



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA FLORESTAL

JOÃO PEDRO PIRES FEITOSA

**MORFOMETRIA DE FIBRAS DA MADEIRA DE *Khaya grandifoliola* C. DC.
CULTIVADA NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

Imperatriz – MA

2024

JOÃO PEDRO PIRES FEITOSA

**MORFOMETRIA DE FIBRAS DA MADEIRA DE *Khaya grandifoliola* C. DC.
CULTIVADA NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Imperatriz – MA

2024

F311m

Feitosa, João Pedro Pires

Morfometria de fibras da madeira de *khaya grandifoliola* C. DC. cultivada na Região Tocantina do Maranhão. / João Pedro Pires Feitosa. – Imperatriz, MA, 2024.

32 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. *Khaya grandifoliola* C. DC. – Anatomia da madeira.
2. Estrutura anatômica.
3. Fibras da madeira – desbaste.
4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 630*81

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**


JOÃO PEDRO PIRES FEITOSA

**MORFOMETRIA DE FIBRAS DA MADEIRA DE *Khaya grandifoliola* C. DC.
CULTIVADA NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Micheal Douglas Roque Lima

Aprovado em: 07/03/2024


Documento assinado digitalmente
 MICHAEL DOUGLAS ROQUE LIMA
Data: 19/03/2024 10:37:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Michael Douglas Roque Lima

Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira - UFLA

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL


(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 JOABEL RAABE
Data: 19/03/2024 11:07:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Joabel Raabe

Doutor em Ciências Florestais - UNB

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL (Membro 1)

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO COSTA DE OLIVEIRA
Data: 19/03/2024 16:49:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gustavo Costa de Oliveira

Mestre em Agricultura e Ambiente - UEMA

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL (Membro 2)

AGRADECIMENTOS

Neste momento de celebração, minha principal mensagem de agradecimento é dirigida ao meu bondoso Deus, que em sua infinita graça, permitiu-me alcançar este sonho, iluminando minha mente e fortalecendo meu coração. Pois colocou em meu coração que o maior triunfo é transformar sonhos em realidade, mesmo que o caminho seja pontuado por dúvidas e desafios.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, embora com tantos motivos para não prosseguir, em meio pandemia e greves, nunca me abandonaram.

Aos meus queridos amigos acadêmicos, quero agradecer pelo apoio, força e assistência inabalável.

Agradecimentos à UEMASUL que me acolheu, embora tantos desafios, me transformou, não apenas em um profissional qualificado, mas em uma pessoa mais fundamentada, reconhecida e completa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Em especial e com muita admiração e enorme respeito que venho mostrar toda minha gratidão ao professor/orientador Dr. Michael Douglas Roque Lima, que dia após dia mostra sua dedicação em todas suas atividades, sendo tão essencial na minha carreira acadêmica.

Meus agradecimentos a Jacuba Serviços Florestais, que proporcionou assistência e disponibilidade para a realização de todo o estudo através de sua área.

Também gostaria de agradecer ao Laboratório da Anatomia e Tecnologia da Madeira e ao Laboratório de Microbiologia, pelas suas contribuições para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Durante o processo de pesquisa, proporcionaram um ambiente harmônico e ofereceram os recursos necessários para o armazenamento e análises dos experimentos, desempenhando um papel fundamental no sucesso deste projeto. Agradeço aos professores coordenadores dos laboratórios Dr. Joabel Raabe e a professora Dr. Monalisa Sousa Moura Couto, cuja competência, paciência e disponibilidade foram essenciais para o bom andamento das atividades desenvolvidas.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar a morfologia das fibras da madeira de *Khaya grandifoliola* aos quatro anos de idade cultivada na Região Tocantina do Maranhão. Os métodos de amostragem das árvores considerou amostras de 12 árvores desbastadas, sendo 6 para cada classe diamétrica (0 – 10 e 10 – 20 cm) previamente estabelecidas após o censo florestal e três posições longitudinais de amostragem (0, 50 e 100% da altura comercial). As seguintes dimensões das fibras foram mensuradas: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede. As fibras encontradas para *Khaya grandifoliola* são libriformes e consideradas longas. As árvores apresentaram maior comprimento de fibra na posição de amostragem 100%, ou seja, no topo da árvore, se comparada a posição 0 e 50%. A média da largura total das fibras na classe 1 foi de 22,95 μm e na classe 2, foi de 20,19 μm . O valor médio do diâmetro do lúmen das fibras foi de 16,05 μm , sendo os limites por classe 1 e 2, respectivamente, de 17,79 μm e 14,30 μm . A espessura da parede variou entre 0,40 e 19,63 μm , com média de 5,53 μm . O comprimento da fibra apresentou influência significativa da interação classe diamétrica e posição de amostragem, enquanto a largura da fibra e diâmetro do lúmen apenas da classe diamétrica. A espessura da parede não apresentou influência dos fatores estudados.

Palavras-chave: Anatomia da madeira. Estrutura anatômica. Fibras de madeira. Desbaste

ABSTRACT

The objective of the present study was to study the morphology of the fibers of four-year-old *Khaya grandifoliola* wood cultivated in the Tocantina region of Maranhão. The tree sampling methods considered samples from 12 thinned trees, 6 for each diameter class (0 – 10 and 10 – 20 cm) previously established after the forest census and three longitudinal sampling positions (0, 50, and 100% of the height commercial). The following dimensions of the fibers were measured: length, width, lumen diameter, and wall thickness. The fibers found for *K. grandifoliola* are libriform and considered long. The trees showed greater fiber length in the 100% sampling position, that is, at the top of the tree, compared to positions 0 and 50%. The average total fiber width in class 1 was 22.95 μm and in class 2 it was 20.19 μm . The average value of the fiber lumen diameter was 16.05 μm , with the limits for class 1 and 2, respectively, being 17.79 μm and 14.30 μm . Wall thickness varied between 0.40 and 19.63 μm , with an average of 5.53 μm . Fiber length showed a significant influence from the interaction of diameter class and sampling position, while fiber width and lumen diameter only from diameter class. Wall thickness did not influence the factors studied.

Keywords: Anatomy of wood. Anatomical structure. Wood fibers. Thinning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Coloração do cerne e alburno da madeira de <i>Khaya grandifoliola</i> cultivada na região Tocantina do Maranhão.	11
Figura 2 - Localização da Fazenda Jacuba, município de Porto Franco – MA.....	15
Figura 3 - Esquema do local de retirada dos discos e corpos de prova para a avaliação das propriedades anatômicas da madeira da espécie <i>Khaya grandifoliola</i>	17
Figura 4 - Obtenção de cunhas da madeira da espécie <i>Khaya grandifoliola</i>	17
Figura 5 – Discos obtidos nas três posições longitudinais da espécie <i>Khaya grandifoliola</i>	18
Figura 6 – Imagens que representam o processo de maceração de amostras de madeira da espécie <i>Khaya grandifoliola</i> . A) Início do processo de maceração; B) Material macerado após a retirada da estufa; e C) Filtragem do macerado com papel filtro, lavado com água destilada... 18	
Figura 7 - Lâminas temporárias para observação das fibras e vasos da espécie <i>Khaya grandifoliola</i>	19
Figura 8 – Mensuração da largura da fibra da madeira de <i>K. grandifoliola</i> aos 4 anos de idade cultivada na região Tocantina do Maranhão.....	20
Figura 9 – Imagem da fibra libriforme da espécie <i>Khaya grandifoliola</i> obtida em microscópio óptico 10x.....	21
Figura 10 - Efeito de classe e posição de amostragem no comprimento de fibra da madeira jovem de <i>K. grandifoliola</i>	22
Figura 11 - Efeito da classe diamétrica na largura das fibras da madeira jovem de <i>K. grandifoliola</i> . As letras minúsculas indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott. As barras de erro indicam o desvio padrão.	23
Figura 12 - Efeito da classe diamétrica no diâmetro das fibras da madeira jovem de <i>K. grandifoliola</i> . As letras minúsculas indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott. As barras de erro indicam o desvio padrão.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dendrométricos das árvores de <i>K. grandifoliola</i> aos 4 anos de idade, cultivadas na região Tocantina do Maranhão.	16
Tabela 2 – Dados de densidade básica da madeira de de <i>K. grandifoliola</i> aos 4 anos de idade, cultivadas na região Tocantina do Maranhão.	16
Tabela 3 - Tabela resumo da análise de variância para os parâmetros anatômicos.	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 Características dendrológicas da <i>Khaya grandifoliola</i>	11
3.2 Crescimento da <i>Khaya grandifoliola</i>	11
3.3 Características anatômicas na qualificação de madeiras	13
3.4 Importância da madeira de <i>Khaya grandifoliola</i>	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Origem do material biológico	14
4.2 Informações dendrométricas e densidade básica de <i>K. grandifoliola</i>	15
4.3 Coleta de amostras	16
4.4 Características anatômicas da madeira: morfologia e dimensões das fibras	17
4.5 Produção do macerado das fibras	18
4.6 Mensuração do tamanho das fibras	19
4.7 Análise estatística dos dados	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

A área de árvores plantadas chegou a 9,94 milhões de hectares em 2022, uma leve alta de 0,3% na comparação com o ano anterior. Nesse contexto, o eucalipto segue na liderança, ocupando 76% da área no Brasil, um total de 7,6 milhões de hectares; na sequência está o pinus, com 19% e 1,9 milhão de hectares. (RELATÓRIO, 2023).

A atividade florestal e a cadeia produtiva a ela associada se caracterizam por uma diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades e segmentos que incluem desde a produção até a transformação da madeira *in natura* em celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, madeira serrada, carvão vegetal e móveis, além de produtos não madeireiros (OLIVEIRA et al., 2017).

Nessas perspectivas, os reflorestamentos com espécies exóticas e nativas configuram importante alternativa em relação à intensa pressão sobre os recursos madeireiros e não madeireiros das florestas naturais no Brasil. Nesse sentido, a ampliação das áreas plantadas com espécies de ampla plasticidade fenotípica, como o mogno-africano (*Khaya* sp.), no cenário dos plantios comerciais é crucial, especialmente no cenário incerto de mudanças climáticas e questões geopolíticas, que podem afetar negativamente a produção florestal de espécies tradicionalmente utilizadas, como o eucalipto (FLORÊNCIO et al., 2022).

O gênero *Khaya* apresenta 4 espécies, pertence à família botânica Meliaceae e possui ocorrência natural nos países Costa do Marfim, Gana, Togo, Benim, Nigéria e Camarões, sendo suas espécies denominadas popularmente como mogno africano (KLEIN et al., 2016).

A *K. grandifoliola* é uma espécie tropical que vêm se destacando no mercado nacional e internacional, devido aos múltiplos usos da madeira, excelente adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, crescimento rápido, produção de madeira, fácil manejo e valor econômico atrativo no comércio. No entanto, aspectos silviculturais e tecnológicos ainda precisam ser estudados, como a finalidade e a qualidade da madeira proveniente do desbaste cultivado na Região Tocantina do Maranhão.

A melhor solução para utilização dos produtos madeireiros e não madeireiros provenientes dos plantios florestais da espécie *K. grandifoliola*, precisa estar baseada em estudos científicos. A finalidade da aplicabilidade da espécie, conecta sua caracterização, implicações e usos, observando-se fatores econômicos em relação às perspectivas de mercado, crescimento e produção. A madeira com devidos tratamentos silviculturais e, principalmente, a caracterização das propriedades tecnológicas, são bases para os plantios comerciais, visando estratégias importantes para avanços ambientais e redução do

desmatamento em áreas de florestas naturais no Brasil.

Dessa forma, a anatomia da madeira é a ciência responsável por estudar a diversidade de células que compõem o lenho, sua organização, funções que realizam e as peculiaridades que podem apresentar (BURGER; RITCHER, 1991). A importância do estudo do lenho consiste em ser uma ferramenta essencial para a investigação anatômica, pois é a única forma de conhecer verdadeiramente a madeira e destiná-la ao seu emprego correto (BOTOSSO, 2011).

A madeira de *K. grandifoliola* se tornou produto amplamente utilizado em movelarias, construções navais e peças ornamentais, associado a um aumento significativo do preço do metro cúbico de madeira de angiospermas. A madeira tropical serrada tem um preço médio acima de R\$ 2497,00, já a *Khaya grandifoliola*, tem seu valor cotado entre R\$ 5431,10 a R\$ 6734,56 o metro cúbico (ITO, 2018). Isso pode proporcionar um retorno financeiro de cerca de R\$ 300.000,00 por hectare de madeira beneficiada. Além de apresentar potencial para plantios comerciais no Brasil, representa fonte de renda interessante para os silvicultores. Dessa forma, a compreensão da variação longitudinal e radial das estruturas anatômicas são cruciais para definir usos, o que vai influenciar diretamente nas receitas obtidas pelas madeiras.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudar a morfologia das fibras no sentido longitudinal do fuste de árvores desbastadas de *Khaya grandifoliola* aos quatro anos de idade cultivada na Região Tocantina do Maranhão.

2.2. Objetivos específicos

Testar o efeito da classe diamétrica e posição de amostragem morfologia das fibras de *K. grandifoliola*.

Apresentar, com base na anatomia, a melhor utilização para madeiras de *Khaya grandifoliola* aos 4 anos de idade proveniente de desbaste.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características dendrológicas da *Khaya grandifoliola*

A *Khaya grandifoliola* é uma espécie monóica, ou seja, possui flores dos sexos masculino e feminino. A aparência entre ambas as flores é bem similar, com coloração esbranquiçada e um suave perfume (REIS et al., 2019). A semente tem cor castanha, é achatada e estreitamente alada por toda a sua margem, facilitando a dispersão por meio do vento (REIS et al., 2019). Seu fruto é envolto por uma cápsula, dividida em cinco partes que se abrem para a dispersão da semente (SANTOS, 2019). A madeira possui a coloração do alburno de castanho claro a castanho rosado, e seu cerne, entre castanho rosado e castanho avermelhado (LEMMENS; LOUPPE; OTENG-AMOAKO, 2012; SANTOS, 2019), como evidenciado na Figura 1.

Figura 1 – Coloração do cerne e alburno da madeira de *Khaya grandifoliola* cultivada na região Tocantina do Maranhão.



Fonte: Autor, 2024.

A reprodução do mogno africano ocorre anualmente, em que a época do ano depende da região geográfica em que está inserido (RIBEIRO, 2017). A taxa de germinação de sementes frescas é de 90%; passadas duas semanas de recolhimento das mesmas, essa taxa cai consideravelmente (OPUNI-FRIMPONG, 2008; SANTOS et al., 2019).

3.2 Crescimento da *Khaya grandifoliola*

A expressão condições edafoclimáticas é o conjunto de características dos fatores de clima, relevo, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo, vento, composição atmosférica e a precipitação pluvial. As condições edafoclimáticas são relativas à influência

dos solos nos seres vivos, em particular nos organismos do reino vegetal, incluindo o uso da terra pelo homem, a fim de estimular o crescimento das plantas (VIANA, 2007).

Tais variáveis como clima, solo, umidade, nutrientes, altitude, declividade, vento, espaçamento, relação do meio, etc., todas influenciam na taxa de crescimento das árvores ou em suas formas de desenvolvimento. Por consequência, de forma direta ou indireta estes fatores afetam a massa específica da madeira em formação (MORESCHI et al., 2014).

Os espaçamentos entre plantas mais adensados produzirão caules mais retos e crescimento em altura mais rápido, enquanto espaçamentos mais amplos produzirão diâmetros de caules maiores. Uma técnica que pode ser adotada é usar espaçamentos menores nos estágios iniciais, a fim de promover o crescimento em altura e, em seguida, realizar desbaste para promover maior diâmetro do caule (MORAES et al., 2019).

Essa prática silvicultural é importante visando melhorar o crescimento ou incremento do plantio, bem como para o produtor, que poderá comercializar a madeira e, conseqüentemente, obter receitas prévias. Por outro lado, é essencial conhecer a qualidade das madeiras desbastadas, pois normalmente, são madeiras jovens. A poda é uma parte essencial da manutenção e crescimento do plantio de mogno. Ela envolve a remoção de ramos, aumenta a altura do tronco limpo e reduz a susceptibilidade das árvores ao ataque de pragas. A remoção de múltiplos ramos ou brotos aumenta o crescimento do caule principal e da copa da árvore (MORAES et al., 2019).

Seções de madeira removidas da poda podem ser usadas para produção de lenha ou carvão vegetal, o que fornece receita adicional para o agricultor. A poda minimiza a frequência de difusão de incêndios florestais que se propagam por meio da copa das árvores, minimizando danos à plantação (OPUNI-FRIMPONG et al., 2016).

Os valores médios de incremento médio anual (IMA) dos plantios brasileiros são de 3,1 cm/ano para diâmetro e 2,4 m/ano para altura total 6,8 anos (FERRAZ; FONSECA; RIBEIRO et al., 2023). Estudos dendrométricos para definir o IMA para madeiras de *K. grandifoliola* são necessários, especialmente visando definir melhor momento da colheita.

3.3 Características anatômicas na qualificação de madeiras

As fibras são consideradas células mortas na maturidade, longas, paredes secundárias espessas e lignificadas (MORESCHI et al., 2014).

O conjunto de pontuações formadas nas paredes das fibras podem ser de dois tipos: simples ou areoladas. Existem dois tipos básicos de fibras: as fibrotraqueídes e as fibras libriformes (MORESCHI et al., 2014).

Antwi-Boasiako (2012) estudou a variação entre famílias das dimensões das fibras de seis espécies de árvores angiospermas tropicais em relação à produção de papel e polpa. Encontrou as seguintes dimensões das fibras para *Khaya ivorensis*: comprimento (1,88 mm) considerada moderadamente longa); diâmetro (27 μm); lúmen (17 μm); espessura da parede celular (4,97 μm , considerada grossa); a razão de Runkel (3,17); e o coeficiente de flexibilidade (63,1).

Contudo, é necessário caracterizar madeiras jovens provenientes de desbaste aos 4 anos na Região Nordeste do Brasil, a fim de promover o giro de capital dos silvicultores locais. É importante entender o efeito da idade e posição de amostragem nas características anatômicas das madeiras de *K. grandifoliola*, a fim de definir o melhor momento paradesbaste e colheita dos fustes comerciais, bem como se o fuste é homogêneo ou heterogêneo em relação a disposição dos elementos celulares no sentido base-topo.

3.4 Importância da madeira de *Khaya grandifoliola*

Em 2021, Ferraz Filho et al. (2021) estimaram uma área de 50 mil hectares plantados com as principais espécies do gênero (principalmente *K. grandifoliola* e *K. senegalensis*, além de *K. ivorensis* e *K. anthotheca*), concentrados na região sudeste do país. Atualmente, estima-se uma expansão de mais de 10 mil hectares, incluindo plantios na região norte, nordeste e sul do Brasil.

A *Khaya grandifoliola* é considerada uma madeira de alto potencial de produção é um de seus atrativos, assim como o grande valor comercial (MATIAS, 2019). Sua madeira tem notável resistência mecânica e estabilidade dimensional, sua estética, cor e textura facilitam o manuseio e resultam em um bom acabamento, é muito utilizada em peças de design, arquitetura de interiores, fabricação de portas e portais, na produção de lâminas, instrumentos musicais, indústria de armas e de materiais esportivos e, também, na construção naval (SILVA; VIDAURRE, 2019).

Vale ainda ressaltar, que o genero *Khaya* não supre apenas a necessidade madeireira, mas de variados produtos, como resinas, substâncias medicinais antifúngicos, anti-inflamatórios e inseticidas, usado até como preventivos da malária (CASAROLI et al., 2018).

As diferentes espécies (do gênero *Khaya*) apresentam variações nas características e propriedades da madeira. Apesar disso, a comercialização de lotes mistos é bastante valorizada no mercado internacional (LEMMENS; LOUPPE; OTENG-AMOAKO, 2012; SANTOS, 2019).

As fibras são células peculiares das angiospermas, constituindo geralmente a maior porcentagem de seu lenho (20-80%), no qual normalmente desempenham a função de sustentação (BURGER e RICHTER, 1991).

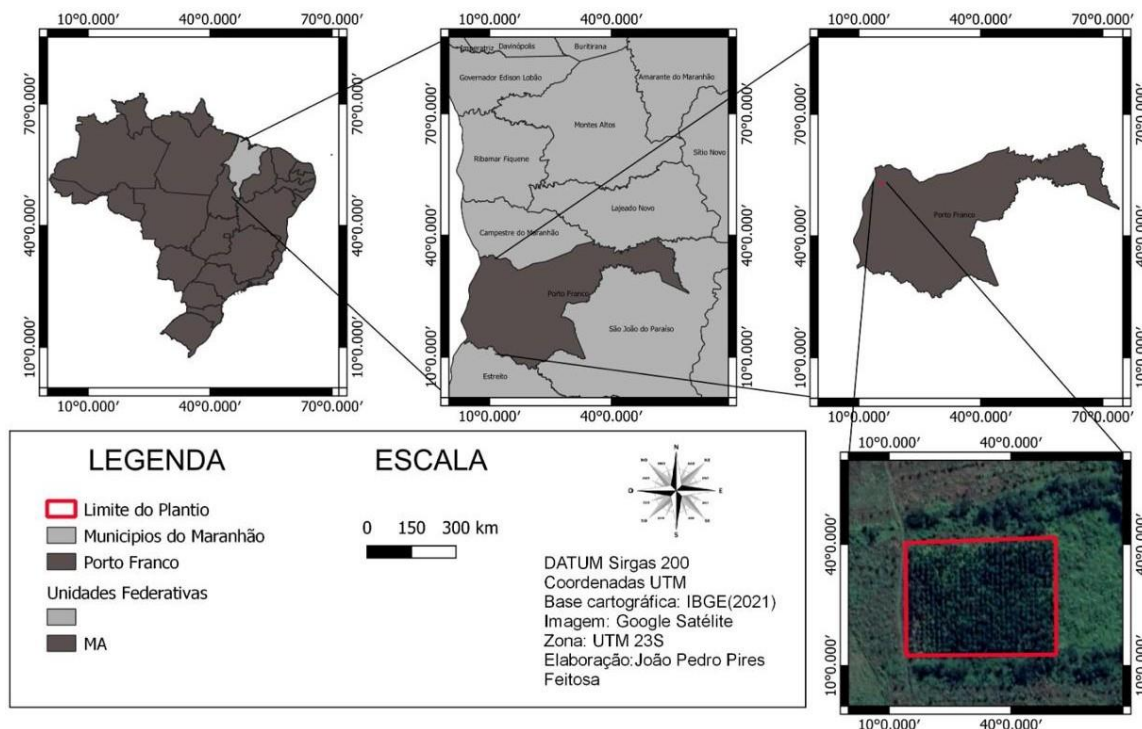
A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade básica da madeira, e as variações na espessura da parede entre e dentro das árvores são similares ao padrão de variação da densidade (MALAN, 1995).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Origem do material biológico

O material estudado foi procedente da espécie *Khaya grandifoliola*, com idade de 4 anos, proveniente de parcelas experimentais da Fazenda Jacuba, em Porto Franco, oeste do Estado do Maranhão, com coordenadas geográficas de latitude 6°17'23.78"S e longitude 47°21'54,47"O, altitude de 162 m, conforme ilustrado na (Figura 2).

Figura 2 - Localização da Fazenda Jacuba, município de Porto Franco – MA.



Fonte: Autor, 2024.

O clima da região é caracterizado como seco subúmido, encontrando-se com a pluviosidade média da região é de 1.222 mm/ano e evapotranspiração potencial anual de 1.460 mm. A temperatura média anual da região é de 25,7°C. Nos meses mais secos do ano a temperatura média do ar é de 26,7°C, caindo para 25,3°C durante o período chuvoso. Durante esse período chove em média o total acumulado de 1.110 mm, o que corresponde a 90,8% do total anual de chuvas da região (SIGITE, 1994).

O desenvolvimento do projeto foi realizado na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, localizada no município de Imperatriz – MA (coordenadas geográficas 5°31'32" S e 47°26'35" W). Foram utilizados os equipamentos e infraestrutura dos laboratórios do Centro de Ciências Agrárias (CCA), especialmente do Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira e Laboratório de Microbiologia.

4.2 Informações dendrométricas e densidade básica de *K. grandifoliola*

A Tabela 1 e 2 apresentam dados dendrométricos e de densidade básica da madeira considerando classe e posição de amostragem longitudinal, respectivamente.

Tabela 1 – Dados dendrométricos das árvores de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade, cultivadas na região Tocantina do Maranhão.

Classe Diamétrica	Ht (m)			Hc (m)			DAP (cm)		
	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo
0 F 10 cm	1,65	7,63 ± 2,02	14,69	1,1	3,71 ± 1,10	6,70	1,6	7,83 ± 1,58	9,9
10 F 20 cm	1,79	9,99 ± 2,16	14,60	2,2	5,22 ± 1,40	9,04	10	11,46 ± 1,39	17,7

Ht: Altura Total; Hc: Altura Comercial; e DAP: Diâmetro a Altura do Peito mensurado a 1,30 m da base do solo.

Fonte: Feitosa e Carneiro (2024)*. Ver nota de rodapé.

Tabela 2 – Dados de densidade básica da madeira de de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade, cultivadas na região Tocantina do Maranhão.

Classe	Posição	Densidade Básica (g cm ⁻³)
1	0%	0,504
	50%	0,412
	100%	0,393
Média	-	0,436
2	0%	0,506
	50%	0,413
	100%	0,401
Média	-	0,440

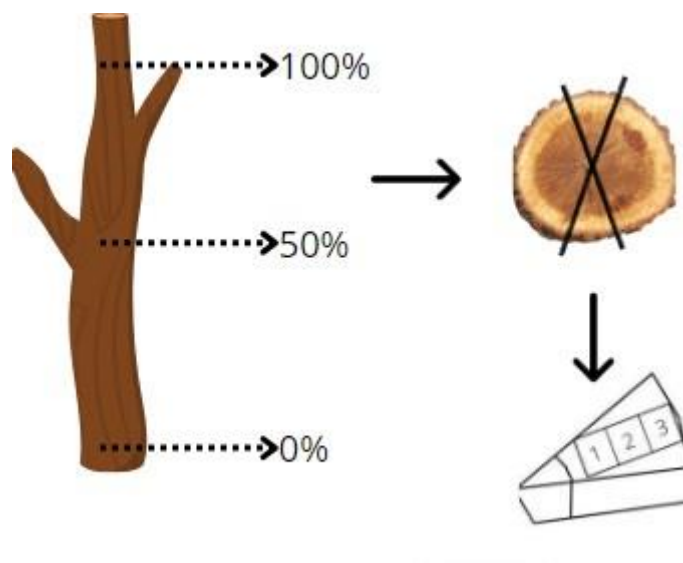
Fonte: Feitosa e Carneiro (2024)*. Ver nota de rodapé.

4.3 Coleta de amostras

A coleta das amostras considerou duas classes diamétricas (Classe 1: 0 – 10 cm; classe 2: 10 – 20 cm), previamente estabelecidas após censo florestal realizado no plantio. Para cada classe diamétrica foram selecionadas 6 árvores, totalizando 12 árvores estudadas. As árvores foram colhidas e seccionadas em 3 posições longitudinais de amostragem - 0, 50 e 100% da altura comercial (Figura 3). Nas três posições longitudinais foram retirados discos com aproximadamente 5 cm de espessura. Dos discos foram retiradas cunhas opostas, conforme demonstrado na figura 3.

*Os dados da tabela 2 foram adquiridos no mesmo local do discente Pedro Paulo Borges Carneiro e no mesmo período de coleta. Assim, serviram para ambos trabalho de conclusão de curso.

Figura 3 - Esquema do local de retirada dos discos e corpos de prova para a avaliação das propriedades anatômicas da madeira da espécie *Khaya grandifoliola*.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 4 - Obtenção de cunhas da madeira da espécie *Khaya grandifoliola*.



Fonte: Autor, 2024.

4.4 Características anatômicas da madeira: morfologia e dimensões das fibras

As cunhas opostas foram obtidas através dos discos oriundos das três posições longitudinais do tronco no sentido base – topo (Figura 5), foram demarcados e retirados corpos de prova em três posições radiais (0, 50 e 100% do comprimento do raio, na direção da medula para a casca), conforme. Isso foi realizado com a finalidade de obtenção do macerado para análise da fibras (Figura 6), retirando-se pequenos fragmentos para a preparação de material macerado, conforme estabelecido no método de Franklin (1945).

Figura 5 – Discos obtidos nas três posições longitudinais da espécie *Khaya grandifoliola*.

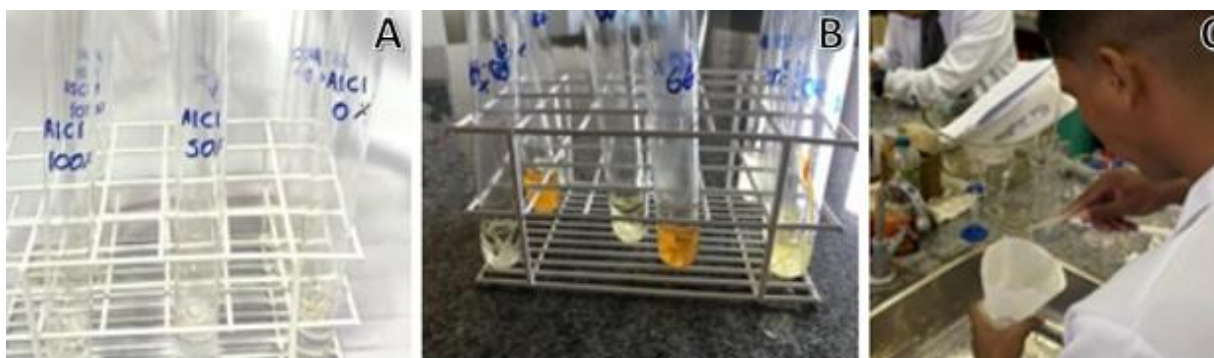


Fonte: Autor, 2024.

4.5 Produção do macerado das fibras

Para a medição das fibras, é necessário a produção do macerado da madeira, ou seja, a fragmentação das cunhas se tornando semelhante a palitos ou maravalhas. Foram utilizados os discos, sendo extraída uma amostra central, em que foram picotados em toda extensão diametral. Os produtos obtidos dos discos da base das árvores-amostra então misturados, e dessa mistura foram retirados cerca de 30, aleatoriamente, que serviram para maceração. Foram cobertos por uma solução composta de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, na proporção de 5:1 e deixados em estufa a 60 °C durante 72 horas (Figura 6).

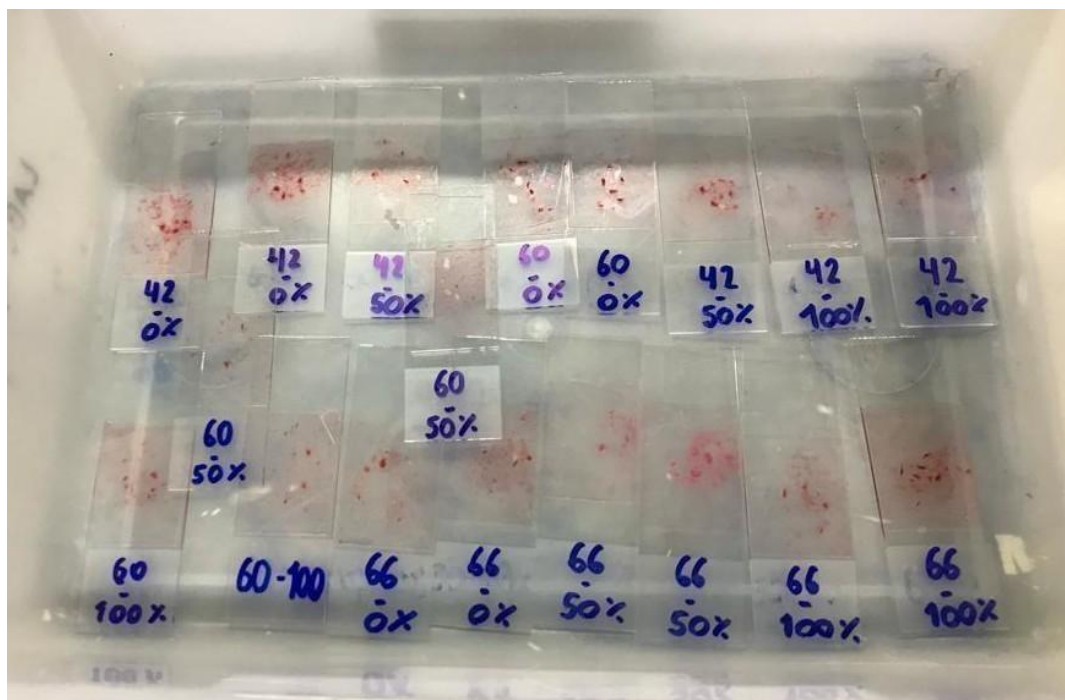
Figura 6 – Imagens que representam o processo de maceração de amostras de madeira da espécie *Khaya grandifoliola*. A) Início do processo de maceração; B) Material macerado após a retirada da estufa; e C) Filtragem do macerado com papel filtro, lavado com água destilada.



Fonte: Autor, 2024.

A partir do material macerado, foram confeccionadas lâminas temporárias (Figura 7). A partir destas lâminas, as imagens foram capturadas em um microscópio óptico com câmera acoplada nas ampliações de 4x, 10x e 40x para medição das dimensões de 25 fibras por árvore-amostra por meio da observação em um microscópio biológico provido de ocular micrométrica.

Figura 7 - Lâminas temporárias para observação das fibras e vasos da espécie *Khaya grandifoliola*.



Fonte: Autor, 2024.

4.6 Mensuração do tamanho das fibras

As imagens foram submetidas a análise no programa ImageJ, versão 1.51k, onde foi realizado a mensuração das características morfológicas das fibras (comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede). Cada característica foi mensurada atendendo às recomendações contidas nas normas da IAWA (1989). Na mensuração das fibras é utilizado o software ImageJ, através do notebook para a captura das imagens e medição (Figura 8).

Figura 8 – Mensuração da largura da fibra da madeira de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade cultivada na região Tocantina do Maranhão.



Fonte: Autor, 2024.

4.7 Análise estatística dos dados

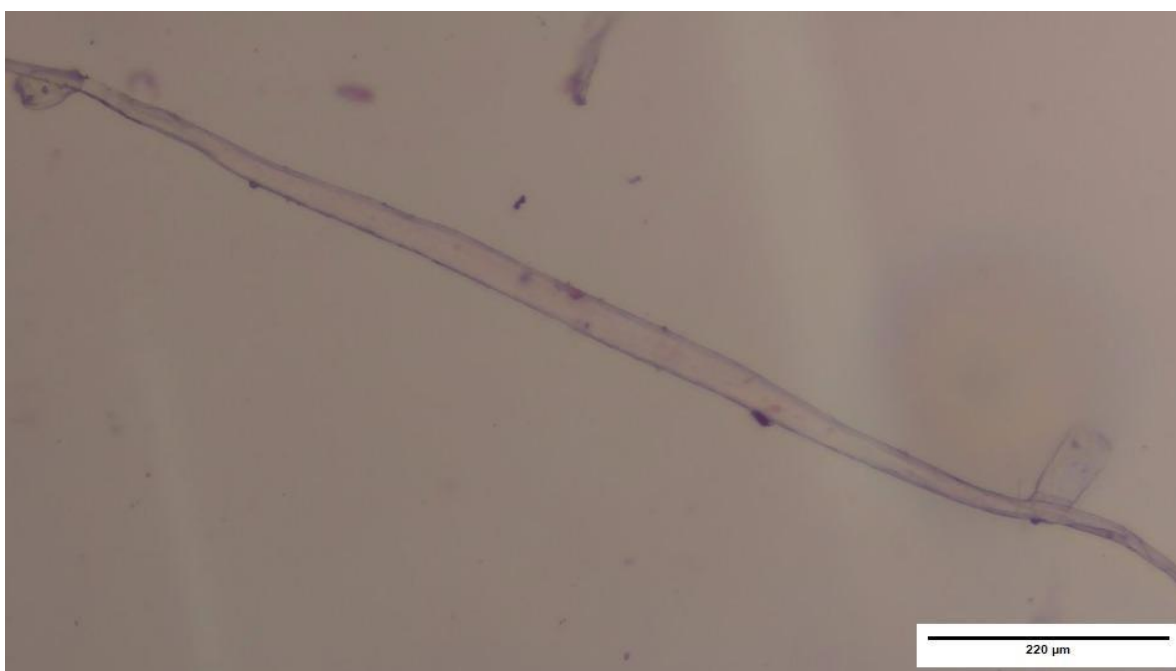
As análises foram realizadas pelo software R, versão 4.2.1, para análises estatísticas, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), disposto em parcelas subdivididas, sendo que a classe diamétrica foi o efeito da parcela e a posição longitudinal de amostragem o efeito da subparcela. Foram consideradas 6 repetições (árvores) e 3 posições longitudinais para cada uma das classes diamétricas.

A análise estatística consistiu em análise descritiva (média e desvio padrão). Tais dados foram submetidos à análise de variância para testar o efeito da posição de amostragem classe diamétrica nas características anatômicas das madeiras. Quando houve efeito da interação entre os fatores (classe diamétrica x posição de amostragem), este foi analisado. Para análise do efeito de posição longitudinal de amostragem dentro de cada classe foram ajustados modelos de regressão linear simples e quadráticos. O teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) foi utilizado para verificar a similaridade das madeiras dentro das classes diamétricas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fibras apresentaram dimensões variadas ao longo das posições e a classe abordada. Apesar disso, os valores encontrados para as dimensões das fibras estão dentro da faixa estabelecida pela literatura, variando de 750 a 1.400 μm (Comprimento da fibra); 12 a 20 μm (largura da fibra); 2,5 a 6,0 μm (diâmetro do lúmen); e 6 a 12 μm (espessura da parede) (SILVA et al., 2007). Essas variações podem ser justificadas por fenômenos fisiológicos e condições edafoclimáticas. Adicionalmente, o comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões que ocorrem no câmbio (PANSHIN & DE ZEEUW, 1980). No presente estudo, as fibras encontradas para *Khaya grandifoliola* são libriformes e consideradas longas (Figura 9). O comprimento médio das fibras foi de 1.090,19 μm , variando de 633,676 a 1.841,696 μm .

Figura 9 – Imagem da fibra libriforme da espécie *Khaya grandifoliola* obtida em microscópio óptico 10x.



Fonte: Autor, 2024.

A partir da análise de variância (Tabela 3), verificou-se que o comprimento das fibras apresentou influência significativa da interação classe diamétrica e posição de amostragem, enquanto a largura da fibra e diâmetro do lúmen apenas da classe diamétrica (Tabela 3). A espessura da parede não apresentou influência dos fatores estudados.

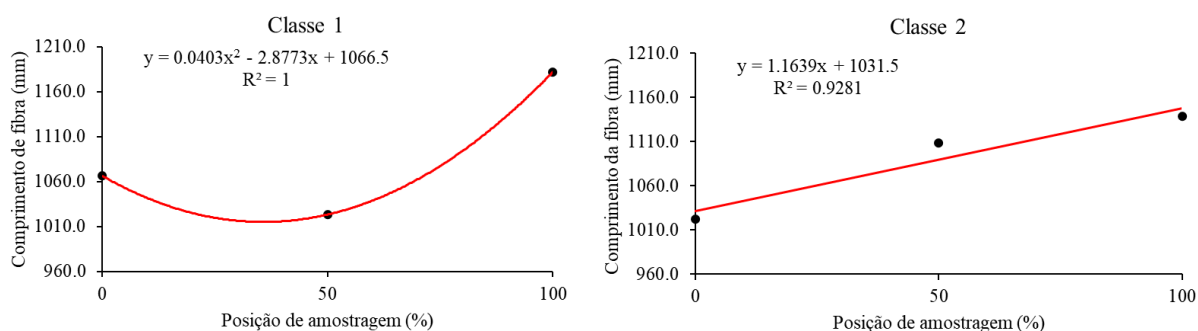
Tabela 3 - Tabela resumo da análise de variância para os parâmetros anatômicos.

Fonte de Variação	CF	LF	DL	EP
Classe	0,99	0,025*	0,019*	0,08
Erro A	62,76	70,67	96,35	10,94
Posição de amostragem	0,00	0,56	0,92912	0,58
Classe x Posição	0,003*	0,78	0,28214	0,22
Erro B	353,73	19,69	14,15	9,60
Cve (%) na parcela	72,67%	38,96%	61,17%	59,80%
Cve (%) na subparcela	17,25%	20,57%	24,24%	56,02%

Em que: Cve (%) = coeficiente de variação experimental; CF = comprimento da fibra; LF= largura da fibra; DL= diâmetro do lúmen; EL= espessura da parede. * = significativo ao nível de 5% de significância pelo Teste F.

Fonte: Autor, 2024.

Em relação ao comprimento de fibra, as classes apresentaram padrões distintos em relação a base e a posição 50%, em que o menor valor médio foi na posição 50% para a classe 1, bem como na base (0%) para a classe 2. Ambas as classes apresentaram maiores comprimentos de fibra na posição 100% (Figura 10). É perceptível que as classes apresentaram maior comprimento de fibra na posição de amostragem 100%, ou seja, no topo da árvore, se comparada a posição 0 e 50%.

Figura 10 - Efeito de classe e posição de amostragem no comprimento de fibra da madeira jovem de *K. grandifoliola*.

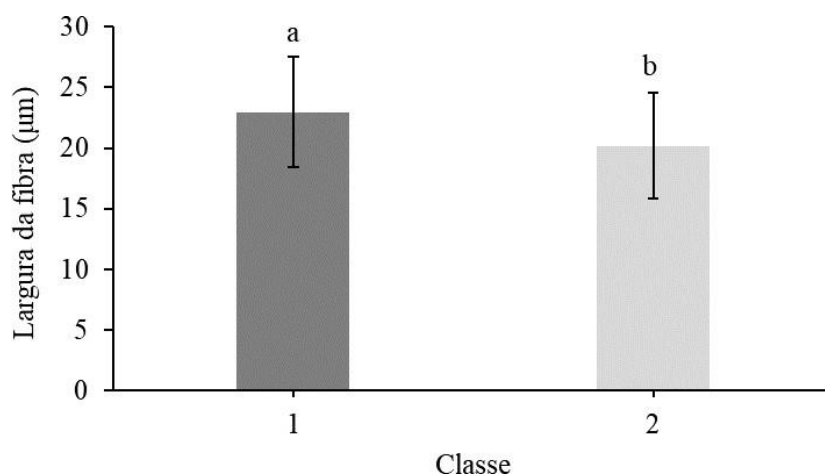
Fonte: Autor, 2024.

O aumento do comprimento das fibras é resultado do aumento do comprimento das células que as originam, denominadas de iniciais fusiformes e a sua estabilização, para inúmeras espécies florestais, somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação do lenho adulto (TOMAZELLO FILHO, 1987).

A classe diamétrica afetou a largura da fibra em madeiras de *K. grandifoliola* aos 4

anos de idade. A classe 1 apresentou as árvores com as fibras de maior diâmetro (Figura 11). Além de se sobressair no comprimento das fibras, também se mostrou superior em relação a classe 2 na largura. Com base na Figura 11, os valores estão próximos de 20 micrômetros, a média da largura total das fibras na classe 1 foi de 22,95 μm e na classe 2, foi de 20,19 μm .

Figura 11 - Efeito da classe diamétrica na largura das fibras da madeira jovem de *K. grandifoliola*. As letras minúsculas indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott. As barras de erro indicam o desvio padrão.



Fonte: Autor, 2024.

Os achados deste estudo indicam que aos 4 anos de idade, madeiras com maiores diâmetros tendem a apresentar menor largura das fibras. Os valores de largura das fibras não extrapolaram os valores encontrados na literatura, segundo Silva et al. (2007), dentro da faixa estabelecida (12 – 20 μm). O valor médio da largura das fibras foi de 21,58 μm , com uma variação de 12,02% (Figura 11).

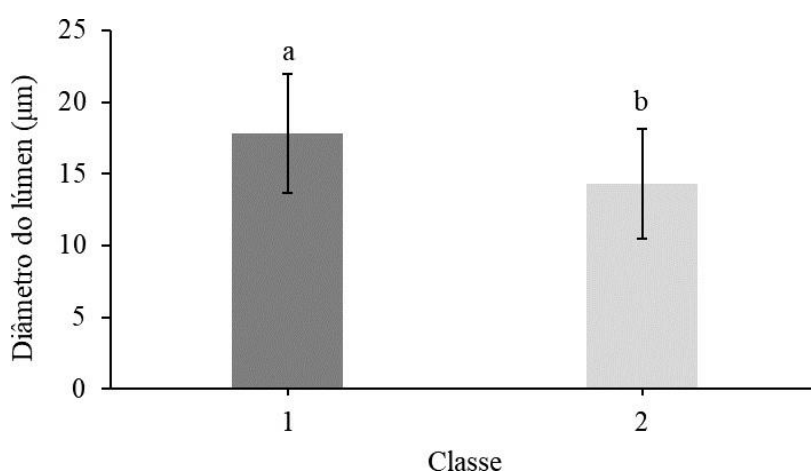
Segundo Shimoyama (1990) e Esteban et al. (2002), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, sendo influenciada pela idade cambial e tendendo a aumentar no sentido medula-casca. Assim, à medida que as árvores incrementam em diâmetro, tendem a apresentar mudanças na largura das fibras, corroborando com os achados do presente estudo.

O diâmetro do lúmen, por sua vez, está relacionado com a largura e espessura da parede das fibras. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando menor massa específica ou densidade básica.

O estudo detectou efeito apenas de classe diamétrica sobre o diâmetro do lúmen (Tabela 3), também indicando que ao longo do fuste (sentido base-topo), essa variável se mantém semelhante. Contudo, com o aumento do diâmetro da árvore de *K. grandifoliola* até 20 cm, se tem madeiras com diâmetro do lúmen menor.

Os valores encontrados para o diâmetro do lúmen das fibras foram superiores aos encontrados na literatura, que, segundo Silva et.al (2007), variam de 6 a 12 μm . O valor médio do diâmetro do lúmen das fibras foi de 16,05 μm , sendo os limites por classe 1 e 2, respectivamente, de 17,79 μm e 14,30 μm , com uma variação de 19,61% (Figura 12).

Figura 12 - Efeito da classe diamétrica no diâmetro das fibras da madeira jovem de *K. grandifoliola*. As letras minúsculas indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott. As barras de erro indicam o desvio padrão.



Fonte: Autor, 2024.

As madeiras de maiores diâmetros apresentam menores diâmetros do lúmen, por estarem relacionadas com o lenho tardio. Assim, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando menor massa específica. Esse achado justifica os valores de densidade básica da madeira de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade. Na classe 1, onde o diâmetro médio do lúmen das fibras foi maior, a densidade básica da madeira foi menor ($0,436 \text{ g cm}^{-3}$).

Pela análise de variância, os valores verificados não mostraram efeitos significativos entre classes na espessura da parede. A espessura da parede, que é a diferença entre a largura total da fibra e o diâmetro do lúmen, variou entre 0,40 e 19,63 μm , com média de 5,53 μm . Ausência de efeito da classe diamétrica sobre a espessura da parede foi reportado por Ramírez e Rodríguez (2009).

6. CONCLUSÃO

O comprimento da fibra apresentou influência significativa da interação classe diamétrica e posição de amostragem, enquanto a largura da fibra e diâmetro do lúmen apenas da classe diamétrica. A espessura da parede não apresentou influência dos fatores estudados.

As árvores de *K. grandifoliola*, considerando as classes diamétricas, apresentaram padrões distintos do comprimento de fibra em relação a classe e a posição longitudinal.

Estudos futuros devem avaliar as características anatômicas de *K. grandifoliola* em idades mais avançadas, considerando os fatores avaliados no presente estudo (classe diamétrica x posição de amostragem). Além disso, é necessário expandir as variáveis anatômicas consideradas (estudo com parênquimas, raios, vasos e outros).

Desse modo, a utilização da madeira de *K. grandifoliola* aos quatro anos de idade é mais adequado o uso para estacas, mourões, escoras e construção civil.

REFERÊNCIAS

- ANTWI-BOASIAKO, C. Inter-family variation in fibre dimensions of six tropical hardwoods in relation to pulp and paper production. **Pro Ligno**, v. 8, n. 2, p. 19-36, 2012.
- BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica da madeira: guia prática e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa Florestas (Série Documentos), 2011.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.
- CASAROLI, D.; ROSA, F. O.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P. Phenology of African mahogany plants submitted to irrigation. *Communicata Scientiae*. **Revista Bom Jesus**, v. 08, p. 239-246, 2017.
- CASAROLI, D.; ROSA, F. O.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; BRITO, B. V.; PENA, D. Aptidão edafoclimática para o mogno-africano no Brasil. **Revista Ciência Florestal**, v. 28, p. 357- 368, 2018.
- CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de Pinus taeda em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão**. 2007, 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- ESTEBAN, L. G. et al. **Anatomia y su identificación de espécies a nível de espécie**. Madrid: AMVE Ediciones, 2002. 421p
- FERRAZ, F. A. C.; FONSECA, P.; RIBEIRO, A. **Plantações de mogno-africano no Brasil – avanços e necessidades** Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, série técnica IPEF v. 26, n. 48, maio de 2023.
- 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, 2021. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM2020-0081>.
- FLORÊNCIO, L. W. G.; **Climate change on Eucalyptus plantations and adaptive measures for sustainable forestry development across Brazil**. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais. 115538, Volume 188, Parte A, 15 de nov. de 2022.
- FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.
- IAWA. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- ITTO (International Tropical Timber Organization). **Tropical timber species**. Disponível em:

<<http://www.tropicaltimber.info/specie/acaajou-cailcedrat-khaya-senegalensis/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

KLEIN, D. R.; ANDRADE, M. M.; DERENGOSKI, J. A.; DUARTE, E.; KREFTA, S. M.; SILVEIRA, A. C.; BRUN, E. J.; Aspectos gerais e silviculturais de *Cordia americana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Toona ciliata* e *Khaya* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 155-164, 2016.

LEMMENS, R. H. M. J.; LOUPPE, D. OTENG-AMOAKO, A. A. **Timbers 2: Plant Resource of Tropical Africa**. Wageningen: PROTA English Edition, 2012. 804 p.

MAESTRI, M. P.; AQUINO, M. G. C. de; RABELO, L. K. L. A praga do mogno brasileiro: *Hypsipyla grandella* Zeller. **Biodiversidade**, v. 19, p. 24, 2020.

MALAN, F.S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MATIAS, Renan Krupok. **Formação de fuste do mogno africano (*Khaya grandifoliola* C. Dc.) no início da cultura**. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2019.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 112 p. Disponível em: [alice/handle/doc/1076130](https://hdl.handle.net/1076130). Acesso em: 21 fev. 2024.

OPUNI-FRIMPONG, E. Managing **Mahogany Plantations in the Tropics. Field Guide for Farmers**. Kumasi: CSIR-FORIG (Forestry Research Institute of Ghana), 2016, 95 p.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW. C. **Textbook of wood technology**: 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill, 1970. 736p. **Textbook of wood technology**. 4ed. New York: Mcgraw-Hill, 1980.

RAMÍREZ, M.; RODRÍGUEZ, J. Wood anatomy and biometric parameters variation of *Eucalyptus globulus* clones. **Wood Science and Technology**, v.43, p.131-141, 2009.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): Atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019, p. 116-160.

RELATÓRIO anual 2023. São Paulo: IBÁ, 2023. **Relatório relativo a 2012**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2023.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; SCOLFORO, J. R. S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 11 p., 2017.

SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): Atualidades e perspectivas do cultivo no**

Brasil. Brasília: Embrapa, 2019, p. 116-160.

SANTOS, Felipe Martini. **Sistemas agroflorestais sucessionais com mognos africanos: aspectos silviculturais e recuperação de funções ecossistêmicas**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2019.

SHIMOYAMA, V. R. S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp 1990. 93f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

SIGITE. Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento - SAGRIMA. **Zoneamento Agropecuário**. Coordenado por Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. São Luís, 1994.

SILVA, João G. M. da; VIDAURRE, Graziela B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.) In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): Atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019, p. 293.

SILVA, A. T. da S.; SIQUEIRA, R. S.; MARIANO, D. de C.; OKUMURA, R. S.; SILVA, K. J. S.; KOHLER, S. V.; EBLING, A. A. Acúmulo de carbono na biomassa de plantas de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) em área de reflorestamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 07, p. 51070-51082, 2021.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007.

SOUSA, F. G.; BARREIRA, S. **Mogno africano (*Khaya* spp.): um estudo bibliométrico**. o Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Universidade Federal de Goiás (PPGAGRO/UFG). Jandaia-GO, v.19, n.40; p. 43. UFG, 30 de jun. de 2022.

SOUZA, F. M. Caracterização socioeconômica e ambiental de produtos florestais não madeireiros de famílias agroextrativistas, em quatro municípios de Goiás. 2012. 60 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, v.29, p.37-45, 1985b.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF**, n. 36, p.35-42, 1987.

MORAES NETO, S. P. **Mogno Africano: Origem, características da madeira, crescimento e manejo**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2019: 29 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 174).

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira** 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

MORESCHI, JOÃO. **Propriedades Tecnológicas da Madeira. 1ª edição: fevereiro/ 2.005; 4ª edição: novembro/ 2.012 - atualização: setembro/ 2014** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Disponível em:<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA>. Acesso em: 12 de jan. 2024.

VIANA, C. **Ciberdúvidas**, maio de 2007. Disponível em: <https://ciberduvidas.iscte-iul.pt/consultorio/perguntas/condicoes-edafoclimaticas/21084#>Acesso em: 12 de jan. 2024.