



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

LEONARDO SOUSA ARAÚJO

**TEOR DE CARBONO ESTOCADO EM PLANTIOS *Khaya grandifoliola*
DE ORIGEM SEMINAL E CLONAL**

Imperatriz - MA
2022

LEONARDO SOUSA ARAÚJO

**TEOR DE CARBONO ESTOCADO EM PLANTIOS *Khaya grandifoliola*
DE ORIGEM SEMINAL E CLONAL**

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. Rodrigo de Sousa Oliveira

Imperatriz - MA
2022

A663t

Araújo, Leonardo Sousa

Teor de carbono estocado em plantios *khaya grandifoliola* de origem seminal e clonal. / Leonardo Sousa Araújo. – Imperatriz, MA, 2022.

34 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1.Mogno africano. 2.Silvicultura clonal. 3.Estocagem de carbono.
4.Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 674.031.746.413:602.7(812.1)

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

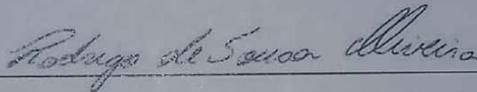
LEONARDO SOUSA ARAÚJO

**TEOR DE CARBONO ESTOCADO EM PLANTIOS *Khaya grandifoliola*
DE ORIGEM SEMINAL E CLONAL**

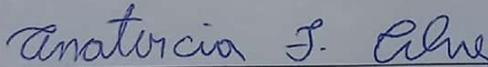
Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, pelo Centro de Ciências Agrárias, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 16 /07/2022

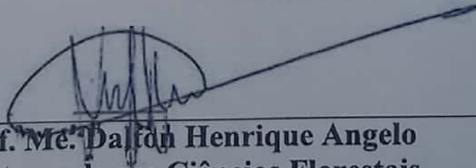
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo de Sousa Oliveira
Doutor em Melhoramento Genético de Plantas
(Orientador)



Prof. Dra. Anatórcia Ferreira Alves
Doutora em Melhoramento Genético de Plantas
(Membro)



Prof. Msc. Dalton Henrique Angelo
Doutorando em Ciências Florestais
(Membro)

RESUMO

A grande demanda mundial por produtos de origem florestal, principalmente por madeira, estimula a produção e o corte de árvores de importância econômica, provocando assim, o aumento da exploração de madeira das florestas naturais. Desse modo, os plantios comerciais de floresta são uma alternativa para a redução do desmatamento ilegal de áreas nativas. Dentre as espécies que vêm sendo cada vez mais utilizadas por reflorestadores no Brasil, destaca-se *Khaya grandifoliola*, conhecido popularmente como mogno-africano. Neste cenário, observa-se diversas iniciativas do setor público, privado e por produtores, em todo o País, buscando e o desenvolvimento de informações silviculturais sobre o mogno-africano (*Khaya* spp.). Atualmente, as mudanças climáticas que afetam todo o planeta, são um dos maiores problemas da humanidade. Esse processo se iniciou a partir do século XIX, com a Revolução Industrial e o aumento do uso de combustíveis fósseis e dessa forma houve um aumento considerável no lançamento de gases causadores do efeito estufa na atmosfera. As florestas, se destacam, dentre outros fatores pela retirada de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e sua estocagem na forma de biomassa vegetal durante o processo fotossintético, minimizando a concentração de CO₂ atmosférico, reduzindo o efeito estufa. Os efeitos da captura do carbono atmosférico pelas árvores podem ser quantificados através da estimativa de biomassa lenhosa, das raízes, das folhas e pela quantidade de CO₂ absorvido durante a fotossíntese. A proporção da distribuição dessa biomassa não é constante para todos os indivíduos, ainda que pertencentes à mesma espécie. Tal variação se deve a fatores como características genéticas, idade e condições do ambiente. A quantidade de carbono armazenada depende do total de biomassa, ou seja, quanto maior a quantidade de biomassa mais carbono estocado.

Palavra-chave: Madeira nobre. Carbono. Protocolo de Kyoto. Amazônia.

ABSTRACT

The great world demand for products of forest origin, mainly for wood, stimulates the production and the cutting of trees of economic importance, thus causing an increase in the exploitation of wood from natural forests. In this way, commercial forest plantations are an alternative for reducing illegal deforestation of native areas. Among the species that have been increasingly used by reforesters in Brazil, *Khaya grandifoliola* stands out, popularly known as African mahogany. In this scenario, there are several initiatives by the public, private and producers throughout the country, seeking and developing silvicultural information on African mahogany (*Khaya* spp.). Currently, climate change that affects the entire planet is one of humanity's biggest problems. This process began in the 19th century, with the Industrial Revolution and the increase in the use of fossil fuels, and thus there was a considerable increase in the release of greenhouse gases into the atmosphere. Forests stand out, among other factors, for the removal of carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere and its storage in the form of plant biomass during the photosynthetic process, minimizing the concentration of atmospheric CO₂, reducing the greenhouse effect. The effects of atmospheric carbon capture by trees can be quantified by estimating woody biomass, roots, leaves and the amount of CO₂ absorbed during photosynthesis. The proportion of the distribution of this biomass is not constant for all individuals, even if they belong to the same species. Such variation is due to factors such as genetic characteristics, age and environmental conditions. The amount of carbon stored depends on the total biomass, that is, the greater the amount of biomass, the more carbon stored.

Keyword: Hardwood. Carbon. Kyoto Protocol. Amazon.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1 Mogno Africano	10
3.2 Carbono e Biomassa	11
3.2.1 Método direto	13
3.3.2 Métodos indiretos	13
4 METODOLOGIA.....	15
4.1 Instalação do teste clonal	15
4.2 Local do estudo	15
4.3 Preparo do solo e a instalação dos experimentos.....	16
4.4 Demarcação das parcelas.....	16
4.5 Mensuração das árvores	19
4.6 Estimativas de biomassa	20
4.7 Análises dos dados	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Sobrevivência	22
5.2 Alturas Total e de Fuste	22
5.3 Diâmetro a Altura do Peito (DAP).....	23
5.4 Volume médio por hectare.....	25
5.5 Distribuição Diamétrica	26
5.6 Estoque de carbono	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda mundial por produtos de origem florestal, principalmente de madeira, estimula a produção e o corte de árvores de importância econômica em todo o mundo. A exploração de madeira de florestas naturais tem causado degradação em diversos biomas e ecossistemas, aumentando o risco de extinção, não só de espécies florestais exploradas, mas de várias outras que sofrem com a degradação de seu habitat (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 uma alternativa para reduzir o desmatamento ilegal de áreas nativas.

Atualmente, as mudanças climáticas que afetam todo o planeta, são um dos maiores problemas da humanidade. Esse processo se iniciou a partir do século XIX, com a Revolução Industrial e o aumento do uso de combustíveis fósseis e dessa forma houve um aumento considerável no lançamento de gases causadores do efeito estufa na atmosfera (ABDALLA *et al.*, 2011). As florestas, se destacam, dentre outros fatores pela retirada de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e sua estocagem na forma de biomassa vegetal durante o processo fotossintético, minimizando a concentração de CO₂ atmosférico, reduzindo o efeito estufa (FEARNSIDE *et al.*, 2013).

Os efeitos da captura do carbono atmosférico pelas árvores podem ser quantificados através da estimativa de biomassa lenhosa, das raízes, das folhas e pela quantidade de CO₂ absorvido durante a fotossíntese (MUNEROLI, 2009). A proporção da distribuição dessa biomassa não é constante para todos os indivíduos, ainda que pertencentes à mesma espécie. Tal variação se deve a 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).

As estimativas de biomassa encontradas na literatura provêm de métodos diretos e indiretos (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008). O método direto consiste na derrubada e pesagem das árvores, enquanto o método indireto utiliza estimativas provenientes de inventários, onde o volume da madeira é a variável principal (HIGUCHI *et al.*, 1998). O método indireto é considerado uma estimativa (HIGUCHI; CARVALHO JR, 1994) e recorre a modelos

matemáticos utilizando dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht), relacionando o volume de madeira, biomassa e carbono acumulado (TEIXEIRA, 2003). O DAP possui uma correlação positiva e significativa com o peso da árvore e com o carbono estocado (SILVA, 2007).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a produtividade de árvores de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) de origem clonal e o carbono estocado nelas no município de Araguaína - TO.

2.2 Objetivos Específicos

Comparar o desempenho diferentes tipos de clones de mogno africano;

Avaliar o impacto do uso dessa espécie no mercado de carbono;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mogno Africano

A espécie *Khaya grandifoliola* C. DC., juntamente com *K. anthotheca* A. Juss., *K. ivorensis* A. Chev. e *K. senegalensis* A. Juss., são denominados no Brasil como Mogno Africano, devido à sua origem em países deste continente. Essas espécies pertencem à família Meliaceae, que são conhecidas mundialmente por apresentarem características desejáveis quanto à qualidade da madeira de alto valor agregado, com excelentes características tecnológicas e grande potencial para usos múltiplos (PINHEIRO *et al.*, 2011).

Em 1976, os primeiros cinco exemplares de *K. grandifoliola* foram plantados na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na Amazônia Oriental, em Belém, estado do Pará (FALESI; BAENA, 1999). O interesse pelo gênero *Khaya* se deve a características como o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), que possui proibição legal de exploração e comercialização de madeira de mogno brasileiro através dos decretos federais nº 3.559/00, 4.335/02 e 4.593/03. (REIS *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2017).

A espécie *K. grandifoliola* tem sido cada vez mais utilizada por silvicultores no Brasil, devido à facilidade de produção de mudas, boa adaptação, rápido crescimento e alto valor econômico da madeira no mercado internacional (FALESI; BAENA, 1999; RIBEIRO *et al.*, 2017; REIS *et al.*, 2019). Em geral, as árvores de *K. grandifoliola* atingem grandes dimensões, com altura variando de 30 a 35 metros, podendo atingir uma altura superior a 60 metros, o tronco pode chegar a 2 metros de diâmetro e geralmente possuem sapopemas na base, para garantir a sustentação (RIBEIRO *et al.*, 2017).

Existem poucos estudos publicados sobre os resultados silviculturais para esta cultura, relacionados ao crescimento, produtividade, análise econômica, e outros que forneçam aos gestores e investidores florestais informações suficientes para a tomada de decisão sobre o manejo da espécie.

As espécies do gênero *Khaya* caracterizam-se por possuir alta durabilidade natural, fácil processamento e secagem da madeira, além de possuir extraordinário valor no mercado internacional. A madeira de mogno africano, devido às suas características tecnológicas e beleza, é amplamente utilizada na indústria moveleira, naval e na sofisticada construção de interiores (OPUNI-FRIMPONG *et al.*, 2008).

O excelente preço alcançado por sua madeira, cotado entre € 886,00 a € 1.160,00 por m³ serrado (ITTO, 2021), associado à sua produtividade, precocidade, rusticidade e resistência ao ataque da broca do mogno brasileiro (*Hypsipyla grandella* Zeller), tem despertado o interesse de empresários do setor madeireiro, bem como de investidores (COUTO *et al.*, 2004; REIS *et al.*, 2019; FERRAZ FILHO *et al.*, 2021).

O mogno africano é uma das espécies exóticas que vem se destacando por apresentar características que permitem bom desenvolvimento em climas úmidos, bem como boa adaptação em regiões de clima subtropical. Por isso, entre as espécies exóticas do Brasil, o mogno africano é o que mais cresce no Cerrado. No local de origem, as espécies do gênero *Khaya* estão distribuídas em diferentes condições climáticas, ecológicas e edáficas (DANQUAH *et al.*, 2011). mas em menor grau. Esses plantios estão distribuídos nas regiões Sudeste (50%), Centro-Oeste (25%), Norte (13%), Nordeste (6%) e Sul (6%) do Brasil, e a maioria tem menos de 10 anos. (FERRAZ FILHO *et al.*, 2021).

Até 2019, a espécie *K. grandifoliola* era classificada como *K. ivorensis*, devido às semelhanças botânicas e propriedades anatômicas da madeira (OLIVEIRA; FRANCA, 2020). Recentemente, pesquisadores identificaram a falha na identificação, após encontrarem diferenças morfológicas (FILHO *et al.*, 2021).

O estabelecimento de plantios florestais comerciais, com a finalidade de produzir madeira nobre, tem crescido consideravelmente nos últimos anos no Brasil (SANTOS *et al.*, 2019). Nesse cenário, existem diversas iniciativas dos setores público, privado e produtor, em todo o país, para a busca e desenvolvimento de informações silviculturais sobre o mogno africano (*Khaya* spp.), seja em monoculturas ou em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (FALESI; BAENA, 1999; REIS *et al.*, 2019).

3.2 Carbono e Biomassa

A história das estimativas de biomassa não trata apenas de números e métodos, mas também da história da percepção da natureza pelos cientistas, tendo grande paralelo com a história da ecologia em geral. Consiste em um parâmetro chave na caracterização de ecossistemas, pois reflete a capacidade da vegetação, em um dado período, em acumular matéria orgânica (OVERMAN *et al.*, 1994; SOMOGYI *et al.*, 2006). Pode ser definida como a quantidade de um material vegetal expressa em unidade de massa por unidade de área florestal (ARAÚJO *et al.*, 1999).

A biomassa é uma informação imprescindível nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima (HIGUCHI *et al.*, 1998). É utilizada no cálculo de impactos florestais antrópicos e naturais e no entendimento de processos ecológicos, como a ciclagem e a dinâmica da floresta e de seus nutrientes. É obtida também para fins de produção de celulose e carvão (SCOLFORO, 1996; CAMPOS; LEITE, 2006). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) define que a fitomassa (biomassa vegetal) deve ser estimada separadamente, considerando os seguintes componentes: (1) viva acima do solo; (2) viva abaixo do solo (raízes maiores que 2 mm) e (3) necromassa (IPCC 2006).

Nas últimas décadas, o estoque de carbono contido na fitomassa tem recebido atenção especial graças aos acordos internacionais Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima (UNFCCC) e o Protocolo de Kyoto. Sob esses acordos, os países devem reportar suas emissões de CO₂ (SOMOGYI *et al.*, 2006). O inventário brasileiro mostrou que as atividades relacionadas às mudanças de uso terra, tais como agricultura e pecuária principalmente na Amazônia, representando cerca de 80% do total das emissões, são as que mais contribuem com as emissões de dióxido de carbono (TEIXEIRA *et al.*, 2006).

Em escala global, o desflorestamento é a segunda maior fonte de gases de efeito estufa (GEEs), representando de 20% a 25% das emissões (MOUTINHO; SCHWARTZMAN, 2005). Por esse motivo, após 2012, o pagamento pela manutenção das florestas em pé entrará como um dos mecanismos de redução das emissões do Protocolo de Kyoto. Esse mecanismo é atualmente conhecido por REDD, que significa a redução das emissões por desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento. Esta proposta foi originalmente feita em 2005 pela Coalizão das Nações de Florestas Tropicais.

A Coalizão sugeriu na COP11, no Canadá, a compensação a países que reduzam seus níveis de desmatamentos. O maior desafio do REDD é a questão metodológica. Não há como estimar os estoques se não houver alometria local e um sistema de inventário florestal contínuo. Para o estado do Amazonas já existe uma rede de parcelas permanentes instaladas pelo Laboratório de Manejo Florestal do INPA e equações desenvolvidas para a região central e oriental do Estado. Além disso, a equação de Silva (2007) e Araújo *et al.* (1999) são corrigidas utilizando-se um fator de correção que utiliza a altura dominante (média das alturas de 20% das árvores mais grossas) para as áreas de inventário florestal em que não haja alometria local.

Para Gibbs *et al.* (2007) a aceitação e implementação do REDD requiere resoluções de desafios científicos, como por exemplo, fazer estimativas de emissão de carbono por desmatamento em escala nacional. Existem diversas estimativas de biomassa e carbono que

divergem em valores e em metodologias. Houghton *et al.* (2000) concluíram que 60% das incertezas relacionadas às estimativas do fluxo de carbono na floresta amazônica resultam dessas divergências. Essas são provenientes, principalmente, dos diferentes métodos utilizados na sua obtenção. Os métodos utilizados no cálculo de biomassa são o direto e o indireto, discutidos a seguir.

3.2.1 Método direto

O método direto constitui na derrubada e pesagem de todas as árvores e outros componentes florestais, tais como cipós, palmeiras e mudas que ocorram em parcelas fixas (HIGUCHI *et al.*, 1994; PARRESOL, 1999). Para Brown *et al.* (1989), o método direto não é confiável porque se baseia em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas. Higuchi e Carvalho Jr. (1994) afirmaram que em geral as áreas escolhidas deveriam ser homogêneas, porém, comumente ocorrem árvores muito grandes, resultando em dados superestimados.

Gibbs *et al.* (2007) discutem que o método é bastante acurado para estimar a biomassa local específica, no entanto, afirma ser caro, demorado e impraticável para análises de escalas maiores. O consenso existente entre os pesquisadores que trabalham com biomassa é de que é praticamente impossível determinar a biomassa de cada árvore pelo método direto ao executar um inventário florestal. Por essa razão, os recursos de análise de regressão para o desenvolvimento de modelos estatísticos, para estimar a biomassa de árvores em pé, devem ser empregados para superar este problema (HIGUCHI *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 2001; SILVA, 2007).

3.3.2 Métodos indiretos

Em geral, existem três maneiras de se estimar a biomassa indiretamente. Para melhor entendimento elas serão denominadas neste trabalho como “método volumétrico”, “alométrico empírico” e “alométrico analítico”. No primeiro são utilizados o volume e a densidade da madeira das árvores e nos outros dois utilizam-se relações alométricas. Este método gerou muita polêmica entre os pesquisadores, um dos argumentos contrários foi que geralmente os dados de volume utilizados foram obtidos dos inventários do projeto RADAM.

Estes inventários foram realizados nas décadas de 60 e 70 com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal e, portanto, o volume obtido é referente somente à altura comercial. Outra ressalva é quanto ao uso da densidade da madeira das espécies. Higuchi *et al.*

(2004) afirmam que a densidade da madeira pode variar entre espécies, dentro da mesma espécie, nos diferentes compartimentos de um mesmo indivíduo arbóreo e ainda há variações também dentro dos compartimentos no sentido medula-casaca.

O uso do fator de forma para árvores de florestas tropicais também é bastante desaconselhável, pois geralmente é obtido considerando poucas espécies (SOMOGYI *et al.*, 2006) e também existem variações interespecíficas e entre sítios. Este método pode ser bastante impreciso, haja vista que existe uma grande variação entre as estimativas desenvolvidas mesmo quando se utilizou o mesmo conjunto de dados (HIGUCHI; CARVALHO JR, 1994).

Nos métodos “alométrico empírico” e “alométrico analítico” o cálculo da biomassa é feito a partir das relações alométricas das árvores. A palavra alometria vem do grego, allos (outro) e metron (medida). Essa palavra é utilizada em três sentidos diferentes: (1) o crescimento de parte de um organismo em relação ao crescimento de todo o organismo ou outra parte dele. Este é o sentido utilizado no método empírico; (2) o estudo das consequências de tamanho na forma e no processo orgânico; (3) similaridade geométrica, ou seja, manutenção da geometria e forma ao longo de uma série e de objetos que diferem em tamanho.

Os sentidos 2 e 3 são os tomados pela “alometria analítica” (NIKLAS, 1994). Desta forma, pelo método empírico, o cálculo da biomassa é feito aplicando-se uma equação alométrica adequada que estime a biomassa das árvores em função do diâmetro à altura do peito (DAP) ou juntamente com outras variáveis obtidas em inventários florestais com o uso de equações de regressão ajustadas pelo método dos mínimos quadrados com dados coletados na derrubada e pesagem de árvores que representem o sítio e a distribuição diamétrica do planito.

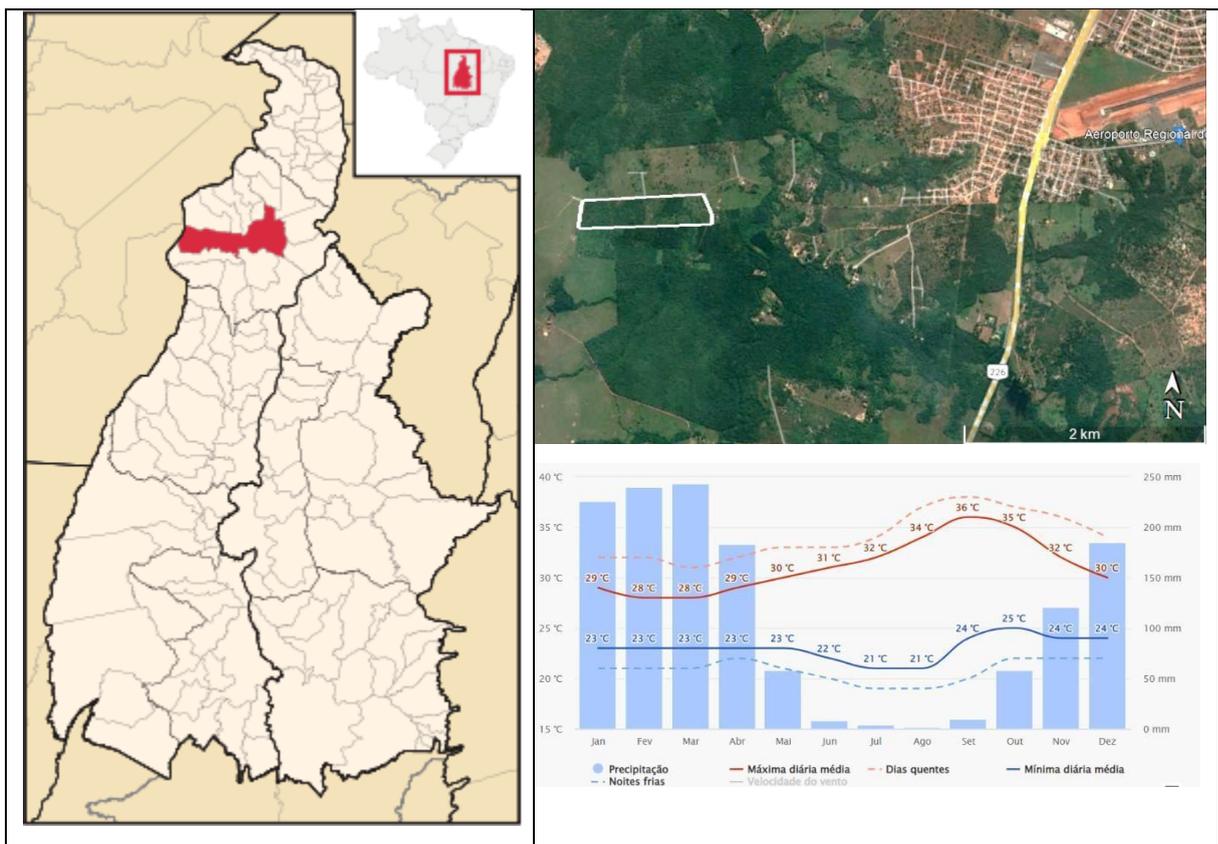
Zianis e Mecunccini (2004) discutiram que o método empírico além de trabalhoso, é demorado e ineficiente para estimativas em escala nacional. No entanto, para analisar a eficiência do método deve-se considerar o objetivo do estudo.

4 METODOLOGIA

4.1 Instalação do teste clonal

Em 2015, foi implantado um teste clonal de mogno africano da espécie *Khaya grandifoliola*, em Araguaína - TO (Figura 1), com a finalidade de avaliar o desenvolvimento desses diferentes clones na região norte do estado do Tocantins. O teste foi fruto de uma parceria entre ao viveiro Mudas Nobres e um empresário local. Dessa forma foram adquiridos junto ao viveiro, mudas de 10 diferentes clones.

Figura 1 – Local do experimento



Fonte: INPE (2021)

4.2 Local do estudo

A região de estudo possui condições edafoclimáticas típicas de transição entre os biomas Amazônico e Cerrado, com duas estações bem definidas: uma seca de maio a setembro e uma chuvosa de outubro a abril. A região possui um clima do tipo Aw, com temperatura

média anual na região é de 25 °C, com temperaturas variando entre 20° C no mês mais frio (maio) 39 °C no mês mais quente (setembro). A região se encontra a 227 metros acima do nível do mar com relevo plano. O solo é predominantemente latossolo (70%) com a presença de neossolos quartzarênicos (30%). A precipitação média anual média é de 2.200 mm, variando entre 1.850 mm a 2.400 mm, dependendo do ano. A vegetação da região se caracteriza como sendo transição entre a Floresta Amazônica (40,0%) e o Cerrado (60,0%).

4.3 Preparo do solo e a instalação dos experimentos

O preparo do solo foi realizado com a aplicação de gesso e calcário em toda a área, após esse período foi feito a subsolagem a 90,0 cm, juntamente com a adubação com nitrogênio, fósforo, potássio e boro, no formulado NPK 6-30-6 + 0,5% B. Foi realizado a dessecagem (capina química) com uso do herbicida glifosato em área total, e em seguida foi feito o controle de formigas, com o uso de iscas a base de sulfluramida e fipronil.

O plantio foi realizado durante o período chuvoso, em dezembro de 2016, para minimizar problemas de déficit hídrico no estabelecimento das mudas no campo. Os experimentos foram implantados no delineamento experimental de blocos completos casualizados, com 10 tratamentos (clones) utilizando parcelas quadradas de 20 árvores por clone, distribuídas em 10 blocos (Figura 1). Foi adotado um espaçamento de 5,0 m x 6,0 m.

A pesquisa foi realizada em Araguaína - TO onde se encontra o experimento com os diferentes genótipos de mogno africano (Figura 2). Araguaína possui um clima do tipo Aw com precipitação concentrada entre os meses de outubro e abril e médias temperaturas variando entre 21 °C e 36 °C (Figura 3).

4.4 Demarcação das parcelas

A demarcação das parcelas foi realizada de maneira sistemática de modo a abranger toda a área com diferentes procedências clonais (Tabela 1). As parcelas tiveram, em média, 24 árvores mensuradas individualmente (Figura 2). O espaçamento adotado no plantio foi o 5,0 m x 5,0 m (Tabela 1).

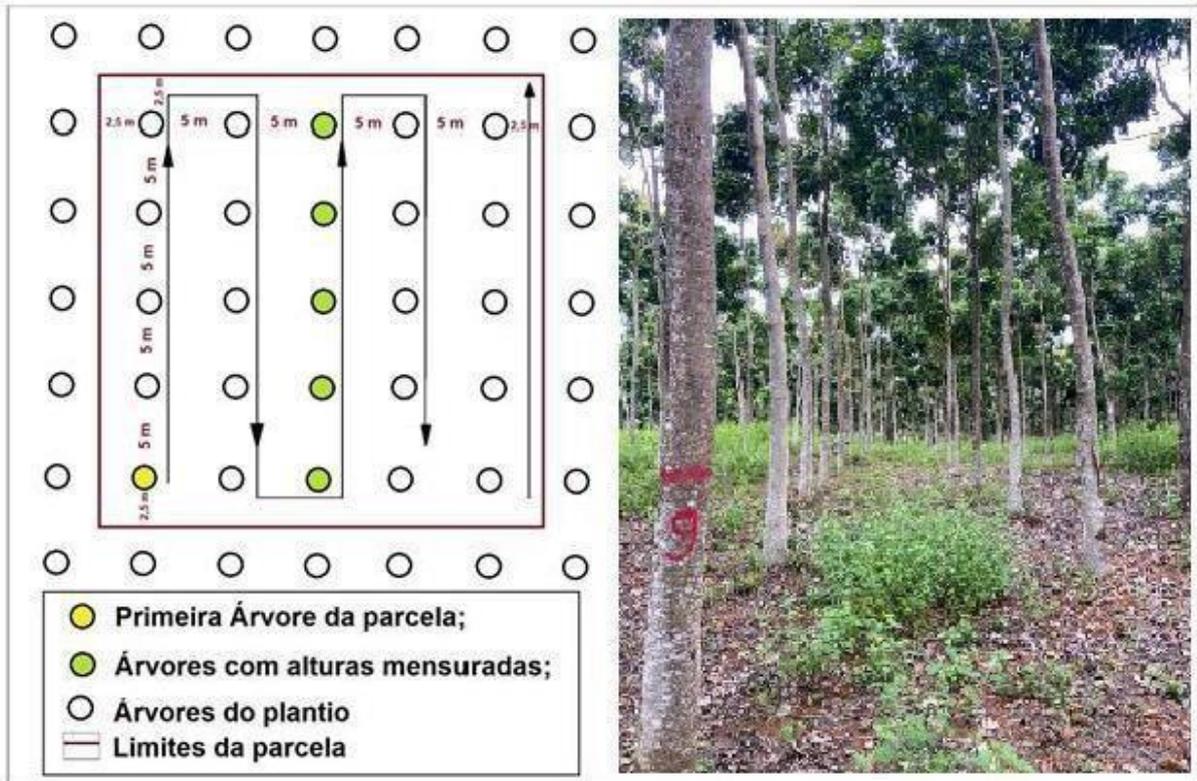
Tabela 1 - Discriminação da quantidade e tamanho das parcelas alocadas nos diferentes talhões de plantio da Fazenda São José, localizada em Araguaína-TO.

Parcelas	Clones	Idade (Anos)	Área das parcelas	Nº real de árvores por hectare	Área (há)	Árvores remanescentes (%)
1	MN17	6,25	600,0 m ²	400	2,26	66,67
2	MN17	6,25	600,0 m ²	400	2,26	66,67
3	MN11	6,25	600,0 m ²	400	6,30	83,33
4	MN15	6,25	600,0 m ²	400	6,30	83,33
5	MN15	6,25	600,0 m ²	400	6,30	66,67
6	MN07	6,25	600,0 m ²	400	9,10	79,17
7	MN04	6,25	600,0 m ²	400	9,10	87,50
8	MN03	6,25	600,0 m ²	400	9,10	83,33
9	MN01	6,25	600,0 m ²	400	9,10	87,50
10	MN01	6,25	600,0 m ²	400	9,10	95,83

Fonte: Autor (2022).

As árvores mensuradas nas parcelas demarcadas estão sempre indicadas com o número da parcela e duas setas com tinta *spray* indicando os sentidos da parcela (Figura 2). A indicação com setas possibilita a localização das parcelas em inventários futuros. As demais árvores medidas na parcela foram feitas no esquema de “zig-zag” entre as linhas de plantio (Figura 2).

Figura 2 – Modelo de demarcação das parcelas inventariadas e das árvores que foram mensuradas em DAP e altura (total e fuste).



Fonte: Autor (2022).

As árvores da primeira linha tiveram a altura total e comercial mensuradas de maneira sistemática, representando 25% das árvores mensuradas. Foram obtidas as coordenadas geográficas das parcelas, com um aparelho de GPS GARMIN *etrex 20x* (Figura 3), facilitando sua localização futura (Tabela 2).

Figura 3 - Equipamentos utilizados para a mensuração das árvores e demarcação das parcelas.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 2 - Localização das parcelas avaliadas no inventário florestal realizado na Fazenda São José localizado em Araguaína - TO.

Parcela	Clone	Área (m ²)	Idade (anos)	Altitude	Latitude	Longitude
1	MN17	600	6,25	195	07°14'26,1" S	48°16'26,0" O
2	MN17	600	6,25	196	07°14'27,9" S	48°16'24,7" O
3	MN11	600	6,25	205	07°14'23,1" S	48°16'40,6" O
4	MN15	600	6,25	203	07°14'26,9" S	48°16'40,5" O
5	MN15	600	6,25	202	07°14'27,1" S	48°16'35,6" O
6	MN07	600	6,25	203	07°14'22,5" S	48°16'47,5" O
7	MN04	600	6,25	204	07°14'24,2" S	48°16'51,0" O
8	MN03	600	6,25	209	07°14'27,0" S	48°16'55,2" O
9	MN01	600	6,25	212	07°14'24,2" S	48°16'57,5" O
10	MN01	600	6,25	213	07°14'24,3" S	48°17'03,4" O

Fonte: Autor (2022).

4.5 Mensuração das árvores

Para a avaliação do desenvolvimento das árvores, foi mensurado o diâmetro a altura do peito (DAP), em centímetros, a 1,30 m do solo, por meio de uma suta, e a altura total, em metros, com uso do clinômetro Haglöf ECII. A partir desses dados foi estimado o volume de madeira por hectare, em metros cúbicos (m³) (Equação 1).

$$V_{ha} = \frac{dap^2 \times H}{40000} \times \pi \times ff \times N \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

V_{ha} é o volume total estimado com casca, em m³.ha⁻¹;

DAP é o diâmetro à altura do peito, proveniente da relação, em cm;

ff é o fator de forma de 0,76;

N é o número de árvores por hectare, com 333 árvores/ha.

Também foram calculadas a taxa de mortalidade e o IMA (Incremento Médio Anual) (Equação 2). Para cálculo do IMA, estimou-se o volume total por hectare, dividindo-se o V_i pela idade dos plantios, e descontando os indivíduos mortos (Equação 2). A mortalidade das árvores também foi registrada na avaliação.

$$IMA = \frac{V_{ha}}{I} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

IMA é o Incremento Médio Anual, em $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$;

V_{ha} é o volume total estimado com casca, em $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;

I é o número de anos do plantio, neste caso 6 anos;

4.6 Estimativas de biomassa

Foram abatidas três árvores de cada clone, para as quantidades de biomassa e carbono. Foi feito a coleta de amostras transversais em cinco pontos do fuste comercial das árvores e nos ramos principais da copa. Estas amostras foram pesadas imediatamente após o corte para aferir o peso fresco (PF), em seguida as amostras foram submetidas a estufa durante 48 h, a uma temperatura de 103 °C, para retirar a umidade e aferir o peso seco (PS).

A biomassa foi estimada através das equações alométricas propostas por Higuchi *et al.* (1998):

- a) Estimativa de biomassa fresca para espécies arbóreas:

$$\ln PF = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D + \beta_2 \cdot \ln H$$

Onde:

PF = Peso fresco (kg);

D = DAP (cm);

H = Altura total da árvore (m);

- b) Para a estimativa de biomassa seca foi empregado o valor sugerido por Higuchi *et al.* (1998):

$$PS = PF * 0,6$$

Onde:

PS = Peso seco (kg);

PF = Peso fresco (kg).

- c) A estimativa do estoque de Carbono (EC) foi obtida segundo estudos de Higuchi e Carvalho Jr (1994):

$$EC = PS * 0,5$$

Onde:

PS = Peso seco (kg);

PF = Peso fresco (kg).

4.7 Análises dos dados

A significância dos efeitos de clones e blocos foi avaliada através de uma análise de variância (ANOVA). Essa análise estatística foi conduzida com auxílio dos softwares *R* e *Microsoft Excel*. Utilizou-se o pacote doBy para o *R* para obter as estimativas de mínimos quadrados para as médias dos clones. Com isso, foi possível ranquear os melhores clones para cada característica fenotípica avaliada (altura, DAP, volume de madeira e estoque de carbono).

Para avaliar a diferença entre os clones irá ser realizado o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para a produtividade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas análises estatísticas para verificar a homogeneidade do plantio e estimar os parâmetros estatísticos das variáveis avaliadas no inventário florestal. Também se procedeu com análises de regressão, para se estimar as alturas não mensuradas através do modelo hipsométrico parabólico. Considerou-se uma margem máxima de erro aceitável de 10% nas estimativas apresentadas.

5.1 Sobrevivência

A taxa média de sobrevivência foi superior a 85,0%, indicando que as plantações de mogno africano se adaptaram bem a diferentes condições climáticas, segundo Oliveira e Franca (2020). A sobrevivência deve ser de pelo menos 70% para que o plantio tenha produtividade viável (GUEDES *et al.*, 2011), assim, a sobrevivência dos plantios é uma excelente medida para avaliar seu potencial produtivo. Em geral, as grandes empresas florestais buscam taxas de sobrevivência acima de 95% para plantios comerciais de outras espécies exóticas, como as plantações clonais de eucalipto no Brasil (STAPE *et al.*, 2001). Plantações com esta taxa de sobrevivência refletem uma excelente condução silvicultural, principalmente em idades mais avançadas.

Em Araguaína - TO, a presença acima da média de mortalidade das árvores se deve à ocorrência de gramíneas invasoras no início do plantio e à presença de incêndios florestais de baixa intensidade durante o desenvolvimento das árvores, além da presença de um elevado teor de areia no solo, que dificulta a disponibilidade de água para a planta nos meses mais quentes do ano. A baixa densidade de plantas por hectare, o que resulta em menor competição com fatores essenciais como água, luz e nutrientes (FERRAZ FILHO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019), contribuindo para não agravar os fatores que causaram a mortalidade das árvores.

5.2 Alturas Total e de Fuste

Através das análises estatísticas realizadas, obteve-se uma média de altura total para cada uma das diferentes etapas de plantio (Tabela 3). As médias de altura total para os diferentes clones variaram entre de 14,42 e 19,15 metros para os clones MN17 e MN11, respectivamente. De modo geral, a média de altura total foi de 16,97 m, enquanto a altura de fuste foi de 8,99 m.

Com relação à altura de fuste, as árvores apresentam valores entre 6,72 e 11,70 m (Tabela 3). A altura (total e de fuste) das árvores clonadas apresentaram menor variação para a altura total, em relação à altura de fuste, como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de variação (CV%) e do desvio padrão (*S*) (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias de altura total (m) e altura de fuste comercial (m) para cada um dos talhões inventariados, Fazenda São José, localizado em Araguaína - TO.

Parcelas	Genótipo	Altura total (m)			Altura de fuste (m)		
		Média	S	CV (%)	Média	S	CV (%)
1	MN17	14,42 e	0,87	6,01%	6,72 f	0,50	7,47%
2	MN17	18,18 b	1,64	9,03%	7,38 e	1,49	20,20%
3	MN11	19,15 a	0,86	4,50%	8,52 d	1,77	20,81%
4	MN15	15,45 d	1,66	10,75%	8,37 d	1,53	18,32%
5	MN15	15,27 d	1,01	6,59%	8,00 d	1,28	15,96%
6	MN07	18,25 b	1,55	8,47%	11,70 a	0,52	4,47%
7	MN04	18,03 b	2,13	11,84%	9,78 c	1,92	19,64%
8	MN03	18,46 b	0,59	3,22%	10,50 b	1,40	13,33%
9	MN01	17,8 c	0,91	5,12%	9,78 c	2,07	21,16%
10	MN01	17,6 c	0,87	4,94%	7,7 e	0,56	7,29%
Médias		16,97	1,68	9,91%	8,99	1,51	16,84%

Fonte: Autor (2022).

5.3 Diâmetro a Altura do Peito (DAP)

Com relação ao (DAP), foram obtidos as médias para cada uma das parcelas inventariadas. Dessa forma, identificou-se um DAP médio de 23,31, variando entre 21,15 e 27,26 cm para os diferentes clones avaliados (Tabela 4). A floresta apresenta bom desenvolvimento em DAP, estando na média de florestas comerciais de mogno africano da espécie *K. grandifoliola* bem conduzidas para esta faixa etária. Entretanto, se observa, em média, um crescimento superior dos clones com relação as árvores de origem seminal observado em outros plantios e em arranjos de plantio que favorecem a menor competição ente as árvores.

Os clones apresentam grande uniformidade como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de variação (Tabela 4) e no gráfico de uniformidade diamétrica (Figura 4).

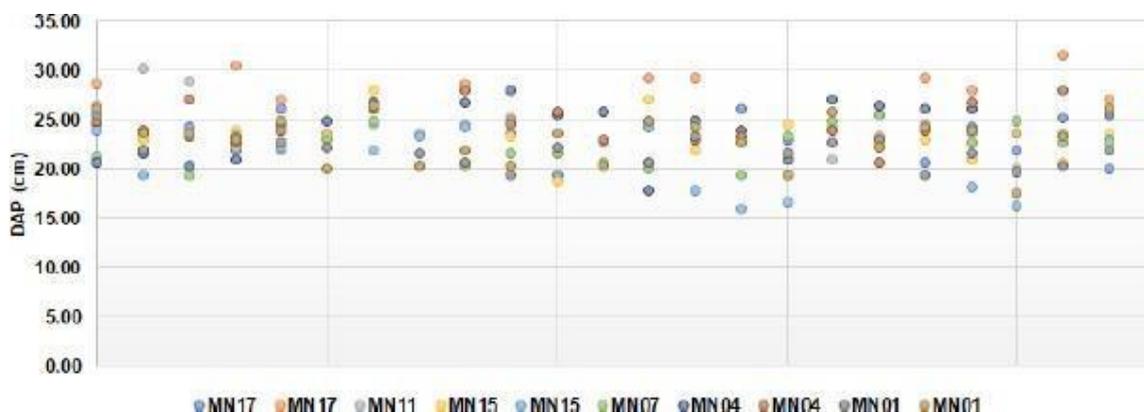
Tabela 4 - Médias de Diâmetro à Altura do peito (cm) para cada um dos talhões inventariados na Fazenda São José localizado em Araguaína - TO

Parcelas	Genótipo	Diâmetro à altura do Peito – DAP (cm)			
		Média	S	CV (%)	IMA DAP
1	MN17	23,00 c	2,15	9,37%	3,68
2	MN17	27,26 a	2,65	9,72%	4,36
3	MN11	23,81 c	2,50	10,49%	3,81
4	MN15	22,93 c	2,11	9,20%	3,67
5	MN15	21,15 e	3,30	15,60%	3,38
6	MN07	22,30 d	1,86	8,36%	3,57
7	MN04	23,42 c	3,03	12,93%	3,75
8	MN03	24,54 b	2,11	8,58%	3,93
9	MN01	21,75 e	1,53	7,05%	3,48
10	MN01	22,96 d	2,37	10,34%	3,67
Médias		22,31	1,69	7,27%	3,73

Fonte: Autor (2022).

Cabe ressaltar que o plantio já sofreu um primeiro desbaste seletivo, variando em média de 15,0% a 20,0%. Dessa forma, alguns clones que tiveram uma maior redução da pressão de competição entre as árvores apresentaram maiores taxas de crescimento. Tal fato também explica a certa variabilidade observada nos diâmetros das árvores (Figura 4).

Figura 4 - Perfil de variação de DAP entre as árvores clonais MN01, MN04, MN07, MN11, MN15 e MN17, da empresa Mudas Nobres.



Fonte: Autor (2022).

5.4 Volume médio por hectare

Com relação ao volume médio por hectare, foram feitas as análises estatísticas para o volume comercial e o volume total das árvores, considerando, respectivamente, as alturas de fuste total (Tabela 5). As médias de volume comercial para os clones, variaram entre $58,99 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $95,14 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, resultando em uma média geral de $80,67 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (Tabela 5).

Com relação ao volume total os clones apresentaram médias variando entre $80,80 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $141,56 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, resultando em uma média geral de $117,68 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (Tabela 5). A maior variação entre os clones, se deve ao desbaste realizado de forma aleatória, tendo sido realizado com maior intensidade em algumas áreas do plantio. Dessa forma, alguns clones sofreram menor pressão de competição do que outros, resultando em uma maior taxa de crescimento em algumas áreas do que em outras. Os clones MN17 e MN15 tiveram mais árvores desbastadas, resultando, nesse primeiro momento, em um menor volume total por hectare, mas vão apresentar maior taxa de desenvolvimento em um futuro próximo.

O Incremento Médio Anual (IMA) é outra variável importantíssima, pois ele reflete a média de crescimento por ano da floresta. O IMA permite estimar o volume de madeira a ser colhido ao final do ciclo florestal. O ritmo de crescimento observado para a floresta resultou em um IMA para volume total de $18,83 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, com variação de $12,93 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a $21,93 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para os diferentes clones (Tabela 5). Também foi obtido um IMA para volume comercial de $12,91 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, variando de $9,44$ a $15,22 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para os diferentes clones.

Tabela 5 - Médias de produtividade volumétrica total e comercial por hectare ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) e de incremento médio anual para cada um dos clones avaliados no plantio inventariado, Fazenda São José localizado em Araguaína - TO.

Parcelas	Genótipo	Volume comercial ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	IMA comercial ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	IMA total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)
1	MN17	62,41 e	89,26 f	9,99 e	14,28 f
2	MN17	84,50 c	141,56 a	13,52 c	22,65 a
3	MN11	87,16 b	129,00 c	13,95 b	20,64 c
4	MN15	82,57 c	117,86 d	13,21 c	18,86 d
5	MN15	58,99 e	80,80 f	9,44 e	12,93 f
6	MN07	75,33 d	104,89 e	12,05 d	16,78 e
7	MN04	89,38 b	130,58 c	14,30 b	20,89 c
8	MN03	90,87 b	137,08 b	14,54 b	21,93 b
9	MN01	80,33 c	109,47 e	12,85 c	17,52 e
10	MN01	95,15 a	136,29 b	15,22 a	21,81 b
Média		80,67	117,68	12,91	18,83
S		11,93	21,05	1,91	3,37
CV%		14,79%	17,88%	14,79%	17,88%

Fonte: Autor (2022).

5.5 Distribuição Diamétrica

Os plantios comerciais de mogno africano visam a produção contínua e eficiente de madeira para atender a indústria moveleira. Para isso é fundamental ter árvores com diâmetros que favorecem o melhor aproveitamento industrial de sua madeira. A distribuição das árvores em classes diamétricas permite estimar a distribuição de volume por classe de diâmetro. Um dos objetivos da clonagem, além de aumentar a produtividade com a seleção de árvores mais vigorosas, é promover a uniformidade dos plantios.

A distribuição diamétrica de um plantio uniforme se dá em poucas classes diamétricas. Dessa forma procedeu-se com a divisão das árvores amostradas em classes diamétricas (Tabela 6). Assim, pode-se notar que o clone MN17, com árvores aos 6,25 anos de idade, apresenta

cerca de 94% das árvores, distribuídas em 5 classes de diâmetro, com DAP acima de 20,0 cm (Figura 9). As árvores mais finas, para este talhão representam menos de 4,0% das árvores.

Para o Clone MN11, todas as árvores apresentaram DAP médio entre 20,0 a 26,0 cm, distribuídas em três classes diamétricas (Tabela 6). Nota-se que a uniformidade se destaca pela menor abrangência em diferentes classes de diâmetro, quando comparado a plantios seminais e demais clones avaliados neste plantio. Para o Clone MN15, grande parte das árvores apresentaram DAP médio acima de 20,0 cm, sendo cerca de 80,00% (Tabela 6). Nota-se que a uniformidade se destaca pela menor abrangência em diferentes classes de diâmetro das árvores com maiores dimensões em diâmetro, que se distribuiu ao longo de quatro classes.

Para o Clone MN07, grande parte das árvores apresentaram DAP médio entre 20,0 cm e 26,0 cm, sendo cerca de 90,00% (Tabela 6). Nota-se que neste caso houve uma grande uniformidade, pois os clones apresentam distribuição em apenas quatro classes diamétricas. Para o clone MN04, grande parte das árvores apresentaram DAP médio entre 20,0 cm e 28,0 cm, sendo cerca de 86,00% (Tabela 6). Nota-se que a uniformidade se destaca pela menor abrangência em diferentes classes de diâmetro, se distribuindo em apenas quatro classes, sendo 57,14% em apenas duas classes.

Para o Clone MN03, a totalidade das árvores apresentaram DAP médio entre 20,0 cm e 30,0 cm, sendo cerca de 80,00% entre 22,0 cm e 28,0 cm (Tabela 6). Nota-se que a uniformidade se destaca pela menor abrangência em diferentes classes de diâmetro, onde em apenas uma classe diamétrica concentra 40,0% das árvores de mogno africano (*K. grandifoliola*) clonado. Para o clone MN01, a maioria das árvores apresentaram DAP médio entre 20,0 cm e 28,0 cm, sendo cerca de 86,0% cm (Tabela 6). Nota-se que a uniformidade se destaca pela concentração destas árvores em apenas quatro diferentes classes de diâmetro.

Tabela 6 – Distribuição de classes diamétricas para os clones de mogno aos 6,5 anos de idade.

Classes diâmetro (cm)	CLONE MN01	CLONE MN03	CLONE MN04	CLONE MN07	CLONE MN11	CLONE MN 15	CLONE MN17
14,0-16,0						2,78%	
16,0-18,0	2,27%		4,76%			8,33%	
18,0-20,0	11,36%			10,53%		8,33%	3,23%
20,0-22,0	29,55%	10,00%	23,81%	36,84%	10,00%	19,44%	19,35%
22,0-24,0	36,36%	40,00%	4,76%	31,58%	40,00%	38,89%	19,35%
24,0-26,0	13,64%	20,00%	28,57%	21,05%	20,00%	16,67%	19,35%
26,0-28,0	6,82%	20,00%	28,57%		20,00%	5,56%	16,13%
28,0-30,0		10,00%	4,76%		10,00%		19,35%
> 30,0			4,76%				3,23%
Total		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Autor (2022).

5.6 Estoque de carbono

O armazenamento de carbono em ecossistemas florestais é um parâmetro básico para se estudar a troca desse elemento entre esses ambientes e a atmosfera, e um dado essencial na estimativa da sua absorção e emissão nesses ambientes (SILVEIRA *et al.*, 2008). Smith *et al.* (2004) mencionam que estudos sobre sequestro de carbono são importantes na avaliação de uma floresta como recurso natural, como também na relação entre mudanças climáticas e o acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera, uma vez que as florestas removem o dióxido de carbono da atmosfera e o estocam na forma orgânica.

Comparar resultados de biomassa de forma ampla é tarefa difícil, principalmente da vegetação arbustiva (sub-bosque), pois não há disponibilidade de literatura que verse sobre o tema proposto (WATZLAWICK *et al.*, 2005). Segundo estes autores, trabalhos sobre biomassa arbustiva no Brasil são raros, podendo ser citados os realizados com *Araucaria angustifolia* (SCHUMACHER *et al.*, 2002a, b), *Eucalyptus* spp. (SCHUMACHER; WISTCHORECK, 2004a), *Pinus elliottii* (36 anos de idade) (SCHUMACHER *et al.*, 2004b), *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* com várias idades (WATZLAWICK, 2003), em florestas naturais (WATZLAWICK, 2003; CALDEIRA, 2003) e em florestas naturais em diferentes estágios de regeneração (WATZLAWICK *et al.*, 2002).

Dessa forma, neste trabalho não foi realizado a quantificação do estoque de carbono da vegetação do sub-bosque da floresta, tampouco a quantificação do carbono orgânico no solo, apenas a quantificação do carbono presente na madeira. Através da Tabela 7 pode-se avaliar o estoque de carbono por hectare, para a biomassa florestal da área plantada com os diferentes clones de mogno.

Tabela 7 – Peso da biomassa e carbono estocado.

Clones/Talhão	Peso Fresco	Peso Seco	Estoque de Carbono
	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	T C.ha ⁻¹
MN17	50,55 e	30,33 e	15,17 e
MN17	68,45 c	41,07 c	20,53 c
MN11	70,60 b	42,36 b	21,18 b
MN15	66,88 c	40,13 c	20,06 c
MN15	47,78 e	28,67 e	14,33 e
MN07	61,02 d	36,61 d	18,31 d
MN04	72,40 b	43,44 b	21,72 b
MN03	73,60 a	44,16 a	22,08 a
MN01	65,07 c	39,04 c	19,52 c
MN01	77,06 a	46,24 a	23,12 a
Média	65,34	39,20	19,60

Fonte: Autor (2022).

O estoque médio de carbono orgânico encontrado neste estudo foi de 19,60 t C ha⁻¹, valores estes abaixo do encontrado em diversos trabalhos. A espécie *Khaya grandifoliola* ainda é pouco estudada no Brasil, e a título de comparação, Paixão *et al.* (2006) avaliou um plantio de eucalipto de 6 anos de idade, e o valor médio encontrado foi de 71,13 t C ha⁻¹.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se a partir da avaliação que a biomassa da área de floresta consegue armazenar/estocar maiores quantidades de carbono orgânico.

Logo o presente estudo apresentou uma visão de quanto é efetivamente armazenado/estocado de carbono nessas áreas comerciais de mogno, tornando-se um importante subsídio para auxiliar os produtores quando o mercado de créditos de carbono estiver regulamentado.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, L. dos 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.
- ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JR, J. A. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain Forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**. v.117, p. 43 – 52, 1999.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J.; LUGO, A. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to inventory data. **Forest Science**, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2 ed. ver e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 470p.
- COUTO, H. T. Z. 2004. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de eucalyptus no estado de São Paulo. IPEF, n.37, p.33-44.
- DANQUAH, Jones Abrefa; APPIAH, Mark; ARI, Pappinen. Eco-geographic variation in leaf morphology of African Mahogany (*Khaya anthotheca* and *Khaya ivorensis*) provenances in Ghana. **European Journal of Scientific Research**, v. 51, n. 1, p. 18-28, 2011.
- DE CASTRO, Elmar Andrade; KAUFFMAN, J. Boone. 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.
- FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. **Mogno Africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 1999. 52 p.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controles. Acta Amazonia. Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2013.
- FERRAZ FILHO, A. C. B. *et al.* African Mahogany Plantation Highlights in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 3, p. 1–3, 2021.
- FERRAZ FILHO, A. C. B.; MOLA-YUDEGO, J. R.; GONZÁLEZ-OLABARRIA, J. R. S. Thinning regimes and initial spacing for Eucalyptus plantations in Brazil. **Anais...** Acad. Bras.de Ciênc. v. 90, n. 1, p. 255–265, 2018.
- GIBBS, H.; BROWN, S. K.; NILES, J.; FOLEY, J.A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environment Research Letters**, 2007. 13p.
- GUEDES, I.C.L.; COELHO JÚNIOR, L. M.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J.M.D.; REZENDE, J.L.P.; SILVA, C. P. C. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in eucalyptus stands under risk conditions. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 393–401, 2011.
- HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. **A Floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. Manaus: INPA: CNPq, 2004. 146p.
- 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.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295 – 304, 2004.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: www.inpe.gov.br. Acesso em: 20 de dezembro de 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Changes. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories**. Disponível em: www.ipcc.ch. Acesso em: 29 de dezembro de 2021.

ITTO - International Tropical Timber Organization. **Tropical Timber Market Report**. Yokohama, v. 24, 2021. Available at: < <https://www.itto.int/> >. Access in: 21 jul. 2021.

MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. **Tropical Deforestation and Climate Change**. Belém – PA. IPAM; Washington DC: Environmental Defense, 2005.

MUNEROLI, C. C. **Arborização urbana: espécies arbóreas nativas e a captura de carbono atmosférico**. 2009. 137 p. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA, Passo Fundo.

NIKLAS, K, J. **Plant allometry: the scaling of form and process**. The University of Chicago Press, Chicago, 1994. 395 p.

OLIVEIRA, R. S.; FRANCA, T. M. Climate zoning for the cultivation of african mahogany species in Brazil. **Cerne**, v. 26, n. 3, p. 369–380, 2020.

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.

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

PAIXÃO F. A., SOARES C. P. B., JACOVINE L. A. G., SILVA M. L., LEITE H. G. E SILVA G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto; **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 411-420, 2006.

PARRESOL, B.R. 1999. **Assessing trees and stand biomass: A review with examples and critical comparisons**. *For.sci.*45(4): 573-593.

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.

PINHEIRO, A. L. *et al.* **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mogno-africanos (*Khaya spp.*)**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011.

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.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF : Embrapa, 2019. 379p

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.

SANTOS, Alisson Moura et al. Aspectos silviculturais. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

SANTOS, J.; NETO, F.P.; HIGUCHI, N.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L.; VALE, A.B. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. **Revista Árvore**, v. 4, p. 445-454, 2001.

SANTOS, J.; NETO, F.P.; HIGUCHI, N.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L.; VALE, A.B. 2001. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, n.4: 445-454.

SCHUMACHER, M. V.; KONIG, F. G.; KLEINPAUL, J. J. **Quantificação do carbono orgânico na serapilheira, sub-bosque e solo de uma floresta de *Pinus elliottii* Engelm. aos 36 anos, em Santa Maria, RS**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Orgs.). **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba - PR: Imprensa Universitária - UFPR, 2004a, p. 125-132.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. **Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus spp.*, nas propriedades fumageiras do Sul do Brasil: um estudo de caso**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Orgs.). **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba - PR: Imprensa Universitária - UFPR, 2004, p. 111-124.

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.

SILVA, L.C.R.; STERNBERG, L.; HARIDASAN, M.; HOFFMANN, W.A.; MIRALLES, F; WILHELM; FRANCO, A. Expansion of gallery forests into central Brazilian Savannas. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2108–2118, 2008.

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.

SILVA, W. G.; SANTOS, D. M. C. L.; LIMA, A.P.L.; MATTOS, F. D.; LIMA, S.F.; PAULA, R.C.M. Growth and volumetric production of eucalyptus clones in different planting spaces. **Rev. Agr. Neotrop.** v. 6, n. 3, p.38–47, 2019.

- SILVEIRA, P. KOEHLER H. S., SANQUETTA C. R., ARCE J. E. O Estado Da Arte Na Estimativa De Biomassa e Carbono Em Formações Florestais – **Revista Floresta**, Curitiba,PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.
- 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000500002>.
- STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. **New For.** v. 22, p.19–41, 2001.
- TEIXEIRA, L. M, CHAMBERS, J.Q.; SILVA, A. R., LIMA, A.; CARNEIRO, V.M;SANTOS, J., HIGUCHI, N. 2007. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazonica** vol. 37, no. 32008-10-22. p. 377-384.
- TEIXEIRA, L. M. **Influência da intensidade de exploração seletiva demadeira 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.
- TEIXEIRA, M.A.; MURRAY, M.L.; CARVALHO, M.G. 2006. Assessment of land use and land use change and forestry (LULUCF) as CDM projects in Brazi. **Ecological Economics**. 60: 260-270.
- VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.
- WATZLAWICK L.F., SANQUETTA C.R., CALDEIRA M.V.W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em Pinus taeda L. **Revista Biomassa e Energia**; 2(1):7-17, 2005.
- WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As florestas e o carbono**. Curitiba, p.153-173, 2002.
- WATZLAWICK, Luciano Farinha. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. 2003.
- 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.
- ZIANIS, D.; MENCUCCINI, M. On simplifying allometric analyses of forest biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p.311-332, 2004.