



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

**PEDRO VICTOR DO NASCIMENTO DINIZ**

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL DE CARBONO EM MADEIRAS DE DESBASTE DE  
*Khaya grandifoliola* C. DC. CULTIVADA NA REGIÃO TOCANTINA DO  
MARANHÃO**

Imperatriz – MA  
2024



**PEDRO VICTOR DO NASCIMENTO DINIZ**

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL DE CARBONO EM MADEIRAS DE DESBASTE 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

F848i

Diniz, Pedro Victor do Nascimento

Varição longitudinal de carbono em madeira de desbaste de *Khaya grandifoliola* C. DC. cultivada na região Tocantina do Maranhão. – Imperatriz, MA, 2024.

41 f.; il.

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

1.Plantio florestal. 2. Magno-Africano. 3. Estoque de carbono. 4.Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 674.031.5/.9(812.1)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Jennifer Rabelo Pires CRB13/987**

**PEDRO VICTOR DO NASCIMENTO DINIZ**

**VARIAÇÃO LONGITUDINAL DE CARBONO EM MADEIRAS DE DESBASTE 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

Aprovado em: 07 / 08 / 2024



---

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: 16/08/2024 14:34:26-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Joabel Raabe

Doutor em Ciências Florestais - UnB

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL

(Membro 1)



---

Felipe Alexandre Rizzo

Doutor em Ciências Ambientais - UNESP

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

(Membro 2)

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo de maravilhoso que proporciona em minha vida, sem Ti eu nada seria Senhor.

À minha família por incentivar e ser minha base em tantos momentos, em especial a minha mãe Auderina Carneiro, minha tia Maria Nascimento e minha irmã Viviane Diniz que sempre me apoiam e incentivam em tudo o que faço, nesta etapa não poderia ser diferente.

Aos amigos e colegas que a Universidade me proporcionou, obrigado a todos pelo companheirismo, carinho, conversas, risadas e muitas outras coisas que aconteceram durante todos esses anos.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima pela paciência, dedicação, ensinamentos, compreensão, por me transmitir tanta segurança e por nunca se recusar ao atendimento, mesmo em horários não comerciais.

Ao Professor Dr. Joabel Raabe, responsável pelo Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira da UEMASUL, onde passei a maior parte do tempo me dedicando a este trabalho, obrigado por todo suporte, vivência e conselhos, jamais esquecerei.

À empresa Jacuba Serviços Ambientais, em nome do Aldemir Lucena por todo apoio fornecido durante essa pesquisa e parceria, desde hospedagem, coleta de material e ensinamentos gerados em campo.

A UEMASUL juntamente com todo seu corpo docente, por cada aprendizado e experiências vividas.

Agradeço de todo o coração a todos que me acompanharam nessa jornada, em busca da qualificação profissional e colaboraram direta e indiretamente com a minha formação.

## RESUMO

A crescente demanda por madeira intensifica a exploração das florestas naturais, elevando o desmatamento e as emissões de carbono. Plantios florestais, como o mogno-africano (*Khaya spp.*), são alternativas para mitigar esses impactos, atuando como sumidouros de carbono. Iniciativas públicas e privadas no Brasil buscam desenvolver informações sobre essa espécie. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da classe diamétrica e da posição de amostragem no sentido longitudinal do tronco no estoque de carbono da madeira *Khaya grandifoliola* C. DC. O presente estudo foi realizado com árvores desbastadas de mogno africano pertencentes a um plantio comercial com idade de 4 anos. Foram avaliadas 6 árvores em duas classes diamétricas (C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm), totalizando 12 árvores. Destas árvores, foram retirados discos com 5 cm de espessura em 3 posições longitudinais (0, 50 e 100% da altura comercial). A partir desses discos foi determinado a densidade básica, obtida através do método de imersão e estimado o estoque de carbono, realizado de maneira indireta, multiplicando a massa seca pelo fator 0,5. A madeira de *K. grandifoliola* colhida aos 4 anos pode ser classificada como de baixa densidade, com uma média de 0,438 g/cm<sup>3</sup>. Foi identificado um efeito da posição de amostragem na densidade, com uma variação decrescente da base para o topo da árvore. Essa mesma tendência foi observada no estoque de carbono, apresentando uma média de 252,69 kg/m<sup>3</sup> na base (0%), 206,53 kg/m<sup>3</sup> no meio do fuste (50%) e 198,49 kg/m<sup>3</sup> no topo (100%). Esses dados indicam que a base do tronco possui, em média, os maiores valores de estoque de carbono.

**Palavras-chaves:** mogno-africano; estoque de carbono; desbaste; plantios comerciais.

## ABSTRACT

The growing demand for wood intensifies the exploitation of natural forests, increasing deforestation and carbon emissions. Forest plantations, such as the African mahogany (*Khaya* spp.), are alternatives for mitigating these impacts, acting as carbon sinks. Public and private initiatives in Brazil are seeking to develop information on this species. The aim of this study was therefore to assess the influence of diametric class and sampling position in the longitudinal direction of the trunk on the carbon stock of *Khaya grandifoliola* C. DC. This study was carried out on thinned African mahogany trees belonging to a commercial plantation with an age of 4 years. Six trees in two diametric classes (C1: 0-10 cm; C2: 10-20 cm) were evaluated, totaling 12 trees. From these trees, 5 cm thick disks were taken at 3 longitudinal positions (0, 50 and 100% of commercial height). From these disks, the basic density was determined using the immersion method and the carbon stock was estimated indirectly by multiplying the dry mass by a factor of 0.5. The wood of *K. grandifoliola* harvested at 4 years of age can be classified as low density, with an average of 0.438 g/cm<sup>3</sup>. An effect of sampling position on density was identified, with a decreasing variation from the base to the top of the tree. This same trend was observed in the carbon stock, with an average of 252.69 kg/m<sup>3</sup> at the base (0%), 206.53 kg/m<sup>3</sup> in the middle of the stem (50%) and 198.49 kg/m<sup>3</sup> at the top (100%). These data indicate that the base of the trunk has, on average, the highest carbon stock values.

**Keywords:** african mahogany; carbon stock; thinning; commercial plantations.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de distribuição natural da espécie <i>K. grandifoliola</i> .....	12
<b>Figura 2</b> - Plantio de <i>Khaya grandifoliola</i> aos 4 anos de idade.....	13
<b>Figura 3</b> - Folhas, flores, frutos e sementes de <i>K. grandifoliola</i> .....	15
<b>Figura 4</b> - Ilustração de como as florestas neutralizam o carbono.....	19
<b>Figura 5</b> - Esquema da porcentagem de carbono nas diferentes partes das árvores.....	20
<b>Figura 6</b> - Localização do plantio de <i>K. grandifoliola</i> no município de Porto Franco, Maranhão, Brasil.....	21
<b>Figura 7</b> - Materiais utilizados em campo: a) Fita métrica; b) Plaqueta de identificação; c) Motosserra; d) Sacos plásticos.....	23
<b>Figura 8</b> - Esquema de amostragem no sentido longitudinal do fuste de <i>K. grandifoliola</i> .....	24
<b>Figura 9</b> - Cunha dos discos de madeira de <i>K. grandifoliola</i> .....	24
<b>Figura 10</b> - Procedimentos para determinação da densidade básica da madeira: a) Amostras submergidas em água para saturação; b) Pesagem na balança de precisão; c) Ilustração da estufa utilizada para secagem das cunhas.....	25
<b>Figura 11</b> - Padrão decrescente da densidade básica da <i>K. grandifoliola</i> no sentido longitudinal do fuste.....	29
<b>Figura 12</b> - Modelos de regressão linear (a) e polinomial quadrático (b) para simular o comportamento do estoque de carbono em função das posições longitudinais de amostragem. ....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Censo Florestal.....	22
<b>Tabela 2</b> - Densidade Básica média do Fuste em $\text{g/cm}^3$ para árvores de <i>K. grandifoliola</i> cultivadas na Região Tocantina do Maranhão.....	27
<b>Tabela 3</b> - Estoque de carbono médio em $\text{kg/m}^3$ por posição longitudinal de amostragem para árvores de <i>K. grandifoliola</i> cultivadas na Região Tocantina do Maranhão.....	30
<b>Tabela 4</b> - Análise de variância do estoque de carbono na madeira.....	30
<b>Tabela 5</b> - Média de Estoque de Carbono por posição de amostragem.....	31
<b>Tabela 6</b> - Resumo das equações de regressão para estoque de carbono.....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Khaya grandifoliola</i> C. DC.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização dendrológica de <i>K. grandifoliola</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização tecnológica da madeira.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Biomassa e carbono.....</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>A importância do estoque de carbono na madeira.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Origem do material biológico.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2</b>	<b>Informações do plantio e Dados coletados.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3</b>	<b>Análises realizadas na madeira.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Densidade Básica do Fuste de <i>K. grandifoliola</i>.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Variação Longitudinal da Densidade Básica da Madeira de <i>K. grandifoliola</i>.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Variação do estoque de carbono da madeira de <i>K. grandifoliola</i>.....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda global por produtos florestais, especialmente madeira, incentiva a extração e o corte de árvores de alto valor econômico em diversas regiões do mundo. Essa exploração de madeira proveniente de florestas naturais tem levado à degradação de diferentes biomas e ecossistemas, elevando o risco de extinção não apenas das espécies florestais exploradas, mas também de muitas outras que são afetadas pela deterioração de seus habitats (Soares, 2014).

Até a década de 1950, cerca de 80% da oferta mundial de madeira era extraída de florestas naturais (Whiteman, 2014). A partir da década de 1990, a área plantada de florestas comerciais aumentou em 50% para atender de forma sustentável a crescente demanda por produtos à base de madeira (Payn *et al.*, 2015). Assim, os plantios florestais comerciais são alternativa para reduzir a exploração de áreas nativas e fornecer produtos de base florestal de elevada qualidade tecnológica, além disso, os plantios florestais comerciais, ao contribuírem para a oferta sustentável de madeira, também desempenham um papel relevante na mitigação das mudanças climáticas.

Em 2022, a Indústria Brasileira de Árvores, reportou que o Brasil possuía 9,94 milhões de hectares de áreas plantadas, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus* (7,6 milhões de hectares) (IBÁ, 2023). Essa expansão de áreas plantadas destaca a necessidade de estudar novas espécies com ampla plasticidade fenotípica, especialmente para o desenvolvimento de protocolos silviculturais no Nordeste do Brasil. Esse esforço é crucial diante das crescentes alterações ambientais, iniciadas no século XIX com a Revolução Industrial e o aumento do uso de combustíveis fósseis, que elevaram significativamente as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (Abdalla *et al.*, 2011). As florestas desempenham um papel vital na mitigação dessas emissões, removendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera e armazenando-o na forma de biomassa vegetal durante a fotossíntese, o que contribui para a redução do efeito estufa (Fearnside *et al.*, 2013).

Os efeitos da captura do carbono atmosférico pelas árvores podem ser quantificados por meio da estimativa de biomassa lenhosa, raízes, folhas e pela quantidade de CO<sub>2</sub> absorvido durante a fotossíntese (Muneroli, 2009). A proporção da distribuição dessa biomassa não é similar para todos os indivíduos, ainda que pertencentes à mesma espécie. Tal variação se deve a diversos fatores, como características genéticas, idade e condições do ambiente (Castro; Kauffman, 1998; Vieira *et al.*, 2010). A quantidade de carbono armazenada depende do total de biomassa, ou seja, quanto maior a quantidade de biomassa mais carbono estocado (Miranda,

2008). Uma das espécies que nos últimos anos tem se destacado é o *Khaya grandifoliola* (mogno africano), estima-se que em todo o território nacional há mais de 40 mil hectares plantados dessa espécie devido a sua maturação biológica precoce, a qual se dá entre 13 e 15 anos de idade e o corte raso ocorre a partir dos 17, sendo assim o seu potencial de geração de estoque de carbono precisa ser compreendido melhor, especialmente no cenário em constante mudança no clima (IBF, 2017).

*Khaya grandifoliola*, popularmente conhecido como mogno africano, representado principalmente pelo gênero *Khaya*, é uma espécie florestal de grande importância devido às suas características de crescimento e seus múltiplos usos. Originário das florestas tropicais da África, esse gênero compreende várias espécies, sendo a *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis* as mais notáveis. Essas árvores apresentam madeira de alta qualidade, com propriedades interessantes, como resistência, durabilidade e coloração atraente. Além do seu valor comercial na indústria madeireira, a *Khaya spp.* desempenha um papel crucial na conservação florestal e na promoção da sustentabilidade, pois ajuda na redução do desmatamento de florestas naturais na Amazônia Brasileira (Pinheiro *et al.*, 2011).

A variação longitudinal de carbono na madeira de *Khaya grandifoliola* é essencial para entender suas propriedades físicas e químicas ao longo do eixo base-topo, pois essa variação influencia diretamente a densidade, resistência mecânica, durabilidade e a capacidade de armazenamento de carbono da madeira. Além disso, o estoque de carbono nessa espécie é relevante para avaliar sua contribuição ao ciclo global de carbono e seu potencial para mitigar as mudanças climáticas. Contudo, há uma escassez de dados na literatura, especialmente referentes a árvores desbastadas com 4 anos de idade. Este estudo não apenas proporcionará insights valiosos para a gestão florestal, mas também ressaltará a importância dessa espécie no sequestro de carbono, buscando práticas de manejo que conciliem a exploração econômica com a conservação ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência da classe diamétrica e posição longitudinal de amostragem no estoque de carbono em madeiras de *Khaya grandifoliola* C. DC.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar o efeito da posição de amostragem no estoque de carbono de madeiras de *Khaya grandifoliola* oriundas de desbaste de plantio aos 4 anos de idade.

Analisar o efeito de classe diamétrica no estoque de carbono da madeira de *K. grandifoliola*.

Estudar a relação da densidade básica da madeira com o estoque de carbono em árvores de *K. grandifoliola*.



A espécie *K. grandifoliola* se adapta bem à luz e apresenta boa regeneração tanto em florestas quanto em bordas de florestas nativas altamente perturbadas (Praciak et al., 2013). Em sua distribuição natural, essa espécie pode ser encontrada em altitudes de até 1.400 metros (Opuni-Frimpong, 2008), embora também haja registros de ocorrência em altitudes que variam entre 229 e 1.800 metros (CJB, 2012).

No Brasil, *K. grandifoliola* foi introduzida em 1976, quando os primeiros cinco exemplares foram plantados na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na Amazônia Oriental, em Belém, no estado do Pará (Falesi; Baena, 1999). O interesse pelo gênero *Khaya* se deve a características tecnológicas semelhantes ao mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King). A Instrução Normativa nº 7, de 22 de agosto de 2003 diz que a exploração das florestas primitivas e demais formas de vegetação arbórea natural, que contemple a extração do mogno brasileiro, somente será permitida mediante Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS e outras diretrizes definidas na resolução em análise (BRASIL, 2003).

Atualmente, *K. grandifoliola* tem sido cada vez mais adotada por silvicultores no Brasil, devido à sua facilidade de propagação, boa adaptação, rápido crescimento e elevado valor econômico da madeira no mercado internacional (Falesi; Baena, 1999; Ribeiro *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2019).

**Figura 2** - Plantio de *Khaya grandifoliola* aos 4 anos de idade.



**Fonte:** Autor (2023).

No que diz respeito à produtividade das florestas plantadas, o país apresenta uma clara vantagem competitiva. A cultura se adaptou com sucesso a várias regiões do Brasil, o que possibilitou e incentivou o estabelecimento de diversos empreendimentos (Aquino et al., 2018). Atualmente, 66% dos plantios estão concentrados em Minas Gerais, enquanto o restante está distribuído entre os estados de Goiás, Tocantins, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Pará e Santa Catarina (Abpma, 2021).

No estado do Maranhão, ainda não existem grandes plantios de *K. grandifoliola* em larga escala, embora haja alguns povoamentos em certos municípios. No entanto, o incentivo privado, o retorno econômico e o uso da espécie na restauração de áreas degradadas têm crescido. Um exemplo notável é o município de Zé Doca, onde foram plantados 10 hectares de *K. grandifoliola* com o apoio do Instituto Brasileiro de Florestas (IBF), que ofereceu consultoria para o projeto.

Até 2019, a *K. grandifoliola* foi erroneamente classificada no Brasil como *K. ivorensis*. Esse erro taxonômico foi corrigido pelo Dr. Ulrich Gaël Bouka Dipelet, reconhecido mundialmente como o maior especialista no gênero *Khaya*, que veio ao país a convite da Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano para revisar a identificação das árvores plantadas na Embrapa, em Belém (PA), que originaram grande parte dos plantios no Brasil (Abpma, 2020).

As espécies do gênero *Khaya* são conhecidas por sua alta durabilidade natural, facilidade de processamento e secagem da madeira, além de seu elevado valor no mercado internacional, sua madeira é amplamente utilizada na indústria moveleira, naval e na construção sofisticada de interiores, devido às suas excelentes características tecnológicas e estéticas (Opuni-Frimpong et al., 2008).

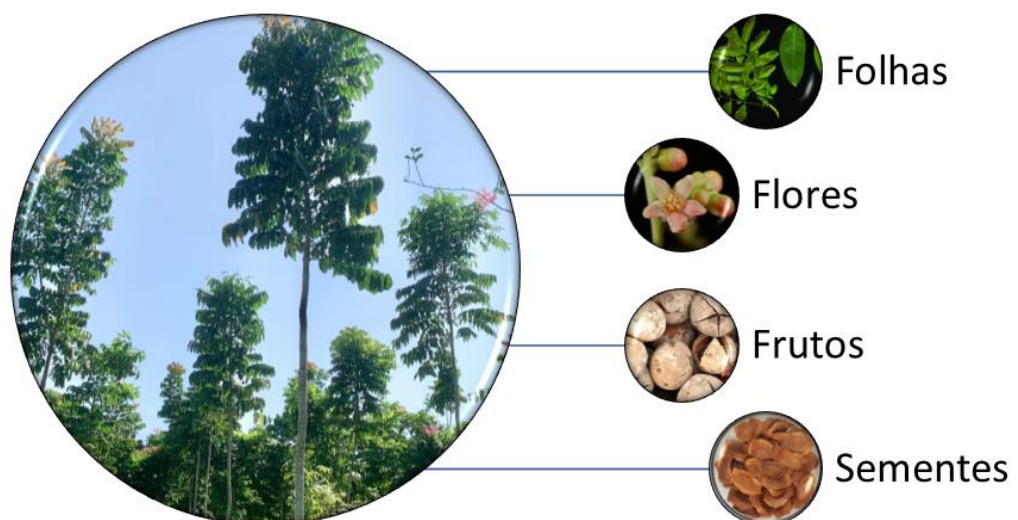
### **3.2 Caracterização dendrológica de *K. grandifoliola***

As árvores de *K. grandifoliola* possuem porte que varia de médio a alto, podendo atingir 40 m de altura e os fustes podem atingir 23 m. Podem apresentar sapopemas com até 3,00 m de altura. O tronco é normalmente torcido ou inclinado nas proximidades do topo. No tronco, a superfície da casca é áspera, escamosa e de cor marrom acinzentada, esfoliando-se em escamas pequenas e circulares. A coloração da casca interna varia de rosa-escuro à avermelhada, com listras brancas e com exsudação de substância viscosa e incolor (Opuni-Frimpong, 2008; Praciak et al., 2013).

A copa das árvores dessa espécie é grande e arredondada, com presença de galhos glabros. As folhas são paripenadas e compostas por três a cinco pares de folíolos, dispostas em espiral e agrupadas próximas das extremidades dos ramos. As estípulas são ausentes. O pecíolo e a ráquis podem atingir, juntos, até 50 cm de comprimento, os comprimentos dos peciólulos variam de 0,5 a 1,0 cm. Os folíolos variam de opostos a sub opostos, elípticos a ovado-elípticos ou oblongo-elípticos, com 10,0 a 30,0 cm de comprimento por 5,0 a 10,0 cm de largura, cuneados a obtusos ou arredondados e ligeiramente assimétricos na base, curtos, mas distintamente acuminados no ápice, frequentemente com a ponta torcida. As margens podem ser inteiras ou onduladas, espessamente papiráceas ou delgadamente coriáceas, glabras, de nervuras penadas com nove a quinze pares de nervuras laterais (Opuni-Frimpong, 2008).

Os frutos consistem em cápsulas eretas e lenhosas, aproximadamente globosas, com diâmetro variando entre 6,0 a 9,0 cm. A sua cor é marrom-acinzentada, com cinco valvas deiscentes. Os frutos são compostos por muitas sementes (Opuni-Frimpong, 2008). As sementes são de cor castanha, com formato de disco ou quadrangular, bastante achatadas, com dimensões aproximadas de 2,0 e 3,5 cm. As sementes são estreitamente aladas por toda a margem, o que favorece a dispersão pelo vento (Opuni-Frimpong, 2008). As sementes devem ser cuidadosamente selecionadas, uma vez que podem ocorrer ataques de insetos quando essas ainda estão na árvore. Há relatos da presença de 3.000 a 5.000 sementes por quilograma. O protocolo de armazenamento de sementes e de plantio é similar àquele já comentado para *K. anthothea* (Praciak *et al.*, 2013).

**Figura 3** - Folhas, flores, frutos e sementes de *K. grandifoliola*.



A germinação ocorre entre 10 a 35 dias após o semeio. Para isso, as sementes devem ser cobertas com fina camada de solo. Em geral, apresentam um padrão de germinação de 90,0%. A germinação é hipógea, isto é, os cotilédones permanecem sob a terra. O epicótilo tem aproximadamente 6,0 cm de comprimento. As primeiras duas folhas são opostas e simples (Opuni-Frimpong, 2008, Praciak *et al.*, 2013).

### 3.3 Caracterização tecnológica da madeira

Visto que o cultivo comercial de mogno africano no Brasil é relativamente recente, há uma quantidade limitada de estudos científicos sobre suas propriedades madeireiras. Entre os trabalhos disponíveis, destacam-se os estudos sobre árvores de plantios experimentais (Soranso *et al.*, 2016), isolados (Carvalho; Silva; Latorraca, 2010) e de áreas protegidas (Medeiros Neto; Paes; Silva *et al.*, 2016; Vidaurre *et al.*, 2017; Soranso *et al.*, 2018; França *et al.*, 2015, 2016, 2018). Em contraste, as pesquisas sobre madeiras de plantios comerciais incluem os trabalhos de Moraes *et al.* (2019), Santos *et al.* (2020) e Campos (2020).

A densidade básica é uma das propriedades mais estudadas da madeira devido à sua facilidade de determinação e ao impacto significativo nos processos produtivos das empresas de base florestal, influenciando a qualidade dos produtos madeireiros (Oliveira *et al.*, 2021).

Brito (2021) relatou que a densidade básica e aparente da madeira de mogno africano (*K. grandifoliola*) de árvores desbastadas aos 10 anos foram, em média, 0,46 g/cm<sup>3</sup> e 0,56 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Esses valores indicam uma densidade de baixa a média, o que não é adequado para elementos estruturais. A madeira apresenta baixa retração volumétrica e um coeficiente anisotrópico mediano, sendo considerada moderadamente estável dimensionalmente. Isso a torna apropriada para o setor moveleiro e para aplicações que não exigem alta resistência mecânica. Uma alternativa para agregar valor a esse material seria utilizá-lo na forma de madeira lamelada colada e/ou em painéis estruturais.

Conforme a classificação de Marques, Melo e Martins (1997), a madeira de *K. grandifoliola* de árvores desbastadas é classificada como de baixa densidade, sugerindo seu uso em aplicações que não requerem alta resistência mecânica, como móveis, lâminas decorativas, compensados e construção civil leve interna (lambris, forros e rodapés). Em contraste, Gbaguidi Aisse, Zohoun e Kouchade (2008) encontraram uma densidade básica média de 0,59 g/cm<sup>3</sup> para a mesma espécie, enquanto Donkor (1997) quantificou a densidade aparente em 0,72 g/cm<sup>3</sup>. Esses estudos, realizados em árvores de extrativismo na África, apresentam valores mais elevados de densidade que podem estar associados à maior idade dessas árvores.

Além disso, a madeira de *K. grandifoliola* proveniente de desbaste apresenta estabilidade dimensional mediana, com um coeficiente anisotrópico de 1,63. Isso a torna adequada para usos que permitem pequenos empenamentos, como estantes, mesas e armários (Durlo; Marchiori, 1992; Logsdon; Penna, 2005).

### 3.4 Biomassa e carbono

A biomassa florestal tem sido estudada com propósitos variados, como a ciclagem de nutrientes para fins energéticos e na avaliação do crescimento das florestas. As questões climáticas ligadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa, principalmente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tem também despertado o interesse devido ao papel que as florestas exercem no tocante ao sequestro biológico de carbono e na remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera (Caldeira, 2013).

O carbono é elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas e compõe quatro dos principais gases de efeito estufa, o metano (CH<sub>4</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs), e são essenciais à vida, por ser um elemento "mestre" nos ciclos globais, chamados biogeoquímicos. Portanto, o ciclo do carbono mostra a relação entre a vida, a atmosfera, os oceanos, rochas e florestas (Moreira e Schwartzman, 2000).

O estudo da distribuição e do estoque de carbono em sistemas florestais é importante por indicar a qualidade ambiental de ecossistemas. Além disso, existe recente demanda por pesquisas em ciclagem e alocação de carbono em ecossistemas florestais (Nogueira, 2013).

No balanço global de carbono na atmosfera de nosso planeta bilhões de toneladas de C são emitidas anualmente na forma de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra. É cada vez maior o interesse pela fixação de carbono em florestas plantadas, principalmente devido às suas elevadas taxas de crescimento e consequente capacidade de remover CO<sub>2</sub> da atmosfera (Baesso *et al.*, 2010).

Sabe-se que as árvores têm a capacidade de absorção e fixação de carbono em função da espécie, taxa de crescimento, longevidade, sítio, clima e período de rotação. Em geral, fixam mais carbono as florestas secundárias e as plantações jovens. As florestas primárias e as plantações maduras atingem um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono, já que liberam a mesma quantidade mediante a decomposição da madeira morta e das árvores em senescência (Arevaldo *et al.*, 2002).

O termo “sequestro de carbono” foi consagrado na Conferência de Kyoto (Japão), em 1997, e tem como objetivo conter e reverter o acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, com o propósito de reduzir o efeito estufa. É comumente relacionado à ideia de conservação de carbono nos solos, nas florestas e em outros tipos de vegetações; ao fortalecimento de “sumidouros” de carbono, preservando áreas florestais, estabelecendo novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas (Rezende *et al.*, 2001).

As florestas são importantes para o equilíbrio global, pois armazenam em suas árvores e no solo mais C do que o existente na atmosfera (Houghton, 1994). Uma floresta jovem, que esteja crescendo de forma acelerada, sequestra maiores volumes de carbono quando comparada à floresta madura. Já a floresta madura atua como um reservatório, estocando carbono, mesmo que não esteja passando por um crescimento líquido. Assim, uma floresta jovem pode estocar menos carbono quando comparada à uma floresta madura, mas sequestra mais carbono da atmosfera ao longo do tempo. Já uma floresta madura, apesar de não capturar "novo carbono" continua a estocar grandes volumes de carbono em sua biomassa ao longo do tempo (Sedjo, 2001).

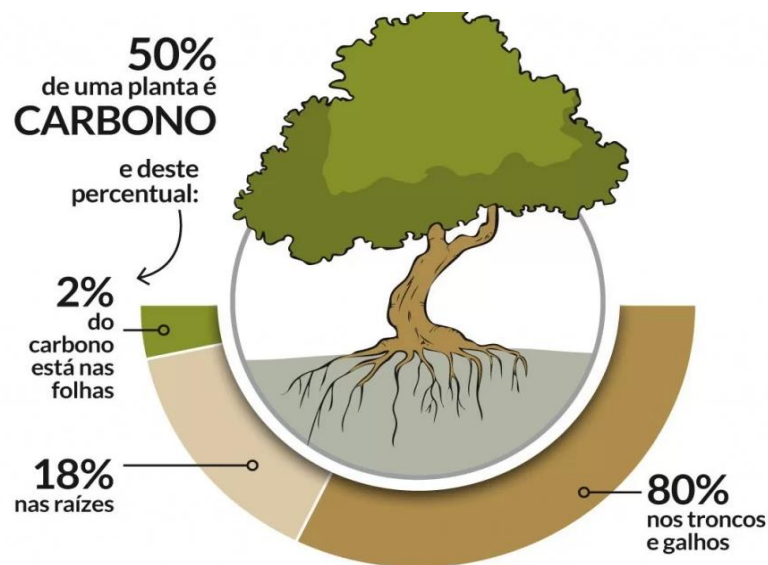
As estimativas de biomassa disponíveis na literatura empregam métodos diretos e indiretos (Ravindrath; Ostwald, 2008). O método direto envolve a derrubada e pesagem das árvores, proporcionando uma medição direta da biomassa. Em contraste, o método indireto se baseia em estimativas derivadas de inventários, onde o volume da madeira é a variável principal. Este método é uma estimativa que utiliza modelos matemáticos com dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht) para relacionar o volume de madeira com a biomassa e o carbono acumulado (Higuchi; Carvalho Jr, 1994; Teixeira, 2003). O DAP apresenta uma correlação positiva e significativa com o peso da árvore e com o carbono estocado (Silva, 2007).

Dessa forma, o estudo e a quantificação dos estoques de carbono em áreas de implantação florestal são essenciais para pontos de discussão e para nortear estratégias de fomento em projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas (Borges *et al.*, 2017).

### 3.5 A importância do estoque de carbono na madeira

O estoque de carbono em madeira refere-se à quantidade de carbono armazenada nos componentes da madeira, como troncos, galhos e raízes de árvores, cada qual com suas devidas porcentagens, somando aproximadamente 50% da massa seca das árvores. Em relação a esse percentual de carbono, cerca de 2% está presente nas folhas, 18% nas raízes e 80% nos troncos e galhos (Almeida; Campelo Júnior; Dilly, 2021; Finger, 2010) (Figura 4).

**Figura 4** - Esquema da porcentagem de carbono nas diferentes partes das árvores.



**Fonte:** Dilly (2021).

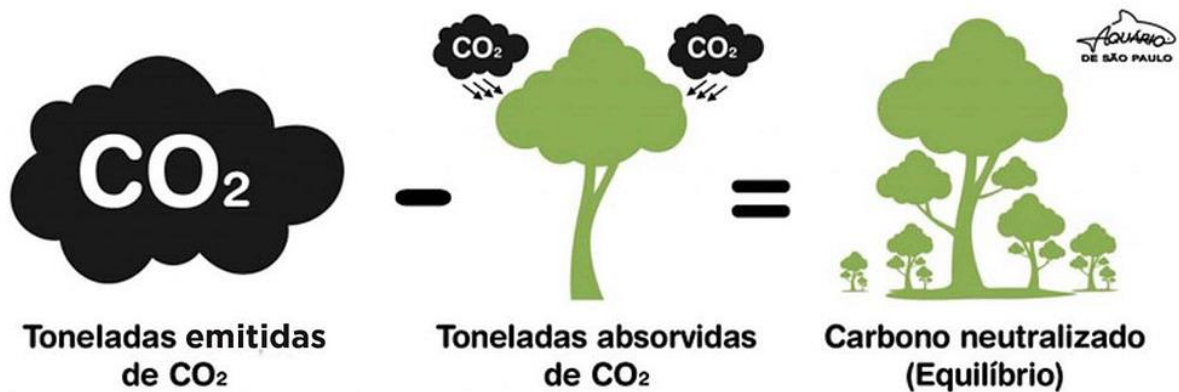
A madeira é uma forma de biomassa que armazena carbono atmosférico, captado por meio da fotossíntese durante o crescimento da árvore. O armazenamento de carbono em madeira é significativo para o balanço global de carbono e é uma consideração importante em questões relacionadas às mudanças climáticas e à gestão sustentável de florestas. (Shvidenko, *et al.*, 2011).

A quantidade de carbono armazenada na madeira pode variar dependendo da espécie de árvore, idade da floresta e práticas de manejo. Avaliações precisas do estoque de carbono em madeira são fundamentais para compreender o papel das florestas no ciclo global do carbono e para informar políticas de conservação e manejo florestal sustentável (Shvidenko, *et al.* 2011).

As florestas, quando manejadas de forma sustentável, podem contribuir para a redução do carbono atmosférico, atuando como sumidouros de carbono. Isso porque as florestas

plantadas neutralizam o carbono atmosférico por meio do processo de sequestro de carbono durante o crescimento das árvores (Figura 5). Durante a fotossíntese, as árvores absorvem dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera e, por meio de reações químicas, convertem esse carbono em compostos orgânicos, principalmente celulose, hemiceluloses e lignina. Por sua vez, esses compostos são armazenados na madeira, nos galhos e nas raízes das árvores. (Shvidenko, *et al.* 2011).

**Figura 5** - Ilustração de como as florestas neutralizam o carbono.



Fonte: Conaq (2021).

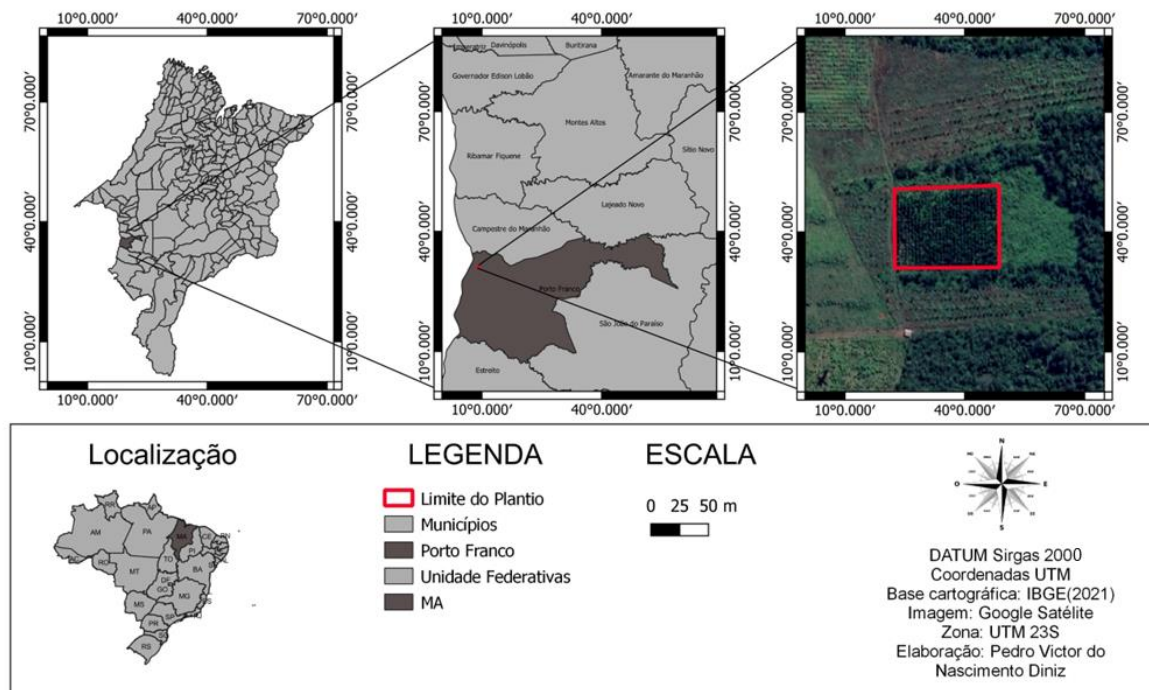
Quantificar o estoque de carbono presente nas florestas é uma ferramenta importante para a implementação de projetos de carbono e outras medidas para diminuir os impactos relacionados às alterações climáticas em nível mundial, e processos de compra de crédito de carbono (Kumar *et al.*, 2018). Assim, plantios mesmo que iniciais são importantes na dinâmica do carbono. Pesquisas que buscam avaliar o estoque de carbono em reflorestamentos são cruciais, especialmente para espécies não tradicionais, como o *K. grandifoliola*.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Origem do material biológico

O material biológico é oriundo de árvores de *K. grandifoliola* desbastadas em um plantio localizado na fazenda Jacuba (coordenadas geográficas: latitude 6°17'23.78"S; longitude 47°21'54,47"O; e altitude de 162 m), inserida no bioma Cerrado no município de Porto Franco, no Oeste do Estado do Maranhão (Figura 6).

**Figura 6** - Localização do plantio de *K. grandifoliola* no município de Porto Franco, Maranhão, Brasil.



**Fonte:** Autor (2024).

O clima da região é caracterizado como seco subúmido, com moderado excesso de água, possuindo tipologia climática C1A'w a'. 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. (Castro *et al.*, 2019).

O solo do sul do estado do maranhão é comum em grande maioria a predominância de Latossolo (mais de 50%) bem profundos, e acentuadamente drenados, de textura média e argilosa, sendo predominantemente distróficos, com elevada saturação de alumínio e teores de nutrientes muito baixos. As características fisiográficas da região são de origem comum, com coberturas areno-argilosas e argilosas (Costa *et al.*, 2005).

A região mesmo oferecendo baixa fertilidade natural ocasionada a gênese (formação) do solo e o intemperismo, e outros fatores climáticos que delimitam o padrão de distribuição hídrica da região, ainda assim o solo apresenta um ótimo potencial para agropecuária. Contudo, devido à baixa fertilidade e acidez elevada, tais solos são muito exigentes ao que se refere à corretivos e adubos químicos e orgânicos (Costa *et al.*, 2005).

#### 4.2 Informações do plantio e dados coletados

Os exemplares de *K. grandifoliola* C. DC. foram cultivadas em covas de 30 x 30 x 30 cm, com um espaçamento de três metros entre cada planta e três metros entre as linhas de plantio (3 x 3 m). A área total avaliada foi de 5.292 m<sup>2</sup>, equivalente a 0,5292 hectares, com dimensões de 84 x 63 m, dividida em 12 parcelas com dimensões de 21 x 21 m, totalizando 441 m<sup>2</sup>/parcela, contendo assim 49 árvores por parcela ou por unidade amostral.

O plantio consistia em 588 árvores com 4 anos de idade. Inicialmente, foi realizado um censo florestal que classificou as árvores em duas categorias diamétricas. Em seguida, foi efetuado um desbaste seletivo, removendo 210 árvores. A primeira classe diamétrica inclui árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) de 0 cm a 10 cm, enquanto a segunda classe compreende árvores com DAP entre 10,01 cm e 20 cm. Durante o censo, foram coletados dados sobre a altura total, a altura comercial e o diâmetro médio do plantio (Tabela 1).

**Tabela 1** – Censo Florestal

Classe Diamétrica	Ht (m)			Hc (m)			DAP (cm)		
	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média ± Desvio Padrão	Máximo
0 † 10	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 † 20	1,79	9,99 ± 2,16	14,6	2,2	5,22 ± 1,40	9,04	10	11,46 ± 1,39	17,7

Ht: Altura Total, Hc: Altura Comercial e DAP: Diâmetro Altura do Peito. **Fonte:** Carneiro, Diniz e Feitosa (2024).

\*Ver nota de rodapé

\*Os dados da tabela 1 foram obtidos no mesmo local e no mesmo período de coleta de Carneiro (2024) e Feitosa (2024). Assim, serviram também na realização deste trabalho de conclusão de curso.

Os materiais utilizados na coleta de dados foram: fita métrica para coleta de comprimento e da circunferência à altura do peito – CAP, que por seguinte foi transformada em DAP; plaquetas de identificação e tinta vermelha para demarcar as árvores que seriam desbastadas, motosserra para desbaste das árvores e confecção dos discos e toretes; sacos plásticos para armazenamento dos discos em cada posição longitudinal da madeira e materiais para anotações (Figura 7).

**Figura 7** - Materiais utilizados em campo: a) Fita métrica; b) Plaqueta de identificação; c) Motosserra; d) Sacos plásticos;

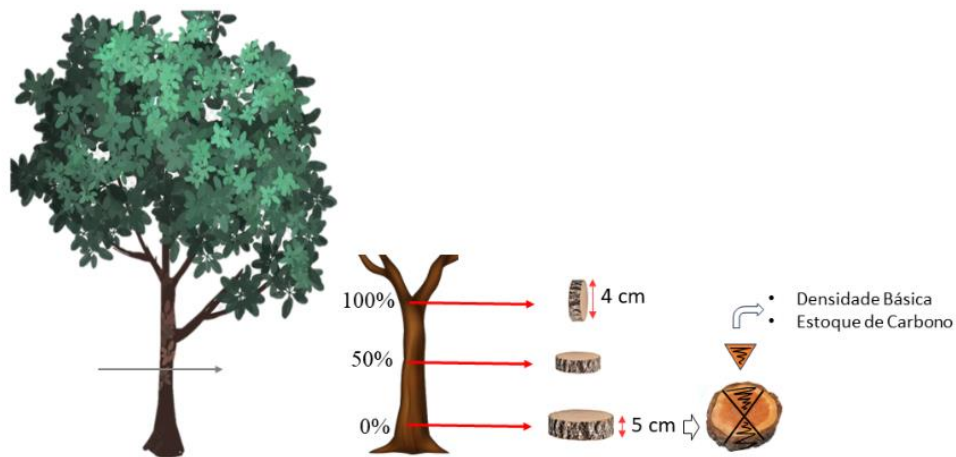


Fonte: Autor (2023).

### 4.3 Análises realizadas na madeira

Para cada classe diamétrica, foram selecionadas 6 árvores de *K. grandifoliola*, totalizando 12 árvores para as amostras. Discos com 5 cm de espessura foram retirados das árvores em três posições longitudinais: 0%, 50% e 100% da altura comercial, conforme ilustrado na Figura 8. A altura comercial foi definida até um diâmetro mínimo de 4,0 cm com casca, seguindo as recomendações de Downes *et al.* (1997).

**Figura 8** - Esquema de amostragem no sentido longitudinal do fuste de *K. grandifoliola*.



**Fonte:** Autor (2024).

Os discos retirados das árvores foram seccionados em quatro cunhas passando pela medula. Ao todo foram retiradas cunhas apostas de todas as posições de amostragem, sendo um total de 72 cunhas (Figura 9), 36 para cada classe.

**Figura 9** – Cunha dos discos de madeira de *K. grandifoliola*.



**Fonte:** Autor (2023).

Para a determinação da densidade básica da madeira, foram selecionadas as duas cunhas opostas de menor tamanho, conforme as diretrizes da norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

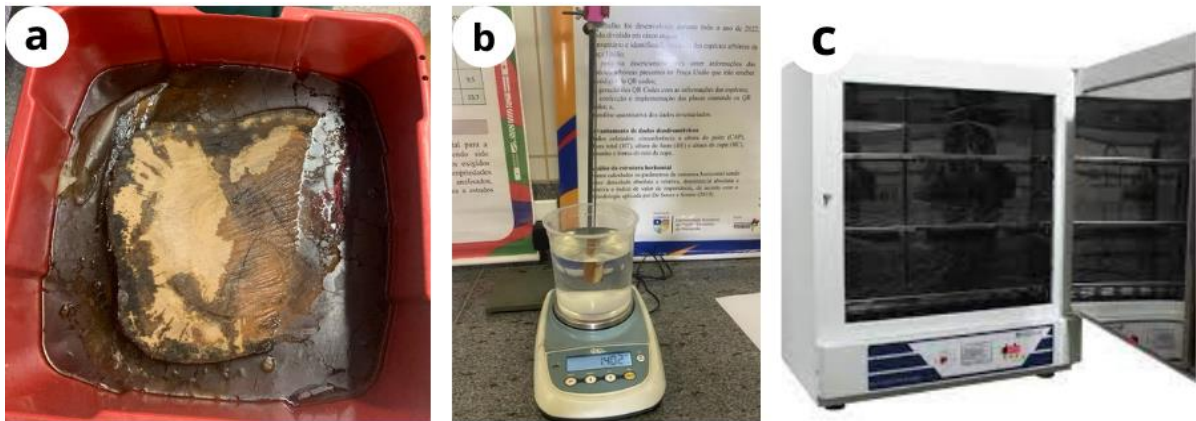
A densidade básica foi calculada utilizando o método de imersão para obter o volume saturado das cunhas. O procedimento envolveu a secagem das amostras em estufa a  $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  até que a massa se tornasse constante. Posteriormente, a massa seca de cada cunha foi medida

em uma balança de precisão Bel 0,01g, 2200g S2202H. A densidade básica foi então calculada conforme a Equação 1, levando em conta os três pontos de amostragem longitudinal ao longo do tronco das árvores.

$$Db = \frac{m^3}{m^2 - m^1} \quad (1)$$

Em que: Db é a densidade básica da madeira ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );  $m^3$  é a massa da amostra seca em estufa (g);  $m^2$  é a massa de recipiente com a cunha imersa (g);  $m^1$  é a massa do recipiente com água (g).

**Figura 10** - Procedimentos para determinação da densidade básica da madeira: a) Amostras submergidas em água para saturação; b) Pesagem na balança de precisão; c) Ilustração da estufa utilizada para secagem das cunhas.



Fonte: Autor (2023).

A estimativa do estoque de carbono foi realizada de maneira indireta, multiplicando a densidade básica pelo fator 0,5, com base na premissa de que metade da madeira é composta por carbono, conforme descrito por Soares e Oliveira (2002) e pelo pesquisador Luiz Marcelo Rossi (Embrapa, 2023). O estoque de carbono na madeira por unidade de volume (ECM) foi calculado tanto por posição longitudinal quanto por indivíduo, utilizando a Equação 2 para ambos os casos. Esse procedimento foi igualmente adotado por Protásio et al. (2013).

$$ECM = DB \times \frac{C}{100} \quad (2)$$

Em que, ECM é o estoque de carbono na madeira ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); DB é a densidade básica da posição longitudinal ou a média da espécie ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); e C é o teor de carbono médio da madeira (%).

#### **4.4 Análises estatísticas**

Foi utilizado 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.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) para avaliar o impacto da interação entre as posições de amostragem e a classe diamétrica. Para investigar o efeito da posição longitudinal de amostragem em cada indivíduo, foram ajustados dois modelos de regressão: um linear e um polinomial quadrático. Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, versão 4.4.1.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade Básica do Fuste de *K. grandifoliola*

Os valores médios de densidade básica do tronco das árvores de *K. grandifoliola*, cultivadas no bioma cerrado e com quatro anos de idade, oscilaram entre 0,406 e 0,474 g/cm<sup>3</sup>. A média geral para a espécie foi de 0,438 g/cm<sup>3</sup>, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** – Densidade Básica média do Fuste em g/cm<sup>3</sup> para árvores de *K. grandifoliola* cultivadas na região

Árvore	Densidade básica do Fuste (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,412
2	0,443
3	0,474
4	0,406
5	0,453
6	0,432
7	0,474
8	0,426
9	0,429
10	0,429
11	0,435
12	0,447
<b>Média</b>	0,438
<b>Desvio Padrão</b>	0,021

**Fonte:** Autor (2024).

Segundo Melo *et al.* (1990); Vale *et al.* (2002); Coradin *et al.* (2010); Silveira *et al.* (2013), são classificadas madeiras de baixa densidade aquelas que apresentam valores abaixo de 0,550 g/cm<sup>3</sup>, de média densidade aquelas com densidade da madeira entre 0,550 e 0,720 g/cm<sup>3</sup>, e madeiras pesadas ou de alta densidade aquelas com valores superiores a 0,730 g/cm<sup>3</sup>. Portanto, a densidade básica média do fuste em árvores de *K. grandifoliola* aos quatro anos, é considerada de baixa densidade.

Em um estudo realizado por Lima *et al.* (2019) foram selecionadas as espécies *K. senegalensis* e *K. ivorensis* coletadas na cidade de Garça-SP, Brasil, em típica área de argissolo vermelho – amarelo – textura arenosa, com condições climáticas subtropical úmido. A coleta foi realizada durante um desbaste seletivo em uma parcela de árvores com 7 anos de idade. Observou-se que os valores de densidade para as espécies *K. ivorensis* e *K. senegalensis* foram em média 0,453 g/cm<sup>3</sup> e 0,516 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Por meio da classificação de Marques

*et al.* (1997) *K. ivorensis* é considerada madeira leve, e *K. senegalensis* é considerada madeira de média densidade.

Silva (2011) analisou a madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 4 a 7 anos, originários de cultivos comerciais em Monte Dourado, PA. O estudo revelou que a densidade básica da madeira aumentou com a idade, variando de 0,510 g/cm<sup>3</sup> aos 4 anos para 0,604 g/cm<sup>3</sup> aos 7 anos, em função da maior quantidade de madeira adulta. Ambas as idades resultaram em madeiras classificadas como de média densidade, conforme Melo *et al.* (1990), Vale *et al.* (2002, 2005) e Silveira *et al.* (2013).

## 5.2 Variação Longitudinal da Densidade Básica da Madeira de *K. grandifoliola*

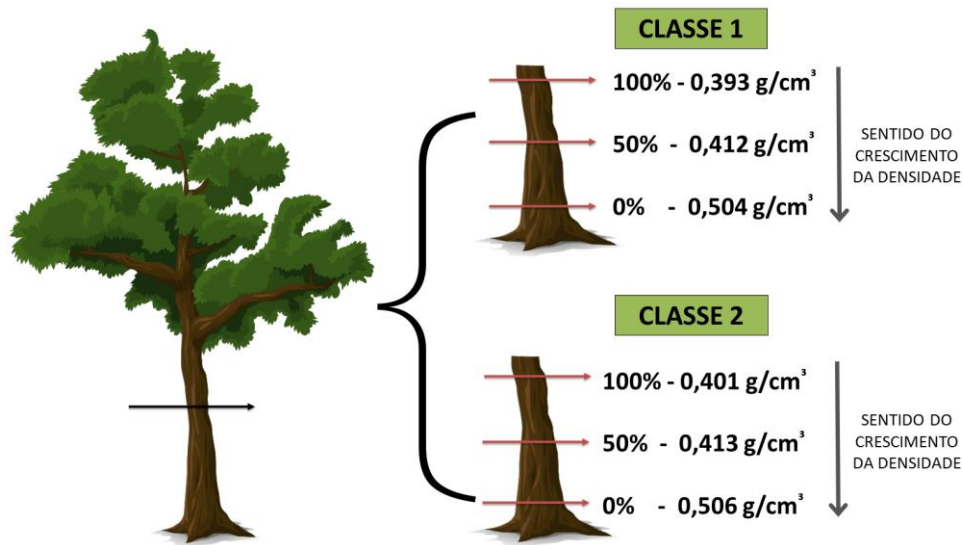
Os dados sobre a variação longitudinal da densidade básica de *K. grandifoliola* mostraram que, em duas classes de diâmetro, a densidade tende a aumentar gradualmente do topo para a base do tronco. Na classe de diâmetro entre 0-10 cm de DAP, a densidade básica varia de 0,392 g/cm<sup>3</sup> a 0,599 g/cm<sup>3</sup>, com uma média de 0,504 g/cm<sup>3</sup> na seção 0%, 0,412 g/cm<sup>3</sup> na seção 50% e 0,393 g/cm<sup>3</sup> na seção 100%. Esses resultados evidenciam que a densidade básica é menor no topo do tronco em comparação com as posições mais baixas.

Essa diferença ocorre devido à maior proporção de madeira juvenil no topo, que é menos densa do que a madeira adulta encontrada na base. Além disso, a formação de vasos e fibras varia ao longo do tronco; na base, a madeira é mais madura, com uma estrutura celular mais compacta e lignificada, resultando em maior densidade. No topo, o crescimento é mais rápido e as células são menos compactas, o que reduz a densidade. Esse padrão também reflete a função de suporte do tronco, onde a base precisa ser mais resistente para sustentar a árvore, enquanto o topo pode ser mais flexível.

Na segunda classe, com diâmetro variando de 10,01 a 20 cm de DAP, a densidade básica média foi de 0,506 g/cm<sup>3</sup> na seção 0%, de 0,413 g/cm<sup>3</sup> na seção 50% e de 0,401 g/cm<sup>3</sup> na seção 100%. Observou-se, novamente, um padrão de aumento na densidade básica da madeira de *K. grandifoliola* da base para o topo do tronco.

O padrão da variação da densidade básica das 12 árvores amostradas de *K. grandifoliola* foi decrescente, da posição 0% a 100% (Figura 11), indicando a base como a parte do fuste com maior valor médio de densidade básica.

**Figura 11** – Padrão decrescente da densidade básica da *K. grandifoliola* no sentido longitudinal do fuste.



Fonte: Autor (2024).

### 5.3 Variação do estoque de carbono da madeira de *K. grandifoliola*

Os valores médios de estoque de carbono das árvores de *K. grandifoliola* cultivadas no bioma cerrado, aos quatro anos, na posição 0% variou de 195,8 a 299,6 kg/m³, com a média de 252,69 kg/m³. Nas posições de amostragem 50 e 100%, a média foi de 206,53 e 198,49 kg/m³, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 3** – Estoque de carbono médio em kg/m<sup>3</sup> por posição longitudinal de amostragem para árvores de *K. grandifoliola* cultivadas na Região Tocantina do Maranhão.

Árvore	Estoque de Carbono (kg/m <sup>3</sup> )		
	0%	50%	100%
1	244,9	185,0	187,6
2	256,0	216,2	191,7
3	275,8	212,7	223,7
4	241,0	183,5	183,3
5	299,6	190,1	190,2
6	195,8	250,5	202,0
7	266,7	225,3	219,3
8	246,2	188,4	204,9
9	260,4	204,3	179,4
10	251,2	206,0	186,6
11	247,3	201,4	204,4
12	247,4	214,9	208,8
<b>Média</b>	252,69	206,53	198,49
<b>Desvio Padrão</b>	24,38	19,33	14,25

Fonte: Autor (2024).

Os testes realizados para analisar o efeito da classe diamétrica e da posição de amostragem na variação do estoque de carbono da madeira de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade revelaram, através do teste F (com  $p \leq 0,05$ ), que não existe interação significativa entre a classe diamétrica e a posição longitudinal. Apenas a posição de amostragem mostrou ter uma influência significativa na variação observada (Tabela 4).

**Tabela 4** – Análise de variância do estoque de carbono na madeira.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fcal	p-valor
Classe	1	32	31,7	0,0840	0,77783
Erro A	10	3777	377,7		
Posição de amostragem	2	20547	10273,4	22,7207	<b>0,00001</b>
Classe x Posição	2	24	11,8	0,0262	0,97418
Erro B	20	9043	452,2		
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>33422</b>			

GL: Grau liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; Fcal: F calculado. Fonte: Autor (2024).

Quanto ao padrão de variação longitudinal no estoque de carbono das árvores amostradas de *K. grandifoliola*, observou-se uma tendência decrescente (conforme apresentado na Tabela 5) ao longo da posição de 0% a 100%. Essa tendência indica que a base do fuste apresenta, em média, os valores mais elevados de estoque de carbono.

**Tabela 5** – Média de Estoque de Carbono por posição de amostragem

Posição	Estoque de carbono na madeira (kg/m <sup>3</sup> )
0	252,7
50	206,4
100	198,5
Total	<b>219,2</b>

**Fonte:** Autor (2024).

A análise da variação longitudinal do estoque de carbono em árvores de *K. grandifoliola* aos 4 anos de idade envolveu a avaliação de dois modelos de regressão, o modelo linear e o polinomial quadrático, conforme apresentado na Tabela 6.

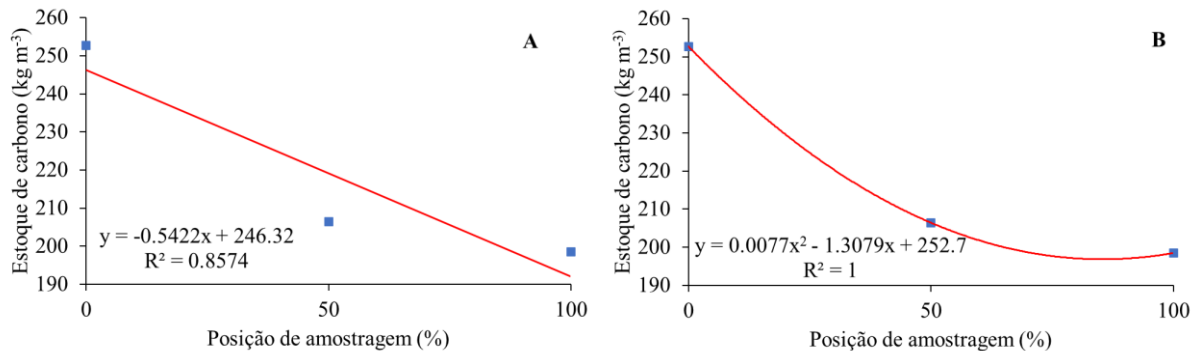
**Tabela 6** – Resumo das equações de regressão para estoque de carbono.

Equação	B0	B1	B2	R <sup>2</sup>
Linear	246,3222	-0,5420	-	0,8578
Polinomial quadrático	252,6917	-1,3063	0,0076	<b>1,0000</b>

**Fonte:** Autor (2024).

O comportamento do estoque de carbono no sentido longitudinal do fuste da *K. grandifoliola* foi explicado pelo modelo de regressão do tipo polinomial quadrático. Essa conclusão é respaldada pelo alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 1$ ), o qual está diretamente relacionado ao número de pontos de amostragem distribuídos ao longo do fuste. O  $R^2$  reportado indica que 100% da variação dos dados de estoque de carbono pode ser justificada pela precisão do modelo de regressão. A Figura 12 apresenta os modelos linear (a) e quadrático (b).

**Figura 12** – Modelos de regressão linear (a) e polinomial quadrático (b) para simular o comportamento do estoque de carbono em função das posições longitudinais de amostragem.



**Fonte:** Autor (2024).

O comportamento do estoque de carbono na madeira ao longo do tronco de *K. grandifoliola* em árvores de 4 anos pode ser explicado por diversos fatores. A concentração de recursos na base do tronco proporciona maior suporte e estabilidade, resultando em maior densidade e diâmetro nessa região, o que leva a um maior estoque de carbono. Em contraste, a madeira na parte superior do tronco é mais jovem e menos densa, armazenando menos carbono devido à sua menor densidade básica, o que resulta em uma menor massa de madeira e, conseqüentemente, em um menor estoque de carbono.

Essa dinâmica é confirmada pelo estudo de Lima *et al.* (2020), que investigou a variação da densidade básica e do estoque de carbono na madeira de 39 clones de *Eucalyptus* sp. aos 6 anos e 9 meses. O estudo revelou que a variabilidade longitudinal do estoque de carbono nos clones de *Eucalyptus* diminuiu da base até a posição de 10%, com um subsequente aumento em direção ao topo do tronco. Os valores médios registrados foram de 252,1 kg/m<sup>3</sup>, 244,9 kg/m<sup>3</sup>, 253,2 kg/m<sup>3</sup>, 256,9 kg/m<sup>3</sup> e 259,6 kg/m<sup>3</sup> para as posições de 2%, 10%, 30%, 50% e 75%, respectivamente.

Ao comparar os valores de estoque de carbono do presente estudo nas posições 0% (252,7 kg/m<sup>3</sup>), 50% (206,4 kg/m<sup>3</sup>) e 100% (198,5 kg/m<sup>3</sup>) para as árvores de *K. grandifoliola*, observa-se que há semelhança apenas na base com os dados reportados por Lima *et al.* (2020) para as madeiras tradicionais plantadas no Brasil. Essa discrepância ao longo do tronco pode ser atribuída à idade das árvores, uma vez que as árvores de *K. grandifoliola* têm apenas 4 anos. Com o avanço da idade, espera-se um aumento na biomassa e a formação de madeira adulta, resultando em maior acúmulo de carbono nas árvores devido aos processos naturais de fotossíntese e sequestro de carbono (Kumar *et al.*, 2022).

O estoque de carbono na madeira está diretamente associado à composição química da parede celular. A celulose e hemiceluloses são polissacarídeos que contêm carbono, e a lignina é um polímero complexo que também é composto por carbono. Assim, o quantitativo do estoque de carbono na madeira está associado ao percentual desses elementos estruturais da parede celular da madeira (Bastos, 2024). O maior entendimento do quantitativo de carbono pode ser possível com o estudo da composição química estrutural e elementar, bem como pela densidade básica da madeira.

Esses resultados não apenas fornecem informações valiosas sobre a distribuição do carbono nas árvores, mas também destacam a importância crucial do estoque de carbono em ecossistemas florestais. O carbono armazenado desempenha um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, atuando como um sumidouro eficaz de dióxido de carbono atmosférico (Bastos, 2024). A compreensão dos padrões de armazenamento de carbono é essencial para estratégias de manejo florestal sustentável, conservação da biodiversidade e formulação de políticas ambientais. Além de contribuir ambientalmente com as causas climáticas, o maior estoque de carbono pode resultar em maior quantidade de madeira, matéria prima de natureza sustentável que pode ser empregada para diversas finalidades e obtenção de vários produtos de base florestal, indicando benefícios econômicos (Kongsager *et al.*, 2013).

No entanto, é imperativo enfatizar a necessidade contínua de estudos semelhantes em diferentes contextos e espécies. A carência de estudos abordando a variação longitudinal do estoque de carbono no mogno africano e em outras espécies representa uma lacuna significativa para compreensão dos processos de armazenamento de carbono em diferentes ecossistemas florestais. Estudos com madeiras de árvores mais velhas (>4 anos) e quantificação do teor de carbono na madeira de *K. grandifoliola* em condições de laboratório, pode representar avanço significativo, especialmente na Região Tocantina do Maranhão.

## 6 CONCLUSÃO

A madeira de *K. grandifoliola* apresenta uma densidade básica que não é afetada pela classe diamétrica, sendo caracterizada como madeira de baixa densidade básica, com média de 0,438 g/cm<sup>3</sup>. Identificou-se uma influência significativa da posição de amostragem na densidade básica, revelando um padrão de variação decrescente da base para o topo.

A mesma análise pode ser vista para o estoque de carbono na madeira com variações significativas entre as diferentes posições das árvores. Observou-se uma tendência decrescente indicando que a base do fuste apresenta, em média, os valores mais elevados de estoque de carbono.

Considerando os resultados obtidos, pode-se ressaltar que há necessidade contínua de estudos semelhantes em diferentes contextos e espécies. A carência de estudos abordando a variação longitudinal do estoque de carbono na *K. grandifoliola* e em outras espécies representa uma lacuna significativa em nossa compreensão dos processos de armazenamento de carbono.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, C. J.; E VILCAHUAMAN L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo - PR: Embrapa Florestas, 2002.
- ALMEIDA, E.M. CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L.f.) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010.
- AQUINO, S. M.; PINHEIRO, A. L.; AQUINO JR, H. M.; AQUINO, W. M.; BRITO, R.; PINHEIRO, D. T.; COUTO, L. **Mogno africano - Produção de madeira nobre no Brasil**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Florestas, 2018. 92p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MOGNO AFRICANO – **ABPMA**. Dr Ulrich Gaël e a *Khaya grandifoliola* no Brasil. Belo Horizonte: ABPMA, 2020. 21p.
- ABDALLA, L. S. BARREIRA NETO, A. J.; FONSECA, K. T. Análise da dinâmica da cobertura vegetal e estocagem de carbono pelo modelo das Cadeias de Markov. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BRASIL. **Instrução normativa nº7, de 22 de agosto de 2003**. Dos planos de manejo florestal sustentável que contemplem a exploração da espécie mogno (*swietenia macrophylla* king). Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0007-220803.PDF>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- BRITO, A. S. **Caracterização da madeira e da casca de árvores de *Khaya grandifoliola* C. DC. para usos múltiplos**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.
- BASTOS, Bruna Maria da Silva. **Estoque de carbono na madeira de diferentes densidades básicas em área de manejo florestal na Amazônia**. Orientadora: Dra. Gracialda Costa Ferreira. 2024. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2213>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- BORGES, R. A. *et al.* Estoque de carbono em área de pastagem em restauração com espécies do bioma Mata Atlântica no Litoral do Paraná. **Floresta**, v. 48, n. 2, p.183-194, 2017.
- BAESSO *et al.* **Balanco de Carbono em Floresta de Eucalipto**. Disponível em: <http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/39392666.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- CJB - Conservatoire Et Jardin Botaniques De La Ville De Genève And South African National Biodiversity Institute. **African plant database**. Pretoria, [2012].
- CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. **Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres**

**gerais e macroscópicos.** 2010. Disponível em:

[https://keys.lucidcentral.org/keys/v4/madeiras\\_comerciais\\_do\\_brasil/index\\_pt.html](https://keys.lucidcentral.org/keys/v4/madeiras_comerciais_do_brasil/index_pt.html). Acesso em: 10 fev. 2024.

CAMPOS, N. P. **Utilização da madeira de desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev para fabricação de painel colado lateralmente (EGP).** 2020. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

CALDEIRA, M. V. W. SCHUMACHER, M. V.; BARICHELO, L. R.; VOGEL, H. L. M. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild plantados no Rio Grande do Sul. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 47-54, 2003.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, v. 16, p. 106-114, 2010.

COSTA, K. S. P; COSTA, H. O. S; SOUSA, C. J. S. **Contribuição ao conhecimento hidrogeológico da região sul: Porto Franco – MA.** 2005.

CASTRO, A. T. R. P. **Zama – zoneamento agropecuário do estado do maranhão.** Relatório final, **Governo do Estado do Maranhão**, 2019.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série técnica, 10).

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of tropical ecology**, v. 14, n. 3, p. 263-283, 1998.

DEBASTIANI, A. B. **Integração de dados de sensoriamento remoto para a estimativa de área basal, volume e biomassa em ecossistemas florestais.** 125 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

DILLY, B. **Florestas da região Sul auxiliam no estoque de carbono.** 2021. Disponível em: <https://www.jornalvs.com.br/noticias/florestas-da-regiao-sul-auxiliam-no-estoque-de-carbono.html>. Acesso em 19 fev. 2024.

DOWNES, G. M. Hudson, I. L. Raymond, C. A., Dean, G. H. Michell, A. JSchimleck, R. (1997). **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties.** Hobart: CSIRO. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/9780643105287>. Acesso em: 13 dez. 2023.

EMBRAPA. **O Brasil passa a contabilizar carbono de produtos florestais madeireiros,** 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78579811/brasil-passa-a-contabilizar-carbono-de-produtos-florestais-madeireiros>. Acesso em: 14 ago. 2024.

FRANÇA, T. S. F. A.; ANDRADE, J. K. B.; FRANÇA, F. J. N.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B. Evaluation of shear strength and wood failure of two african mahogany species planted in Brazil. **Forest Products Journal**, v. 68, n. 4, p. 430-435, 2018.

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno-africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.

FRANÇA, T. S. F. A.; FRANÇA, F. J. N.; ARANGO, R. A.; WOODHARD, B. M.; ARANTES, M. D. C. Natural resistance of plantation grown African mahogany (*Khaya ivorensis* and *Khaya senegalensis*) from Brazil to wood-rot fungi and subterranean termites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 107, p. 88-91, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controles. **Acta Amazonia. Manaus**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2013.

FRANÇA, T. S. F. A. **Características tecnológicas da madeira de duas espécies de mogno africano (*Khaya Ivorensis* A. Chev E *Khaya Senegalensis* (Desr.) A. Juss)**. Jerônimo Monteiro – ES, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Dissertação, 2014, 105p.

FILHO, F. L. C; GOMES, E. R; NUNES, O. O; FILHO, J. B. L. F. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Porto Franco. **CPRM – Serviço Geológico do Brasil**, 2011. 31p.

GBAGUIDI AISSE, G.; ZOHOUN, S.; KOUCHADE, A. C. **Comparative study of the main technological characteristics of wood of two species of Beninese origin: *Khaya senegalensis* and *Khaya grandifoliola***. 2008.

GÉRARD, J.; GUIBAL, D.; PARADIS, S. CERRE, J. C. **Tropical Timber Atlas: technological characteristics and uses**. Versailles: Éditions Quæ. 2017. 1002p.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: Seminário Emissão X Sequestro De Co2 – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 38–76.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR, J. A. Fitomassa e conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia. **Anais...** Seminário “Emissão x Sequestro de CO2 – Uma nova oportunidade para o Brasil”, p.127-153, 1994.

IPCC - **Intergovernmental Panel on Climate Changes**. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Disponível em: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Acesso em: 08 dez. 2023

IBÁ - **Indústria Brasileira de Árvores**. Relatório Anual de Florestas Plantadas, 2023. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

KONGSAGER, R., NAPIER, J., & MERTZ, O. (2013). The carbon sequestration potential of tree crop plantations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 18, 1197-1213. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9417-z>. Acesso em: 10 jul. 2024.

KUMAR, M. *et al.* Carbon dioxide capture, storage and production of biofuel and biomaterials by bacteria: a review. **Bioresource Technol**, v. 247, n. 960, p. 1059-1068, 2018.

LIMA, M. D. R. BARROS JUNIOR, U. O., ASSIS, M. R., MELO, I. C. N. A., FIGUEIREDO, I. C. R., PROTÁSIO, T. P., & TRUGILHO, P. F. (2020). Variabilidade das densidades básica e energética e estoque de carbono na madeira no fuste de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, 48(128), e3302. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.04>. Acesso em: 10 jun. 2024.

LEITE, E. R. S., PROTÁSIO, T. P., Rosado, S. C. S TRUGILHO, P. F. VALLE, M. L. A., & SIQUEIRA, H. F. (2015). Composição química elementar da madeira e do carvão vegetal de *Coffea arábica* para uso bioenergético. **Coffee Science**, 10(4), 537-547.

LIMA, F. C. C.; SEVERO, E. T. D. CALONEGO, F.; CIRIELLO, V.; & CIRIELLO, E. (2019). Determinação da massa específica básica e índice de rachadura de toras das espécies *Khaya senegalensis* (mogno africano), *Khaya ivorensis* (mogno africano) e *Calophyllum brasiliense* (guanandi). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal da FAEF**, 33(1), 17-27.

MOREIRA, G.SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000.

MORAES, M. D. A.; SILVA, M. F.; BARBOSA, P. V. G.; MARQUES, R.; SILVA, R. T.; SETTE JUNIOR, C. R. Characterization of *Khaya ivorensis* (A. Chev) biomass, charcoal and briquettes. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 34-44, 2019.

MARQUES, M. H. B.; MELO, J. E.; MARTINS, V. A. **Madeira da Amazônia: características e utilização**. Brasília: IBAMA, 1997. 141p

MEDEIROS NETO, P. N.; PAES, J. B.; SILVA, J. G. M. Efeito do teor de umidade na determinação do módulo de elasticidade da madeira por técnica não destrutiva. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 917-924, 2016.

MARQUES, M. H. B.; MELO, J. E.; MARTINS, V. A. **Madeiras da Amazônia: Características e utilizações**. Brasília, IBAMA, 1997.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1990. v. 3. p. 695-705.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011. DOI: 10.5039/agraria.v6i1a1080. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237023256\\_Variacao\\_axial\\_da\\_densidade\\_basica\\_da\\_madeira\\_de\\_tres\\_especies\\_de\\_gimnospermas](https://www.researchgate.net/publication/237023256_Variacao_axial_da_densidade_basica_da_madeira_de_tres_especies_de_gimnospermas). Acesso em: 19 fev. 2024.

NABUURS, G. J., Maser, O., Andrasko, K., Benitez-Ponce, P., Boer, R., Dutschke, M., ... & Martino, D. (2007). Forestry. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 541-584). Cambridge University Press.

NOGUEIRA, Mariana de Oliveira Gonçalves. **Estoque De Carbono Na Biomassa Radicular E No Solo Em Ecossistema Florestal Em Processo De Recuperação**. 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1146>. Acesso em: 16 dez. 2023.

OVERMAN, J. P. M; WITTE, H. J. L. SALDARRIAGA, J. G. 1994. **Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazonia rainforest**. *Forest Ecology and Management*, v.10: 207-218.

OPUNI-FRIMPONG, E. et al. **Silvicultural systems for plantation mahogany in Africa: Influences of canopy shade on tree growth and pest damage**. *Forest Ecology and Management*, v. 255, n. 2, p. 328–333, 2008.

PRACIAK, A.; PASIECZNIK, N.; SHEIL, D. VAN HEIST, M. SASSEN, M. CORREIA, C. S.; DIXON, C.; FYSON, G.; RUSHFORD, K.; TEELING, C. (Ed.) **The CABI encyclopedia of forest trees**. Oxfordshire: CABI, 2013. 523 p.

PAN, Y. Birdsey, RA , FANG, J. , HOUGHTON, R. , KAUPPI, PE , KURZ, WA , PHILLIPS, OL , SHVIDENKO, A. , *et al.* (2011). Um grande e persistente sumidouro de carbono nas florestas do mundo. *Ciência* **333** (6045) 988-993. Disponível em: 10.1126/ciência.1201609. Acesso em: 15 jun.2024.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya spp.*)**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PAYN, T.; CARNUS, J. M; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **For. Eco. Manage.** v. 352, p.57-67, 2015.

PROTÁSIO, T. P., COUTO, A. M., Reis, A. A., & TRUGILHO, P. F. (2013). Seleção de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e Rheys Princy Multivariadas. **Scientia Forestalis**, 41, 15-28.

RIO Mariano *et al.* Determinação de Características Químicas e Físicas De Mogno Africano (*Khaya Ivorensis*). In: Anais Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia Da Madeira, 2017, **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem/trabalhos/determinacao-de-caracteristicas-quimicas-e-fisicas-de-mogno-africano-khaya-ivore?lang=pt-br>. Acesso em: 21 fev. 2024.

RAVINDRANATH, N.H. and OSTWALD, M. 2008. Carbon inventory methods – handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. **Advances in Global Change Research**, New York, v.29, p. 1- 304.

RIBEIRO, A. FERRAZ FILHO, A. C.; OLIVEIRA, H. B. **Usos, importância econômica e perspectivas de mercado**. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): Atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 50-73.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono florestal: uma experiência concreta**. 2.ed. Palmas: Instituto Ecologia, 2001.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F. SCOLFORO, J. R. S. **African Mahogany (*Khaya spp.*) cultivation and the increase of the activity in Brazil**. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 504–508, 2017.

SHVIDENKO, A.; BARBER, C.V.; PERSSON, R. Forest and woodland systems. In.: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Island Press: Millenium **Ecosystem Assessment Series**. v. 1. Chapter 21, 2011.

SORANSO, D. R.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA, J. G. M.; ARANTES, M. D. C. Variabilidade física e anatômica da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 519-26, 2016.

SEDJO, R.A. **Forest carbon sequestration: some issues for forest investments**. Washington: Resources for the future, 2001. 26p. Discussion Paper 01-34.

- SORANSO, D. R.; VIDAURRE, G. B.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. G. M.; LATORRACA, J. V. F. Radial growth dynamics of *Khaya ivorensis* trees from experimental plantation. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, e420207, 2018.
- SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007. 46 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.
- SANTOS, L. H. O.; ALEXANDRE, F. S.; MENDOZA, Z. M. S. H.; SOUZA, E. C.; BORGES, P. H. M.; MARIANO, R. R.; DIAZ, 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.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 534-539, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000500002>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: Técnica de regressão aplicada para estimar volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 292p.
- SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p.179 – 184, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/NGSVtngTkgZ4DssRyRpTsPB/?lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- SILVA, Marileide Gomes da. **Produtividade, idade e qualidade de madeira de Eucalyptus destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- TEIXEIRA, L. M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra firme na região de Manaus**. 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2003.
- 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*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 249-259, 2017.
- VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010. 230p.
- VALE, A. T. BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

WHITEMAN, A. Global trends and outlook for forest resources. In: FENNING, T. (Ed.). **Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century**. 1 st ed, Springer, New York, 2014.

YOGESH, KUMAR., ANITA, THAKUR., TARUN, KUMAR, THAKUR. (2021). Impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity of Agroforestry system. **Ecology, Environment and Conservation**, v. 28, n. 4, p. 1844-1850, 2022.