

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LETÍCIA BENETTE GONÇALVES

INFLUÊNCIA DE CANCRO NA MADEIRA DE *Khaya ivorensis*

MONTE CARMELO

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LETÍCIA BENETTE GONÇALVES

INFLUÊNCIA DE CANCRO NA MADEIRA DE *Khaya ivorensis*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Florestal da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo,
como requisito necessário para a obtenção
do grau de Engenheira Florestal.
Orientadora: Prof. Dra. Amélia Guimarães
Carvalho

MONTE CARMELO

2026

LETÍCIA BENETTE GONÇALVES

INFLUÊNCIA DE CANCRO NA MADEIRA DE *Khaya ivorensis*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 02 de março de 2026.

Banca Examinadora

Dra. Amelia Guimarães Carvalho
Orientador(a)

Dr. Elias De Sá Farias
Membro da Banca

Ms. Shoraia Germani Winter
Membro da Banca

MONTE CARMELO

2026

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi um percurso marcado por desafios, aprendizados e superações, construído, sobretudo, com o apoio de pessoas fundamentais. Por isso, registro minha profunda gratidão a todos que fizeram parte dessa trajetória.

Aos meus pais, minha base e meu alicerce, agradeço o amor, incentivo e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida.

Aos meus irmãos, Luiza e Raí, pelo companheirismo, carinho e força constantes, especialmente nos momentos em que mais precisei.

Ao meu marido, pela paciência, compreensão e apoio contínuo. Sua presença foi essencial ao longo de toda essa caminhada.

Ao meu melhor amigo, Gabriel Costa, por nunca soltar minha mão, por estar presente nos momentos felizes e, principalmente, nos mais desafiadores.

À minha melhor amiga da faculdade, Evelyn Rosa, agradeço por cada aula compartilhada, pelas longas noites de estudo e por todos os momentos vividos ao longo dessa jornada acadêmica.

Aos amigos incríveis que fiz na LD Celulose e que levarei para a vida, registro minha sincera gratidão por todo o apoio, paciência, conselhos e incentivo ao longo desse processo. Em especial, Valéria, Bruno, Caio, Vitinho, Maykon, João e as duas Nats, uma com "Y". Vocês foram fundamentais nessa caminhada, e levarei comigo tudo o que aprendi com cada um.

À equipe do setor de inventário, Kálita e Washington, expresse meu agradecimento especial. O suporte técnico, os conhecimentos compartilhados e a constante troca de experiências foram essenciais para a realização deste trabalho e para o meu amadurecimento profissional ao longo desse período.

À minha orientadora, Amélia Guimarães, minha sincera gratidão pela dedicação, orientação e confiança. Além de uma profissional exemplar, foi uma verdadeira guia durante o desenvolvimento deste trabalho. Ter sido sua orientanda foi, sem dúvida, uma honra.

Por fim, agradeço aos professores da Engenharia Florestal, que contribuíram de forma decisiva para minha formação acadêmica e profissional. Em especial, aos professores Rodrigo, Paulinha, Livia, Eduardo, Luciano, Vicente, Dani, Regina, Álvaro, Osvaldo e tantos outros, deixo meu reconhecimento e agradecimento. Levarei comigo cada ensinamento, exemplo e palavra de incentivo recebidos ao longo da graduação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aptidão edafoclimática do Mogno Africano no Brasil	8
Figura 2: Local de coleta das amostras	10
Figura 3: Classificação dos tratamentos	12
Figura 4: Identificação dos tratamentos	12
Figura 5: Corpos de prova sendo dimensionadas com o paquímetro digital	13
Figura 6: Corpos de prova em saturação por 30 dias em câmara de vácuo	16
Figura 7: Determinação do volume dos corpos de prova através do deslocamento da água na balança hidrostática	17
Figura 8: Secagem dos corpos de prova em estufa a 100 ± 2 °C por 24 horas	17
Figura 9: Resfriamento dos corpos de prova em dessecador hermético	18
Figura 10: Execução dos ensaios de flexão dos corpos de prova.....	19
Figura 11: Ruptura dos corpos de prova.....	19
Figura 12: Execução os ensaios de flexão no equipamento Instron.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Testes estatísticos, p-valores e significância para as variáveis físicas e mecânicas avaliadas na madeira de <i>Khaya ivorensis</i>	21
Tabela 2: Propriedades física e mecânica da madeira de <i>K. ivorensis</i> com e sem cancro	22

RESUMO

O gênero *Khaya*, introduzido no Brasil por volta da década de 1970, consolidou-se como alternativa promissora para a produção de madeira nobre, especialmente a espécie *Khaya ivorensis* A. Chev., conhecida como mogno-africano. Embora exótica, apresenta excelente adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, mas seu desempenho tem sido comprometido pela doença do cancro, causada principalmente por *Lasiodiplodia theobromae*. Este trabalho teve como objetivo comparar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *K. ivorensis* proveniente de árvores com e sem cancro. Foram avaliadas a umidade de equilíbrio higroscópico, densidade básica, deformações nos planos axial, radial e tangencial, variação volumétrica e resistência à flexão estática. Os resultados mostraram que a presença do cancro aumentou significativamente a densidade básica da madeira e alterou as deformações radial e tangencial, bem como a variação volumétrica, influenciando sua estabilidade dimensional. Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na resistência à flexão entre os tratamentos. Esses achados fornecem subsídios para estratégias de manejo e seleção de matéria-prima visando minimizar perdas e melhorar o aproveitamento da madeira de mogno-africano.

Palavras-chave: Doenças florestais, mogno-africano, fungos fitopatogênicos, propriedades da madeira.

ABSTRACT

The genus *Khaya*, introduced to Brazil around the 1970s, has established itself as a promising alternative for the production of high-quality wood, especially the species *Khaya ivorensis* A. Chev., known as African mahogany. Although exotic, it shows excellent adaptation to Brazilian edaphoclimatic conditions, but its performance has been compromised by canker disease, mainly caused by *Lasiodiplodia theobromae*. This work aimed to compare the physical and mechanical properties of *K. ivorensis* wood from trees with and without canker. Equilibrium hygroscopic moisture, basic density, deformations in the axial, radial and tangential planes, volumetric variation and static bending strength were evaluated. The results showed that the presence of canker significantly raised the basic density of the wood and altered radial and tangential deformations, as well as volumetric variation, compromising its dimensionais stability. On the other hand, no statistically significant differences were observed in bending strength between the treatments. These findings provide support for management strategies and raw material selection aimed at minimizing losses and improving the utilization of African mahogany wood.

Keywords: Forest diseases, african mahogany, phytopathogenic fungi, wood properties.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVO	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3.1 Gênero <i>Khaya</i>	7
3.2 Cancro	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Local do estudo	10
4.2. Coleta e Classificação dos Corpos de Prova	11
4.3. Determinação das Propriedades da Madeira	13
4.3.1. Avaliação Dimensional nos Planos Anatômicos	13
4.3.2. Propriedades Analisadas	14
4.3.3. Determinação da Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH)	15
4.3.4. Densidade básica	15
4.3.5. Secagem Final, Resfriamento e Medição Dimensional	17
4.4. Ensaio de Flexão Estática	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6. CONCLUSÃO	24
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O mogno-africano, pertencente ao gênero *Khaya* (família Meliaceae), destaca-se como uma das principais espécies exóticas de interesse econômico na silvicultura brasileira, sobretudo em razão da excelência de suas propriedades físicas, mecânicas e estéticas. Dentre as espécies, *Khaya ivorensis* A. Chev., conhecida comercialmente como mogno- africano, é atualmente a principal espécie cultivada no Brasil para fins madeireiros, sendo valorizada pela indústria moveleira, naval, confecção de instrumentos musicais, construção e acabamento civil (CALDEIRA et al, 2025).

Originária das regiões tropicais da África, com ocorrência em países como Camarões e Madagascar, *Khaya ivorensis* tem demonstrado elevada adaptação às condições edafoclimáticas do Brasil. O desempenho silvicultural da espécie é influenciado por fatores como tipo de solo, disponibilidade hídrica, temperatura média anual e umidade relativa do ar, que condicionam o crescimento e a produtividade dos plantios. Estudos de zoneamento indicam que aproximadamente 55% do território nacional apresenta aptidão para o cultivo da espécie (REIS et al., 2019).

A madeira de *K. ivorensis* tem sido destacada por seu elevado padrão estético, baixa incidência de defeitos e boas características de usinagem, atributos que reforçam seu valor no mercado global de madeiras nobres (FERRAZ FILHO et al., 2021). Além disso sua casca tem potencial de uso como um agente natural de resistência a cupins, ampliando seu potencial comercial (ADEDEJI et al., 2018). Apesar do elevado potencial silvicultural e tecnológico, a espécie tem enfrentado desafios fitossanitários importantes, entre os quais se destaca a ocorrência do cancro do tronco, de origem predominantemente fúngica (FALESI, BITTERN COURT, 2011). Essa doença compromete o sistema vascular da planta, afeta a integridade estrutural da madeira e reduz significativamente seu valor agregado.

A escassez de estudos sobre a etiologia e os impactos do cancro em *K. ivorensis* ressalta a necessidade de investigações científicas voltadas à compreensão da doença e suas implicações tecnológicas na produção florestal.

2. OBJETIVO

Avaliar como a presença do cancro influencia as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. (mogno-africano), por meio da comparação entre indivíduos com e sem a ocorrência da doença, identificando possíveis alterações na densidade básica, deformações, variação volumétrica e resistência à flexão estática.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gênero *Khaya*

O gênero *Khaya* reúne quatro espécies — *K. grandifoliola*, *K. anthotheca*, *K. senegalensis* e *K. ivorensis* — todas conhecidas comercialmente como mogno africano. Originárias da região da Savana Africana, essas espécies apresentam elevada capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, conforme relatado por Pereira et al. (2026). Entre elas, *K. ivorensis* A. Chev. tem se consolidado como a principal escolha para fins madeireiros, devido à alta qualidade tecnológica de sua madeira e à valorização no mercado internacional (FERRAZ FILHO et al., 2021). Atualmente, o cultivo do mogno-africano encontra-se amplamente difundido em diversas regiões do Brasil, especialmente no estado de Minas Gerais. Estima-se que mais de 50 mil hectares da espécie já tenham sido estabelecidos no país (FERRAZ FILHO et al., 2021). O bom desempenho observado está associado à semelhança entre as condições edafoclimáticas brasileiras e aquelas encontradas nas regiões de origem da espécie, favorecendo sua adaptação e desenvolvimento (REIS, 2019).

As plantações comerciais de *K. ivorensis* têm demonstrado desempenho superior ao observado em florestas naturais, resultado da aplicação de técnicas silviculturais que envolvem a seleção genética de sementes oriundas de árvores matrizes superiores, o preparo adequado do solo com base em suas características físico-químicas, a adubação equilibrada e o controle fitossanitário preventivo (FARREZ FILHO et al., 2021). Essas práticas promovem condições ideais para o desenvolvimento das árvores, refletindo-se na melhoria de suas características anatômicas, físicas e mecânicas e, conseqüentemente, na qualidade final da madeira.

O planejamento florestal adequado constitui um fator essencial para o sucesso do cultivo de espécies arbóreas. Esse processo deve considerar variáveis como relevo, regime hídrico, tipo de solo e condições climáticas, as quais influenciam diretamente o crescimento, a produtividade e a adaptação das espécies em diferentes regiões (REIS, 2019). Nesse contexto, a Figura 1 apresenta o zoneamento de aptidão edafoclimática para o cultivo de *Khaya ivorensis* no Brasil, evidenciando as áreas com maior potencial para o estabelecimento de plantios comerciais da espécie. Observa-se que extensas regiões do território nacional apresentam condições favoráveis ao seu desenvolvimento, especialmente em áreas caracterizadas por clima tropical com estação seca definida. Ressalta-se, contudo, que ainda há quantidade limitada de estudos recentes sobre o cultivo de mogno-africano no Brasil, razão pela qual parte das informações utilizadas na literatura provém de trabalhos publicados em anos anteriores, os quais permanecem como referências importantes para o planejamento e manejo silvicultural da espécie.

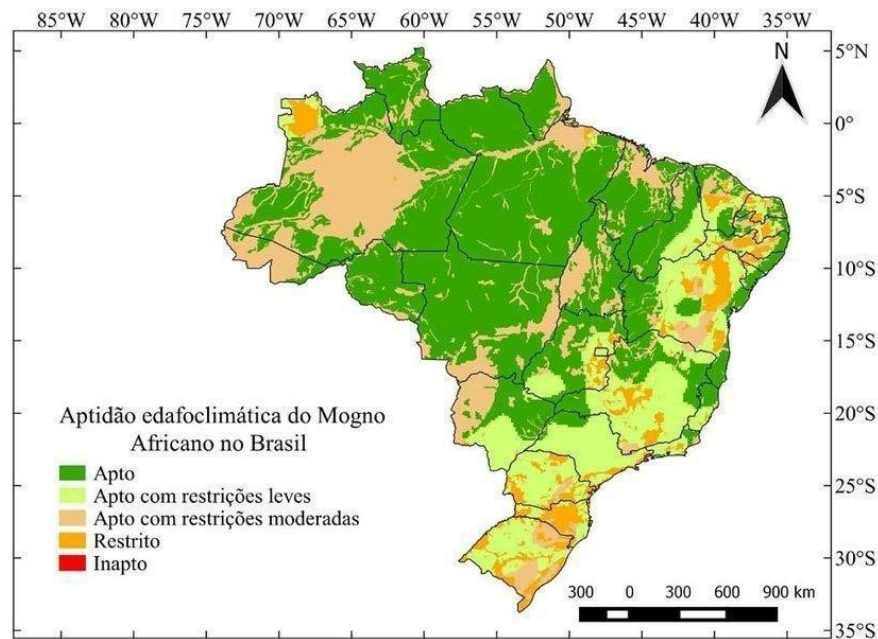


Figura 1: Aptidão edafoclimática do Mogno Africano no Brasil
(Casaroli et al., 2018).

Além de seu bom desempenho silvicultural, *K. ivorensis* apresenta vantagens ecológicas e tecnológicas relevantes. Um dos principais diferenciais é sua resistência à broca-do-ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller), considerada uma das pragas mais danosas para espécies do gênero em outras regiões tropicais (FERRAZ FILHO et al., 2021).

Ademais, a espécie possui elevado teor de extrativos em sua casca, os quais têm despertado interesse por suas propriedades pesticidas naturais, podendo ser utilizados na proteção de madeiras de baixa durabilidade. Adedeji et al. (2018) demonstraram, por meio de ensaios laboratoriais e de campo, que os extratos de *K. ivorensis* apresentam atividade termiticida significativa contra o cupim-subterrâneo-formosano (*Coptotermes formosanus*), indicando seu potencial como agente natural no tratamento preventivo da madeira.

Pesquisas conduzidas pela Embrapa Cerrados também destacam que *K. ivorensis* apresenta crescimento mais acelerado em comparação a outras espécies do gênero, o que, aliado à sua adaptabilidade e à qualidade tecnológica da madeira, justifica sua ampla adoção em plantios comerciais (FERRAZ FILHO et al., 2021).

Silva et al. (2016), avaliando árvores de 19 anos em plantio experimental no Espírito Santo, observaram índice de rachaduras de apenas 0,20%, valor inferior aos registrados em espécies amplamente utilizadas no setor madeireiro, como *Eucalyptus* spp.. Além disso, a deformação residual longitudinal média foi de 0,08 mm, evidenciando boa estabilidade dimensional. Esses resultados sugerem que a seleção de procedências e materiais genéticos

adequados é fator determinante para reduzir defeitos e melhorar o desempenho da madeira no processamento industrial.

3.2 Cancro

O cancro é uma anomalia fitossanitária que afeta o tronco das árvores, comprometendo o câmbio vascular e os tecidos adjacentes a partir de lesões necróticas. Essas lesões estão geralmente associadas a ferimentos de origem mecânica (como podas, impacto de ferramentas, rachaduras por vento ou manejo inadequado) ou biológica (ataques de pragas, insetos perfuradores, entre outros). Tais injúrias atuam como portas de entrada para patógenos oportunistas, principalmente fungos, que se instalam nos tecidos lesionados e iniciam a infecção (FALESI, BITTERN COURT, 2011).

Entre os agentes fúngicos associados ao cancro em espécies florestais, para o mogno, a principal espécie identificada como agente causal da doença é *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl., também conhecida como *L. Africana* (WEBBER et al. 2021).

Em estudo conduzido pela Embrapa Amazônia Oriental, em Dom Eliseu (PA), foi registrada a ocorrência de *L. theobromae* e *Fusarium subglutinans* em tecidos sintomáticos de árvores jovens de *Khaya ivorensis* (TREMACOLDI, 2013). Os autores também confirmaram a patogenicidade de *L. theobromae* por meio de inoculações controladas, que resultaram em sintomas característicos da doença, estabelecendo-o como o principal agente etiológico do cancro nessa espécie.

Em plantios comerciais de *Khaya grandifoliola* no estado de Minas Gerais também foram observadas infecções por cancro. (WEBBER et al. 2021). Embora a ocorrência da doença tenha sido inicialmente associada a ambientes úmidos, estudos mais recentes indicam que condições de estresse ambiental, especialmente déficit hídrico associado a altas temperaturas, podem aumentar a suscetibilidade das plantas à infecção por patógenos oportunistas. Nessas condições, a formação de fissuras na casca e a redução da capacidade de defesa da planta favorecem a colonização por fungos fitopatogênicos (SOUZA et al., 2025).

Em regiões caracterizadas por períodos prolongados de estiagem, como ocorre em parte do Centro-Oeste brasileiro, o estresse hídrico pode intensificar a ocorrência do cancro em diferentes espécies arbóreas. Nessas situações, observam-se sintomas como ressecamento e escurecimento da casca, exsudação de seiva ou látex e, em estágios mais avançados, o anelamento parcial ou total do tronco, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento da planta (SOUZA et al., 2025).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do estudo

O presente estudo foi realizado a partir de amostras de madeira da espécie *Khaya ivorensis* (mogno-africano), obtidas de árvores matrizes com 14 anos de idade, cultivadas em uma propriedade particular localizada no município de Iraí de Minas, estado de Minas Gerais. As coordenadas geográficas da área são 19.0024378, 47.4065115, e a área total de plantio é de 230 hectares de floresta plantada.

A região pertence ao Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, dentro do bioma Cerrado. O clima local é classificado como Aw (tropical sazonal), segundo a classificação de Köppen, com invernos secos e verões quentes e úmidos. As temperaturas variam entre 16 °C e 40 °C ao longo do ano.

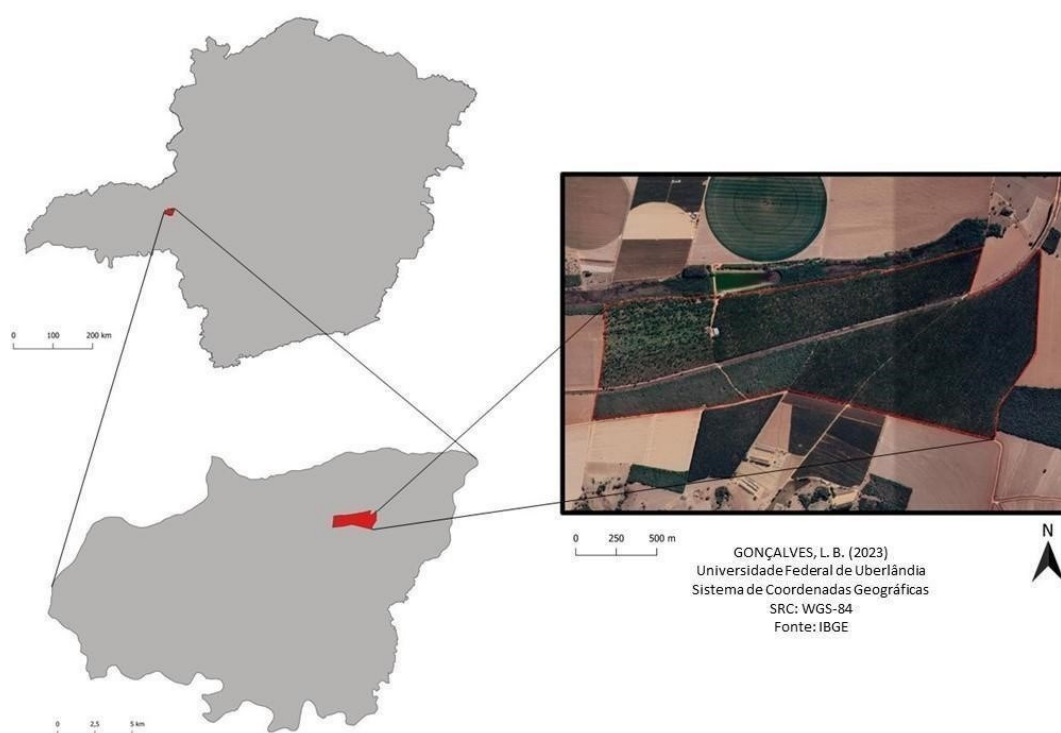


Figura 2: Local de coleta das amostras. Fonte: Letícia Benette

4.2 Coleta e Classificação dos Corpos de Prova

A obtenção dos corpos de prova foi realizada a partir da seleção de seis árvores matrizes da espécie *Khaya ivorensis*, com 14 anos de idade, localizadas em uma área de plantio manejado. As árvores foram escolhidas com base em critérios fitossanitários distintos: três apresentavam sintomas visíveis da doença cancro e três estavam visualmente saudáveis, sem sinais aparentes da patologia.

A classificação foi realizada por meio de inspeção visual em campo, considerando a presença ou ausência de lesões características no tronco, não sendo realizados testes laboratoriais para confirmação de infecção latente nas árvores assintomáticas.

Essa diferenciação permitiu compor dois tratamentos experimentais para análise comparativa da possível influência da doença nas propriedades físicas e mecânicas da madeira. Após o abate, as toras foram encaminhadas para processamento em uma serraria.

O desdobro inicial foi realizado com o uso de uma serra de fita horizontal. As costaneiras, correspondentes às primeiras tábuas periféricas, foram descartadas com o objetivo de facilitar a retirada dos corpos de prova. Em seguida, foi selecionada a primeira tábua de cerne de cada árvore, representativa da madeira juvenil ou de transição, própria da idade das árvores analisadas. Essa escolha permitiu a padronização das amostras para os dois tratamentos, assegurando condições comparáveis para a avaliação das propriedades da madeira.

Os corpos de prova foram confeccionados a partir dessas tábuas, respeitando a orientação anatômica da madeira, conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 71903:2022, que orienta a preparação de amostras para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira. As dimensões e o preparo das amostras seguiram as especificações recomendadas pela referida norma para ensaios com madeira.

- **Radial (R):** perpendicular aos anéis de crescimento e passando pelo centro da seção transversal;
- **Tangencial (T):** paralelo à tangente dos anéis de crescimento;
- **Longitudinal (L):** paralelo ao eixo das fibras.

Para fins de organização experimental, os corpos de prova foram classificados em seis grupos, designados pelas letras A a F, de acordo com a árvore de origem, sendo cinco corpos de prova em cada grupo, totalizando 30 corpos de prova. Posteriormente, esses grupos foram organizados em dois tratamentos principais:

- **Tratamento 1 – Madeira com cancro:** amostras provenientes das árvores com sintomas da doença (Grupos A, B e C), totalizando 15 corpos de prova
- **Tratamento 2 – Madeira sem cancro:** amostras provenientes das árvores sadias (Grupos D, E e F), totalizando 15 corpos de prova.

Cada corpo de prova foi devidamente identificado, medido e acondicionado em ambiente com controle de temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 65 ± 5 %, permanecendo nessas condições até a realização dos ensaios laboratoriais. A classificação das amostras conforme os planos anatômicos permitiram a investigação da estabilidade dimensional e do comportamento da madeira frente a variações higroscópicas, possibilitando análises específicas das deformações nos planos radial, tangencial e longitudinal, tanto nas condições naturais quanto após os tratamentos de saturação e secagem.



Figura 3: Classificação dos tratamentos. Fonte: Letícia Benette



Figura 4: Identificação dos tratamentos. Fonte: Letícia Benette

4.3 Determinação das Propriedades da Madeira

A caracterização física e mecânica da madeira de *Khaya ivorensis* foi realizada conforme os procedimentos normativos estabelecidos pela ABNT NBR 7190-3:2022, que orienta a determinação de propriedades para aplicações estruturais e tecnológicas. As análises abrangeram aspectos de higroscopicidade, densidade, estabilidade dimensional e resistência mecânica à flexão, com o objetivo de avaliar os efeitos da presença da doença cancro sobre o desempenho da madeira.

4.3.1 Avaliação Dimensional nos Planos Anatômicos

Inicialmente, os corpos de prova foram medidos com paquímetro digital de aço inoxidável com capacidade de 150 mm e certificado de calibração rastreável à Rede Brasileira de Calibração (RBC), registrando-se as dimensões nas três direções principais da madeira:

- **Direção radial (R)** – perpendicular aos anéis de crescimento;
- **Direção tangencial (T)** – tangente aos anéis de crescimento;
- **Direção longitudinal (L ou axial)** – paralela às fibras.

Essas medições permitiram o cálculo das deformações específicas em cada direção (ϵ_r , ϵ_t e ϵ_l) e da variação volumétrica relativa (Δv), parâmetros essenciais para avaliar a estabilidade dimensional da madeira frente à variação de umidade.



Figura 5: Corpos de prova sendo dimensionadas com o paquímetro digital. Fonte: Letícia Benette

4.3.2 Propriedades Analisadas

As propriedades físicas e mecânicas analisadas em cada corpo de prova foram selecionadas com o objetivo de caracterizar o desempenho da madeira sob diferentes condições, considerando a presença ou ausência de cancro. As variáveis determinadas foram:

- I. **Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH, %):** corresponde à umidade na qual a madeira entra em equilíbrio com a umidade relativa do ambiente. Esse parâmetro, fortemente influenciado pelas condições atmosféricas, afeta diretamente as propriedades físicas e a estabilidade dimensional do material.
- II. **Densidade Básica (g/cm^3):** definida como a razão entre a massa seca e o volume saturado da madeira. Trata-se de um parâmetro essencial na caracterização tecnológica, pois influencia diretamente a resistência mecânica, o desempenho estrutural e a durabilidade da madeira.
- III. **Deformações Relativas (adimensionais):** representam as variações dimensionais da madeira entre os estados saturado e seco, medidas nas direções longitudinal (ϵ_{axial}), radial (ϵ_{radial}) e tangencial ($\epsilon_{\text{tangencial}}$). São expressas como a razão entre a variação de comprimento e o comprimento inicial, indicando a anisotropia e a estabilidade dimensional do material frente à perda de umidade.
- IV. **Variação Volumétrica Relativa (Δv):** indica a alteração no volume da madeira decorrente da secagem, calculada entre os estados saturado e seco. Reflete o comportamento higroscópico global da amostra e sua tendência à contração volumétrica.
- V. **Tensão Máxima na Flexão Estática (MPa):** expressa a resistência da madeira ao esforço de flexão, obtida por meio de ensaio mecânico normatizado. Este parâmetro é fundamental para aplicações estruturais e permite avaliar a integridade mecânica do material em diferentes condições.

Os valores dessas propriedades foram obtidos experimentalmente e posteriormente organizados em planilhas para análise estatística, possibilitando a comparação do desempenho físico-mecânico entre os tratamentos avaliados.

4.3.3 Determinação da Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH)

A determinação da Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH) foi realizada em ambiente controlado, conforme os procedimentos descritos na ASTM D143, onde os corpos de prova foram mantidos a 20 ± 2 °C de temperatura e 65 ± 5 % de umidade relativa do ar, até atingirem massa constante, condição que caracteriza o equilíbrio higroscópico da madeira com o ambiente.

Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 100 ± 2 °C até atingirem massa constante, considerada a massa anidra da madeira.

A UEH foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$UEH (\%) = \frac{m_{eq} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100$$

Onde:

- M_{eq} = massa da amostra em equilíbrio higroscópico (g);
- M_o = massa anidra da amostra (g).

4.3.4 Densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 11941:2002 – Determinação da densidade básica da madeira, utilizando o método da balança hidrostática. O procedimento compreendeu as seguintes etapas:

1. **Saturação:** os trinta corpos de prova foram imersos em água (potável ou destilada) sob vácuo até a completa saturação dos vazios celulares, garantindo a máxima absorção de água.

2. **Determinação do volume saturado:** o volume saturado foi obtido pelo método de deslocamento de água, baseado no princípio de Arquimedes, utilizando balança hidrostática conforme especificado pela norma.
3. **Secagem e obtenção da massa seca:** as amostras foram secas em estufa a 100 ± 2 °C por um período de 24 horas. Após resfriamento em dessecador, registrou-se a massa seca das amostras.

A densidade básica (ρ_{b_b}) foi calculada pela relação:

$$\rho_b = \frac{m_o}{V_s}$$

Onde:

- m_o = massa seca (g)
- V_s = volume saturado (cm³).



Figura 6: Corpos de prova em saturação por 30 dias em câmara de vácuo. Fonte: Letícia Benette



Figura 7: Determinação do volume dos corpos de prova através do deslocamento da água na balança hidrostática, conforme NBR 11941:2003. Fonte: Letícia Benette

4.3.5 Secagem Final, Resfriamento e Medição Dimensional

Após o processo de secagem em estufa, os corpos de prova foram resfriados em dessecador hermético, com o objetivo de evitar a reabsorção de umidade pela madeira. Na sequência, foram realizadas novas medições dimensionais nas direções longitudinal, radial e tangencial. Essa etapa foi essencial para quantificar as alterações físicas resultantes da perda de umidade, permitindo a determinação das deformações específicas e da variação volumétrica relativa entre os estados saturado e seco.



Figura 8: Secagem dos corpos de prova em estufa a 100 ± 2 °C por 24 horas. Fonte: Letícia Benette



Figura 9: Resfriamento dos corpos de prova em dessecador hermético. Fonte: Letícia Benette

4.4 Ensaio de Flexão Estática

O ensaio de flexão estática teve como objetivo determinar a resistência mecânica da madeira quando submetida a esforços de flexão, considerando os efeitos da presença do cancro em comparação à madeira sadia. Para isso, foram utilizados 20 corpos de prova, distribuídos equitativamente entre dois tratamentos experimentais:

- **Tratamento 1 (sem cancro):** 10 amostras provenientes dos grupos A, B e C;
- **Tratamento 2 (com cancro):** 10 amostras provenientes dos grupos D, E e F.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios **Instron**, equipada com dispositivo para ensaio de flexão em três pontos, conforme especificado na ABNT NBR 7190-3:2022, que regulamenta os procedimentos para determinação das propriedades mecânicas da madeira.

Cada corpo de prova foi posicionado sobre dois apoios com vão livre de aproximadamente 300 mm. A carga vertical foi aplicada de forma centralizada, utilizando atuador com velocidade de deslocamento constante de 10 mm/min, valor usualmente adotado em ensaios com madeira maciça.

A aplicação da carga foi mantida até a ruptura completa do corpo de prova. Durante o ensaio, os dados de força e deslocamento foram registrados em tempo real por meio do software Bluehill®, integrado ao sistema da máquina.

A tensão máxima de flexão ($\sigma_{\text{máx}}$) foi calculada com base na carga máxima suportada e nas dimensões geométricas dos corpos de prova, conforme a equação normativa. Esses resultados serviram de base para a análise estatística, permitindo a comparação do desempenho mecânico entre os dois tratamentos avaliados.



Figura 10: Execução dos ensaios de flexão dos corpos de prova. Fonte: Letícia Benette



Figura 11: Ruptura dos corpos de prova. Fonte: Letícia Benette

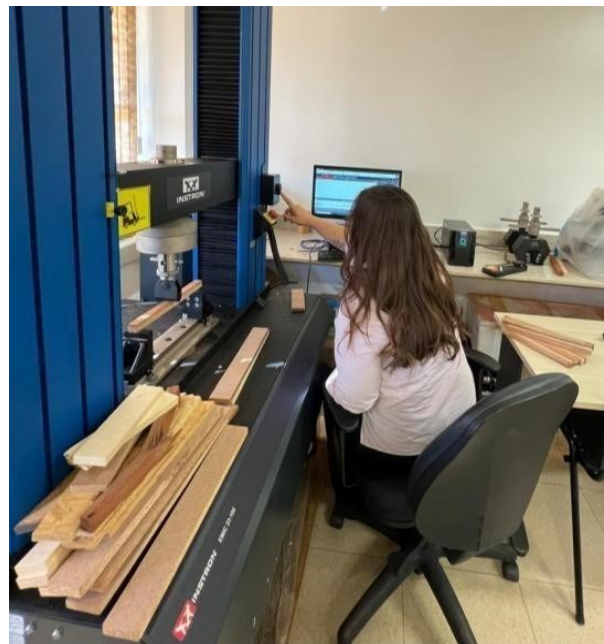


Figura 12: Execução os ensaios de flexão no equipamento Instron.

Fonte: Letícia Benette

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos permitiram avaliar a influência da doença cancro sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Khaya ivorensis*. Inicialmente, procedeu-se à verificação da normalidade das variáveis por meio do teste de Shapiro-Wilk, a fim de definir os procedimentos estatísticos adequados para cada propriedade analisada. As variáveis que apresentaram distribuição normal: Densidade, Deformação Radial, Variação Volumétrica e Flexão, foram avaliadas pelo teste t de Student. Para as variáveis que não atenderam ao pressuposto de normalidade: Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH), Deformação Axial e

Deformação Tangencial, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados obtidos evidenciam os efeitos da presença da doença sobre o comportamento físico e mecânico da madeira, permitindo identificar quais propriedades apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados. Essas informações são fundamentais para compreender de que forma o cancro pode comprometer o desempenho estrutural da madeira e sua aplicabilidade.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos testes estatísticos aplicados, incluindo o tipo de teste utilizado, os valores de p e a indicação de significância para cada variável analisada.

Tabela 1 – Testes estatísticos, p-valores e significância para as variáveis físicas e mecânicas avaliadas na madeira de *Khaya ivorensis*

Variável	Teste	P-valor	Significância
UEH (%)	Mann-Whitney U	0,561447	Não significativo
Dens (g/cm^3)	t-test	0,000003	Significativo
ϵ_r Axial	Mann-Whitney U	0,890085	Não significativo
ϵ_r Rad	t-test	0,000000	Significativo
ϵ_r Tag	Mann-Whitney U	0,016140	Significativo
Δv	t-test	0,000070	Significativo
Tensão Max da flexão	t-test	0,120412	Não significativo

A Tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos para as características físicas e mecânicas da madeira de mogno-africano, com e sem a presença de cancro.

Tabela 2 – Propriedades física e mecânica da madeira de *K. ivorensis* com e sem cancro

Propriedade	Sem cancro	Com cancro
Umidade de Equilíbrio Higroscópico (%)	11,64 a*	11,92 a
Densidade (g/cm ³)	0,411 a**	0,504 b
Retração tangencial (%)	5,72 a	6,27 b
Retração radial (%)	2,77 a	4,52 b
Retração axial (%)	0,45 a	0,53 a
Variação Volumétrica (%)	8,71 a	10,87 b
Flexão estática (MPa)	5,91 a	4,42 a

* Letras iguais em uma mesma linha não tem diferença estatística,

**Letras diferentes em uma mesma linha possuem diferença estatística.

A ausência de diferença significativa na umidade de equilíbrio higroscópico indica que o cancro não alterou de maneira relevante a capacidade da madeira de *Khaya ivorensis* em adsorver água, sugerindo que os sítios higroscópicos permaneceram funcionalmente preservados. Esse resultado é coerente com o modo de ação de *Lasiodiplodia theobromae*, que atua predominantemente sobre o câmbio e os tecidos vasculares, diferindo de fungos de podridão que degradam celulose e hemiceluloses e, conseqüentemente, modificam a higroscopicidade da madeira.

Por outro lado, a densidade foi significativamente afetada, apresentando valores mais elevados nas amostras provenientes de árvores com cancro. A densidade básica mostrou diferença estatística entre os tratamentos, com aumento de 0,411 g/cm³ para 0,504 g/cm³ na madeira afetada. Esse comportamento também foi observado em *Khaya grandifoliola*, em que a presença do cancro elevou a densidade de 0,44 g/cm³ para 0,54 g/cm³ (Webber et al., 2021).

Segundo esses autores, o cancro provocado por *L. theobromae* promove alterações anatômicas expressivas, como maior espessura de parede das fibras, redução na frequência e no diâmetro dos vasos e modificações no lúmen, evidenciando o impacto direto do patógeno sobre o câmbio e a formação dos tecidos condutores. Essas mudanças estruturais explicam o aumento da densidade observado.

As deformações apresentaram valores significativamente maiores na madeira proveniente de árvores com cancro, evidenciando redução da estabilidade dimensional. A retração tangencial aumentou de 5,72% para 6,27%, enquanto a retração radial passou de 2,77% para 4,52%. Da mesma forma, a variação volumétrica foi superior nas amostras afetadas, atingindo 10,87%, o que confirma a maior suscetibilidade da madeira às deformações durante os processos de secagem e utilização.

Essas alterações podem comprometer o desempenho da madeira em aplicações que exigem elevada estabilidade dimensional e precisão, como na fabricação de móveis e componentes estruturais.

Em contraste, a retração axial não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, mantendo valores baixos e semelhantes (0,45% e 0,53%). A resistência à flexão estática também não diferiu estatisticamente, com valores de 5,91 MPa para madeira sadia e 4,42 MPa para madeira com cancro, indicando que o patógeno não comprometeu a integridade mecânica da madeira nesse tipo de esforço.

De modo geral, os resultados demonstram que o cancro promove alterações estruturais na madeira de *Khaya ivorensis*, refletindo principalmente no aumento da densidade e na redução da estabilidade dimensional. Em contrapartida, a umidade de equilíbrio higroscópico e a resistência à flexão estática não foram significativamente influenciadas pela doença.

Dessa forma, a madeira proveniente de árvores com cancro apresenta potencial de utilização em aplicações nas quais a estabilidade dimensional não seja um requisito crítico, desde que sejam adotadas práticas adequadas de secagem e processamento para minimizar possíveis deformações.

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que o cancro em árvores de *Khaya ivorensis* influencia principalmente as propriedades físicas da madeira, promovendo aumento da densidade básica, das retrações radial e tangencial e da variação volumétrica. Essas alterações indicam modificações estruturais decorrentes da ação de *Lasiodyplodia theobromae*, capazes de reduzir a estabilidade dimensional do material.

Em contraste, a umidade de equilíbrio higroscópico, a retração axial e a resistência à flexão estática não apresentaram diferenças significativas entre a madeira sadia e a madeira com cancro. Esses resultados indicam que a doença não comprometeu a capacidade de adsorção de água nem o desempenho mecânico da madeira sob esforços de flexão.

Dessa forma, conclui-se que a presença do cancro altera seletivamente as características da madeira, afetando principalmente sua qualidade física, sem reduzir de forma significativa sua resistência mecânica. Esses resultados contribuem para ampliar o conhecimento sobre os efeitos da doença na qualidade tecnológica da madeira de mogno-africano e fornecem subsídios para seu aproveitamento industrial e para o manejo de povoamentos afetados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEDEJI, G. A.; OGUNSANWO, O. Y.; EGUAKUN, F. S.; ELUFIOYE, T. O. Chemical composition and termiticidal activity of *Khaya ivorensis* stem bark extracts on woods. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, v. 20, n. 3, p. 315–324, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005003201>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941:2003: Madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724:2011: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023:2018: Informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-3:2022: Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: determinação experimental das propriedades mecânicas e da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, G. S. L.; MOMOLLI, D. R.; GOMES, R.; DUARTE, V. B. R.; FARIA, J. C. T.; GODINHO, T. O.; DIAS, H. M.; PEREIRA, M. G.; KULMANN, M. S. S. Seasonal dynamics of carbon and nutrients in litter in *Khaya* stands in Southeastern Brazil. **Cerne**, v. 31, e3506, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760202531013506>.
- CASAROLI, D.; ROSA, F. O.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; BRITO, B. V.; PENA, D. S. Aptidão edafoclimática para o mogno-africano no Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 357–368, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831606>.
- FALESI, I. C.; BITTENCOURT, I. C. F. P. de M. Pragas e doenças da *Khaya ivorensis* A. Chev. – mogno-africano. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MOGNO AFRICANO, 1., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano, 2011.
- FERRAZ FILHO, A. C.; RIBEIRO, A.; BOUKA, G. U. D.; FRANK JÚNIOR, M.; TERRA, G. African mahogany plantation highlights in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 3, e20200081, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0081>.
- PEREIRA, T. C. A.; DEVOLIO, G. A. T.; ROQUE, C. G.; ALVAREZ, R. C. F.; CAMPOS, C. N. S.; COTRIM, M. F.; PRADO, R. M.; ANDREANI JUNIOR, R.; VAZQUEZ, G. H.; SANCHES, A. C. Cattle manure and biological fertilizer enhance growth and nutrient accumulation in African mahogany seedlings (*Khaya ivorensis*). **Frontiers in Soil Science**, v. 6, art. 1717364, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2026.1717364>.
- REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2019.
- SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C.; BATISTA, D. C.; SORANSO, D. R.; BILLO, D. F. Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 181–190, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n109.18>.
- SOUZA, N. B.; BELAN, L. L.; VAZ, M. M.; FIGUEIREDO, F. S. Dinâmica temporal de cancro do córtex em plantio de mogno africano e relação com variáveis meteorológicas. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 6, e18588, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/revconv.18n.6-103>.
- TREMACOLDI, C. R.; LUNZ, A. M.; COELHO, I. L.; BOARI, A. J. Cancro em mogno-africano no estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 221–225, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.74.415>.
- WEBBER, T. V.; MARTINS, T. V.; CÂNDIDA, D. V.; REIS, C. A. F.; CUNHA, M. G.; SETTE JUNIOR, 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.