores, 2025.

A resistência ao cisalhamento apresentou médias de 6,3 e 7,3 MPa para o paralelo (f_{v0}) e 7,4 e 9,6 MPa para o perpendicular (f_{v90}), respectivamente (Figura 5). Esses valores estão dentro da faixa esperada para o gênero, entre 7 a 18 MPa (Reis, Oliveira e Santos, 2019) e indicam novamente o predomínio da influência radial sobre a sanidade.

Figura 5 - Resistência ao cisalhamento paralelo (f_{v0}) e perpendicular (f_{v90}) às fibras em lenho juvenil e adulto de *Khaya* spp.



Barras representam o desvio padrão (\pm DP); LJ = Lenho Juvenil; LA = Lenho Adulto. Fonte: Autores, 2025.



O melhor desempenho do lenho adulto reforça a correlação positiva entre densidade e resistência ao cisalhamento (Ahumada *et al.*, 2004), enquanto a semelhança entre C0 e C3 confirma que o cancro não comprometeu o tecido estrutural. Em alguns casos, o f_{v90} superou o f_{v0} , resultado atípico que pode estar relacionado à heterogeneidade natural da madeira e à variação radial das amostras (Ferreira *et al.*, 2024).

De modo geral, a variação radial mostrou-se o principal fator determinante das propriedades mecânicas da madeira de *Khaya* spp., enquanto o cancro severo exerceu efeito limitado. Esses resultados têm implicações práticas importantes: árvores acometidas pela doença podem continuar sendo aproveitadas tecnologicamente, desde que apresentem integridade estrutural. Embora o cancro reduza o valor estético das toras, ele não inviabiliza o uso industrial da madeira para fins estruturais ou utilitários (Bueno *et al.*, 2024).

Por outro lado, a menor resistência do lenho juvenil reforça a necessidade de um manejo florestal voltado à produção de árvores com maior diâmetro e proporção de lenho adulto. No processamento, a segregação de peças conforme a posição radial permite destinar o lenho adulto a aplicações que exijam maior desempenho mecânico, otimizando o aproveitamento do material (Vidaurre *et al.*, 2017).

4. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram concluir que a presença do cancro do córtex (*Lasiodiplodia theobromae*), mesmo em estágio severo, não afetou significativamente as propriedades mecânicas da madeira, indicando que o fungo não comprometeu a integridade estrutural do lenho nas regiões avaliadas. Por outro lado, verificou-se que a variação radial exerce maior influência sobre o desempenho mecânico, com o lenho adulto apresentando rigidez e resistência superiores ao lenho juvenil. Assim, pode-se afirmar que o desempenho tecnológico da madeira de *Khaya* spp. está mais associado à maturação do lenho do que à presença do cancro, reforçando o potencial de aproveitamento da espécie em plantios acometidos pela doença.



REFERÊNCIAS

- AHUMADA, I. G.; CARDEÑA, M. A. C.; RODRÍGUEZ, L. E. S. Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido. **Ingeniería**, v. 8, n. 1, p. 23–32, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143-94 (Reapproved 2000)**: Standard test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2000. 31 p.
- BEIMS, R. F.; ARREDONDO, R.; CARRERO, D. J. S.; YUAN, Z.; LI, H.; SHUI, H.; ZHANG, Y.; LEITCH, M.; XU, C. C. Functionalized wood as bio-based advanced materials: Properties, applications, and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112074, 2022.
- BENCHIMOL, R. L.; MELO, B.; COSTA, C. R. **Importância das doenças de etiologia fúngica em espécies florestais na Amazônia**: um breve histórico. Embrapa Amazônia Oriental. Belém – PA, X Simpósio Sobre Atualidades em Fitopatologia: Fitopatologia no Brasil: Um Panorama de Norte a Sul, 2021.
- BUENO, S. C.; DE ARAÚJO, M. S. B.; DE ARAÚJO, M. S. B.; CAVALCANTE, G. P.; CASSARO, S.; CHIMELLO, A. M.; LEITE, M. T.; MALDONADO, C. A. R.; NEVES, L. G. Diagnóstico molecular e avaliação da severidade do cancro da teca para detecção precoce de *Lasiodiplodia theobromae*. **Observatorio de la economía latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e8020, 2024.
- FERREIRA, T. R.; MENEZES, I. S.; MORAIS, C. A. G.; BERTOLINI, M. S.; CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Estimativa da resistência à tração perpendicular em função da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras de florestas nativas. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 2, p. e2842, 2024.
- FLORENCE, E. M.; GNANAHARAN, R.; SINGH, P. A.; SHARMA, J. K. **Weight loss and cell wall degradation in rubberwood caused by sapstain fungus *Botryodiplodia theobromae***. 2002.
- FRANÇA, T. S.; FRANÇA, F. J.; ARANGO, R. A.; COSTA, A.; OGUNRUKU, M. Properties of African Mahogany Wood Commercially Available in the United States. **Forest Products Journal**, v. 73, n. 4, p. 339-349, 2024.
- FRUEHWALD-KOENIG, K.; HEISTER, L. Macro- and micromechanical behavior of oil palm wood (*Elaeis guineensis* Jacq.): tensile, compression and bending properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, 2024.



INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2024**. São Paulo: IBÁ, 2024.

LOURENÇON, T. V.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; BULIGON, E. A.; HASELEIN, C. R. Determinação da idade de transição entre lenho juvenil e lenho adulto para três espécies florestais por meio de suas propriedades mecânicas. **Floresta e Ambiente**, n. 21, p. 251-260, 2014.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p. 381-385, 2003.

PAKULL, B. *et al.* Genetic diversity and differentiation among the species of African mahogany (*Khaya* spp.) based on a large SNP array. **Conservation Genetics**, v. 20, n. 5, p. 1035-1044, 2019.

PRANATA, Y. A.; SURYOATMONO, B. Kekuatan Tekan Sejajar Serat dan Tegak Lurus Serat Kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*). **Jurnal Teknik Sipil–Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil**, v. 21, n. 1, p. 13, 2014.

REFORT, M. M.; ACUÑA, L.; MONTEOLIVA, S.; MATEO, C.; CHARLOT, P.; PALAZZINI, D.; PAGANO, C.; GABRIEL, K.; SPAVENTO, E. M. Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura y de sus valores elasto-resistentes en *Pinus contorta*. **Maderas-ciencia Y Tecnologia**, v. 26, 2024.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.):** atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil. Brasília, DF, Embrapa, 378 p., 2019.

RIBEIRO, A.; SANGIOGO, M.; SOUSA, R. M. D.; FERRAZ FILHO, A. C. Evolution of canker severity and stem quality on African mahogany growth. Pesquisa **Agropecuária Brasileira**, 58, e03380, 2023.

SANTOS, L. H. O.; ALEXANDRE, F. S.; MENDOZA, Z. M. S. H.; SOUZA, É. C.; BORGES, P. H. M.; MARIANO, R. R.; DÍAZ, L. M. G. R.; NUNES, C. A. Características químicas e físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 361–366, 2020.

VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; CASTRO, M.; COELHO, J. C. F.; BRITO, A. S.; MOULIN, J. C. Relação da grã com algumas variáveis do crescimento e propriedades da madeira de *Khaya ivorensis*. **Sci For**, v. 45, p. 249-259, 2017.

WEBBER, T. V.; MARTINS, T. V.; CÂNDIDA, D. V.; REIS, C. A. F.; CUNHA, M. G.; SETTE, C. R.; DIANESE, É. C. Control techniques and evaluation of pathogen influence on African mahogany (*Khaya grandifoliola* C. Dc.) infected by *Lasiodiplodia theobromae* Pat. **European Journal of Plant Pathology**, v. 159, n. 2, p. 427–432, 2021.

Realização



Apoio

