



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

**SAYRAH SOUSA DA SILVA**

**EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA *Khaya senegalensis* (DESR.) A. JUSS.**

Imperatriz – MA

2024

**SAYRAH SOUSA DA SILVA**

**EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA *Khaya senegalensis* (DESR.) A. JUSS<sup>1</sup>**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão como requisito básico para a conclusão do Curso de Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Profa. Dra. Jaqueline Macedo Gomes

Imperatriz – MA

2024

---

<sup>1</sup>Artigo submetido e aceito na Revista Aracê.

S586e

Silva, Sayrah Sousa

Equações hipsométricas para *Khaya senegalensis* (desr.) a. juss. / Sayrah Sousa Silva. – Imperatriz, MA, 2024.

19 f.; il.

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

1. Mensuração florestal. 2. Crescimento. 3. Silvicultura. 4. Imperatriz - MA.  
I. Título.

CDU 634.9

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**

**SAYRAH SOUSA DA SILVA**

**EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA *Khaya senegalensis* (DESR.) A. JUSS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão como requisito básico para a conclusão do Curso de Engenharia Florestal.

Data de aprovação: 17/01/2025

**Banca Examinadora**

---

Profa. Dra. Jaqueline Macedo Gomes

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

---

Profa. Dra. Cristiane Matos da Silva

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

---

Profa. Dra. Nisângela Severino Lopes Costa

Instituição: Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

**Dedico este trabalho à minha mãe, com sua luta incansável, tornou possível a realização do meu sonho. Sua força, amor e dedicação são a base de todas as minhas conquistas.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por acalmar meu coração nos momentos difíceis e me dar forças para seguir em frente, mesmo quando os desafios pareciam maiores do que eu. À minha mãe, que com seu amor incondicional e força incomparável, sempre foi o meu maior apoio e inspiração. Ao meu pai por acreditar que a educação era o caminho mais certo para seus filhos.

Aos meus avós paternos, Elizeu e Isabel, por me transmitirem sua paixão pela natureza e me ensinarem a cuidar dela com amor e respeito. Aos meus avós maternos, Francisca e Antônio Raimundo, por me ensinarem que a verdadeira riqueza está no amor e na família. Aos meus irmãos, por estarem sempre ao meu lado, oferecendo suporte e palavras de encorajamento nos momentos que mais precisei.

A minha orientadora, Jaqueline Macedo pela paciência, compreensão e por cada ensinamento valioso ao longo desta jornada. Aos meus amigos, por transformarem os dias na universidade em memórias inesquecíveis e por todas as vezes que choramos de rir juntos. E a mim mesma, por suportar cada etapa deste processo com resiliência e coragem, sem nunca desistir dos meus sonhos.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Área de estudo.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Coleta e análise de dados.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Validação.....</b>	<b>13</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>

## EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA *Khaya senegalensis* (DESR.) A. JUSS.

 <https://doi.org/>

Data de submissão: 00/00/0000

Data de Publicação: 00/00/0000

**Sayrah Sousa da Silva**  
**Graduanda em Engenharia Florestal**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: sayrah.sil@gmail.com  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5844670110304162>

**Jaqueline Macedo Gomes**  
**Doutora em Ciências Florestais**  
**Bolsista do programa de Bolsa de Produtividade da UEMASUL**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: jaquelinegomes@uemasul.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6999782343980504>

**Nisângela Severino Lopes Costa**  
**Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: nisangela.lopes@uemasul.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9564840904035403>

**Joabel Raabe**  
**Doutor em Ciências Florestais**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: joabel.raabe@uemasul.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0691322617405457>

**Débora Monteiro Gouveia**  
**Doutora em Ciências Florestais**  
Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade  
E-mail: deboramgouveia@yahoo.com.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8786730588119854>

**Dalton Henrique Angelo**  
**Mestre em Ciências Florestais e Ambientais**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: dalton.angelo@uemasul.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1110415022028049>

**Natália Matos da Silva**  
**Graduanda em Engenharia Florestal**  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
E-mail: nataliamatoos17@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2754650560049704>

Vanêssa do Nascimento Lima

**Graduanda em Engenharia Florestal**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

E-mail: [vanessanascimento@gmail.com](mailto:vanessanascimento@gmail.com)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7753366289324171>

## RESUMO

A altura é importante para entender o comportamento de uma espécie ao longo do tempo e avaliar a qualidade da área para produção de madeira, podendo ser medida ou estimada. Os modelos hipsométricos permitem estimar a altura a partir do diâmetro da árvore, reduzindo custos do inventário florestal. A presente pesquisa teve como objetivo ajustar um modelo hipsométrico para *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., contribuindo para o estudo da espécie no Brasil. Os dados foram coletados em um povoamento de 9,8 ha, localizado no Rancho São Lucas no município de Lajeado Novo-MA. Foram instaladas 37 parcelas permanentes circulares com área de 800m<sup>2</sup> e medidos todos os diâmetros e alturas dos indivíduos de cada parcela, totalizando 721 indivíduos. Foram selecionados 6 modelos hipsométricos e ajustados por meio de regressão linear. A seleção da melhor equação foi feita por meio do Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), Erro Padrão da Estimativa ( $Sy_x\%$ ), Erro Padrão da Estimativa Ajustado ( $Sy_{x_{Ajust}}$ ), Desvio Médio Percentual (DMP), Teste F, análise gráfica dos resíduos e valor ponderado dos parâmetros estatísticos. O modelo de Trorey ( $H = -0,21461 + 0,98413 (DAP) + -0,02748 (DAP)^2 + \varepsilon$ ) e Prodan ( $H = \frac{1,316862 + 0,769434(DAP) + 0,057553(DAP)^2}{(DAP)^2} + \varepsilon$ ) foram escolhidos por apresentarem os melhores parâmetros estatísticos.

**Palavras-chave:** Mensuração florestal. Crescimento. Silvicultura.

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas são cultivadas e colhidas para uso industrial, respeitando o plano de manejo sustentável, que tem como objetivo reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento econômico e social das comunidades vizinhas. As práticas de manejo têm sido aprimoradas respeitando a sustentabilidade e a população, fazendo das florestas plantadas uma grande aliada do desenvolvimento socioeconômico no campo, contribuindo para a redução da pressão sobre as florestas naturais, proteção do solo, conservação da biodiversidade e na mitigação das mudanças climáticas (IBÁ, 2017).

Em 2019 as áreas de florestas plantadas tiveram um aumento de 2,4% em relação a 2018, entre os diversos benefícios do setor se destaca a oportunidade de trabalho e geração de renda para a população, promovendo mudanças econômicas locais (IBÁ, 2020). Em 2020 a área estimada de florestas plantadas foi de 9,3 milhões de hectares, na qual 70,6% são concentradas nas regiões Sul e Sudeste do país, a produção da silvicultura também teve um aumento no valor, atingindo R\$ 18,8 bilhões, representando um crescimento de 21,35% em relação a 2019 e na produção primária florestal a silvicultura expandiu sua participação com 79,8%, os produtos madeireiros seguem dominando o setor com 90,1% do valor da produção florestal (IBGE, 2020).

Por seu elevado valor comercial, o mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) vem sofrendo com a exploração seletiva, que atrelada com o ataque da broca do ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller) torna o mogno brasileiro uma espécie ameaçada de extinção. O ataque da broca do ponteiro afeta o crescimento da árvore em altura e diâmetro, favorecendo a mortalidade da espécie em monocultivos e provocando bifurcações nas plantas (Maestre; Aquino; Rabelo, 2020).

A madeira do mogno africano (*Khaya* ssp.) se torna a principal substituta do mogno brasileiro, além de ser mundialmente conhecida como nobre (Reis; Oliveira; Santos, 2019). O mogno africano não possui diferença fenotípica significativa do mogno brasileiro, mas possui uma diferença na coloração avermelhada, que no mogno brasileiro é esverdeado (Falesi; Baena, 1999). O gênero *Khaya* pertence à família Meliaceae e possui um elevado potencial madeireiro, possui diversas formas de uso, no qual os principais são a fabricação de móveis de luxo, instrumentos musicais, laminados e na construção naval. O investimento no mogno africano é justificado pela resistência a broca do ponteiro e a resistência física e mecânica da madeira (Reis; Oliveira; Santos, 2019).

Os primeiros plantios de *Khaya* ssp. aconteceram em 1976, no Norte do Brasil, e desde então as espécies são promissoras, portanto, os plantios comerciais estão aumentando pela crescente demanda por madeira tropical no país (Ribeiro et al., 2017). Já foram feitos diversos plantios na Austrália, Ásia e América Tropical, mas foram publicados poucos estudos sobre a silvicultura,

crescimento e produtividade, estudos que podem contribuir para a tomada de decisão no manejo das espécies (Ribeiro et al., 2017).

O investimento em mogno africano nas áreas tropicais mundiais é justificado pela similaridade da espécie com o mogno brasileiro, a cotação da madeira no mercado internacional, o rápido crescimento e a resistência a broca do ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller). Em 2018 a área estimada de florestas plantadas de mogno africano no Brasil foi de 37 mil hectares, plantios que não estão na idade adequada para a colheita, mas desbastes vêm sendo realizados (Reis; Oliveira; Santos, 2019). No estado do Pará a espécie *Khaya senegalensis* foi uma das preferidas dos reflorestadores, é uma espécie de grande importância por seu crescimento rápido, auxiliando na recuperação de áreas alteradas, entretanto, o interesse comercial do mogno africano veio da exploração durante 70 anos de florestas onde o mogno africano é nativo, reduzindo a concentração da espécie, o que provocou os plantios organizados (Falesi; Baena, 1999).

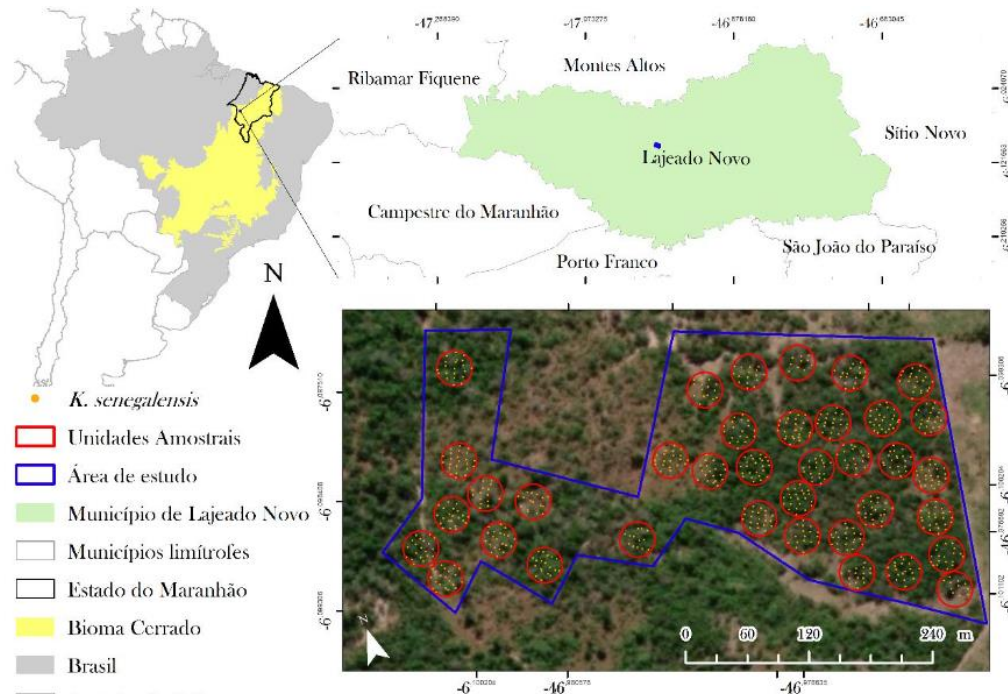
A altura é uma variável importante para conhecer como se comporta uma espécie ao longo do tempo, pode ser medida ou estimada, sendo importante para determinar a qualidade da área para produção de madeira. Com o ajuste de um modelo hipsométrico é possível estimar a altura apenas com o diâmetro da árvore, essa é uma metodologia que reduz o custo do inventário, mas pode diminuir a precisão das estimativas da altura (Soares; Neto; Souza, 2011). As relações hipsométricas são relações entre altura e diâmetro, que permitem estimar a altura de árvores. Espécies diferentes possuem relações hipsométricas diferentes e caso seja feita na mesma espécie, as relações mudam de acordo com a idade do povoamento. As relações hipsométricas são importantes em um inventário florestal, pois os custos das atividades são reduzidos, por diminuir o número de alturas medidas no campo (Finger, 2006). Neste contexto, o trabalho teve como objetivo ajustar modelos hipsométricos para *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., contribuindo para o estudo da espécie no Brasil e reduzindo o tempo e custo do inventário realizado pelo produtor florestal.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Rancho São Lucas, no município de Lajeado Novo - MA, localizado sobre as coordenadas geográficas 6°05'58" S e 46°58'40" W, que pertence a microrregião Imperatriz – MA (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, Tropical quente e semiúmido, com estação seca (Alvares et al., 2013). A precipitação média anual é de 1220 mm, com período chuvoso entre os meses novembro e maio (Meneses, 2009). A microrregião é banhada pelo rio Tocantins que é a principal fonte de abastecimento de água das cidades e pelos riachos Cacau, Bacuri, Santa Teresa, Capivara, Barra Grande, Cinzeiro, Angical, Grotão do Basílio e Saranzal (Nascimento et al., 2015). A vegetação da região é do tipo Floresta estacional decídua e cerrado, caracterizado pela presença de árvores com troncos e galhos retorcidos (IMESC, 2008).

**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo e área experimental no município de Lajeado Novo – MA.



**Fonte:** IBGE, DATUM: SIRGAS 2000, Projeção UTM-Zona 23 S. Autoria: Chaiane Rodrigues Schneider (Ferreira; Gomes; Schneider (2024).

### 2.2 Coleta e análise de dados

A área experimental é de 9,8 ha, onde foram instaladas 37 parcelas permanentes circulares com área de 800m<sup>2</sup>, distribuídas segundo o método de amostragem aleatório. O plantio foi realizado com mudas de em média 6 meses de idade em janeiro de 2020 em um espaçamento de 5m x 8m e 5m x 7m, oriundas de plantio seminal. Os dados foram coletados em janeiro de 2022.

Nas parcelas foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a Altura Total (Ht) de todas as árvores da parcela, totalizando 721 indivíduos mensurados, onde a distribuição por classe pode ser observada na Tabela 1. Os diâmetros foram medidos com uma suta mecânica e as alturas com o clinômetro eletrônico de Haglöf.

**Tabela 1.** Distribuição dos indivíduos amostrados por classes de diâmetro e altura no povoamento de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., no município de Lajeado Novo -MA.

Classes de Diâmetro (cm)	Classes de Altura (m)									Total
	0F-1	1F-2	2F-3	3F-4	4F-5	5F-6	6F-7	7F-8	8F-9	
0F-2	9	42	2							53
4F-6	1	14	6	83	63	22	3			192
6F-8			1	4	44	57	38	12		156
8F-10					1	25	24	11	2	63
10F-12						3	10	6	2	21
12F-14								2		2
<b>Total</b>	26	94	132	140	112	107	75	31	4	721

Fonte: Autores (2022).

Os dados de altura e diâmetro foram ajustados por meio de regressão linear, onde foram testados 6 modelos hipsométricos, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** Modelos de relação hipsométrica para ajuste em plantas de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., no município de Lajeado Novo -MA.

N°	Modelos Hipsométricos	Autores
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \varepsilon$	Assmann (1970)
2	$H = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP)^2 + \varepsilon$	Trorey (1932)
3	$H = \frac{(DAP)^2}{\beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP)^2} + \varepsilon$	Prodan (1965)
4	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \ln(\varepsilon)$	Azevedo et al. (1999)
5	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \ln(\varepsilon)$	Curtis (1967)
6	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \ln(\varepsilon)$	Stoffels (1953)

$\beta_n$  = coeficientes estimados, H = altura total (m), DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm), Ln = logaritmo natural.

A escolha da melhor equação (Tabela 3) foi realizado com base nos seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Ajust}$ ), erro padrão da estimativa (Syx%), erro padrão da estimativa ajustado (Syx<sub>Ajus</sub>), desvio médio percentual (DMP), valor de F significante. Além desses foi feita a análise gráfica dos resíduos e calculado o valor ponderado dos parâmetros estatísticos (VP).

Os valores ponderados dos parâmetros estatísticos (VP) foram calculados para cada equação classificando cada parâmetro conforme sua eficiência, com o peso 1 atribuído à equação mais eficiente,

2 à segunda mais eficiente e assim por diante. O VP é o somatório dos pesos atribuídos aos diferentes parâmetros para cada equação e a escolha da melhor equação será aquela com o menor valor de VP.

**Tabela 3.** Critérios para seleção da melhor equação para estimar a altura de mogno africano, em Lajeado Novo - MA.

Critério	Fórmula
Coeficiente de Determinação	$R^2 = \frac{SQ\ Regressão}{SQ\ Total}$
Coeficiente de Determinação Ajustado	$R^2_{aj.} = 1 - \left[ (1 - R^2) \left( \frac{n - 1}{n - p - 1} \right) \right]$
Erro Padrão da Estimativa %	$Syx\% = \frac{\sqrt{QM_{Erro}}}{\bar{h}} \times 100$
Erro Padrão da Estimativa Ajustado %	$Syx_{ajust.}\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum(h - \hat{h})^2}{n - p - 1}}}{\bar{h}} \times 100$
Desvio Médio Percentual	$DMP = \frac{\sum \left( \frac{\hat{h} - h}{h} \right)}{n} \times 100$

Em que SQ= soma de quadrados; QM = Quadrado médio; n= número de observações; p= número de coeficientes da regressão; h= altura observada;  $\hat{h}$  = altura estimada;  $\bar{h}$ = altura média observada;

### 2.3 Validação

Para a validação das equações ajustadas foram selecionadas, do banco de dados, 144 árvores (20%) que representam todas as classes de diâmetro, esses dados não foram utilizados no ajuste das equações. Na validação foi usado o teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) ao nível de significância de 5%, na qual foram testadas as seguintes hipóteses: H<sub>0</sub>: Não existe diferença significativa entre a altura real e a altura estimada pelo modelo escolhido; e H<sub>1</sub>: Existe diferença significativa entre a altura real e a altura estimada pelo modelo escolhido.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de F variaram entre 1366,90 a 627,12. O maior valor de F foi da equação de Stoffels com 1366,90, entretanto a equação de Trorey apresentou o segundo maior valor com 1286,15. A equação com menor valor foi a de Assmann com 627,12. F foi significativo a 5% para todos os modelos, indicando que existe regressão entre as variáveis dependentes e independentes. Com esses valores pode-se dizer que pelo menos um coeficiente da regressão é significativo para todos os modelos da equação. Todos os resultados estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Estatística de precisão.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	F	$R^2_{ajust}$	Syx%	Syx <sub>ajust</sub>	DMP
Assmann	5,886521	-7,56436	-	627,12	0,52	32,16	-	14,92

Trorey	-0,21461	0,98413	-0,02748	1286,15	0,82	19,88	-	9,36
Prodan	1,316862	0,769434	0,057553	808,57	0,74	-	20,87	-0,58
Azevedo et al.	-0,74783	1,165153	0,88684	715,55	0,71	-	21,37	5,91
Curtis	1,870125	-2,45813	-	708,27	0,55	-	27,64	8,77
Stoffels	-0,11654	0,898377	-	1366,90	0,70	-	20,50	6,06

Fonte: Autores (2025).

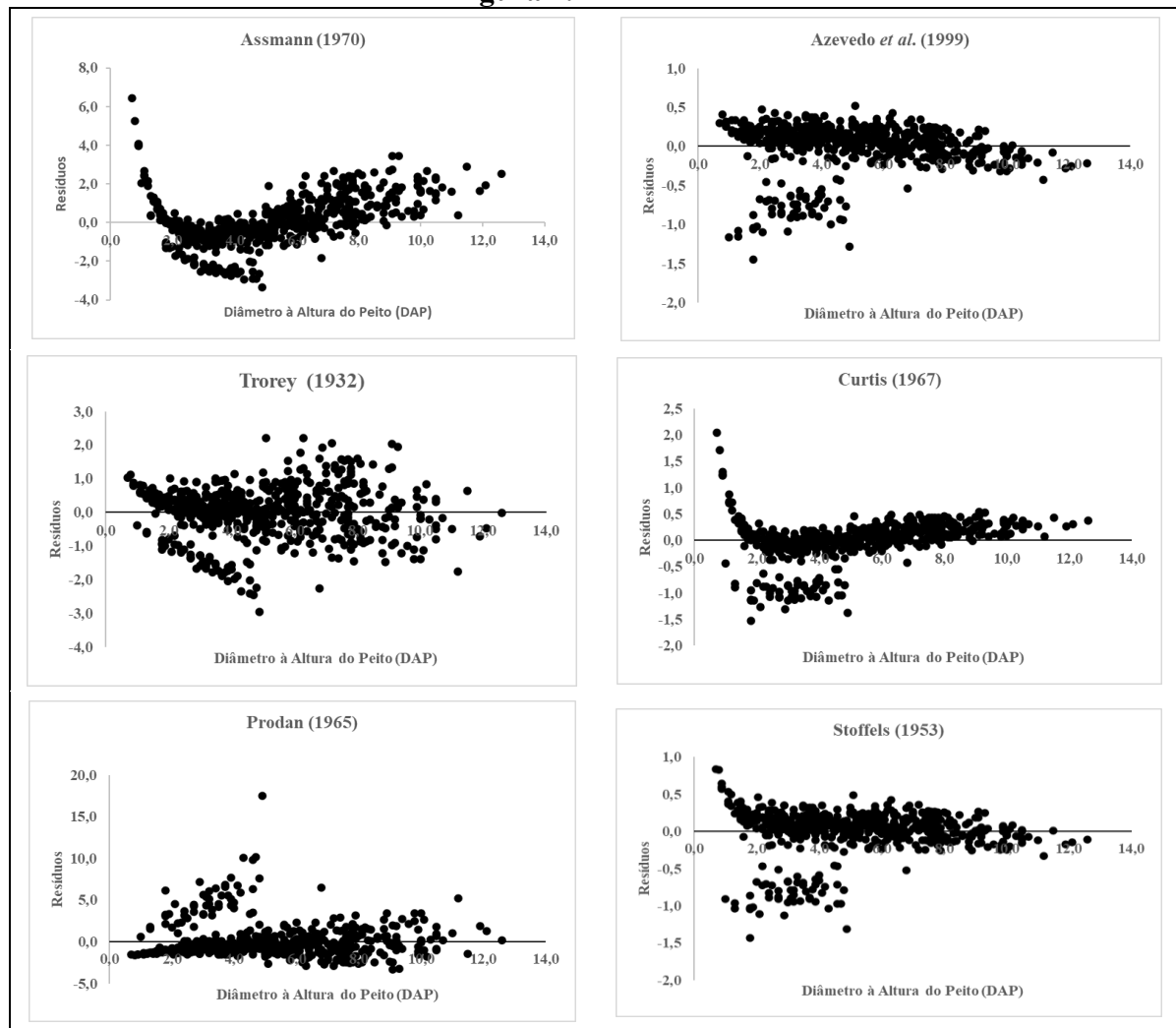
O Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) é utilizado para comparar equações com diferentes números de coeficientes quando for necessário (Sanquetta et al., 2014). As equações apresentaram bons resultados para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ), com valores que variaram de 0,52 a 0,82, os maiores valores foram para as equações de Trorey e Prodan com 0,82 e 0,74 e os menores valores de  $R^2$  para Assmann e Curtis com 0,52 e 0,55, respectivamente. De acordo com Campos e Leite (2006), é normal que os valores encontrados de  $R^2$  para equações hipsométricas não sejam maiores que 0,80, pois a relação entre altura e diâmetro não é tão forte. Silva et al. (2016) ajustou as equações hipsométricas para a espécie *Khaya ivorensis*, na região de Pirapora, Minas Gerais, com idade entre 30 e 54 meses, também em um plantio seminal e encontrou valores para o  $R^2$  próximos de 0,70, o que se aproxima com os valores encontrados neste estudo. Stolle et al. (2018) ajustou equações hipsométricas em um povoamento de *Khaya ivorensis* A. Chev proveniente de mudas por sementes, com três anos de idade e encontrou valores para o coeficiente de determinação, que variaram de 0,48 a 0,46, valores inferiores ao encontrado neste estudo.

O Erro Padrão da Estimativa demonstra a precisão do ajuste de um modelo matemático, quanto menor for o erro, melhor vai ser as estimativas obtidas com a equação (Thomas et al., 2006). Das seis equações ajustadas a equação de Trorey obteve o menor  $Syx\%$  com 19,88%. Para o erro da estimativa ajustado ( $Syx_{ajust}$ ), o menor valor foi o de Stoffels com 20,50% e o maior valor foi o de Curtis com 27,64%. Na pesquisa de Sanquetta et al. (2017), em um povoamento jovem de restauração florestal foram encontrados os valores de  $Syx\%$  próximos de 15%. Stolle et al. (2018) encontraram valor próximo de 11%, o que difere do presente trabalho, onde o menor  $Syx\%$  é de 19,88%. Entretanto valores semelhantes ao presente estudo foram encontrados por Gama (2018) que obteve um erro padrão percentual para a equação de Trorey de 19,85%, entretanto o menor erro no estudo de Gama (2018) foi para a equação de Prodan com 19,84%, se aproximando dos valores encontrados neste trabalho, onde a equação de Prodan obteve 20,87% para  $Syx_{ajust}$ .

O Desvio Médio Percentual (DMP) representa a média dos desvios entre os valores reais e estimados, medindo a tendência que os valores representam, quanto mais próximo de zero menor é a tendência. A equação de Prodan subestima a altura em 0,58%, os outros modelos superestimam a altura. Observando a análise gráfica dos resíduos (Figura 2) existem dois conjuntos de equações que são semelhantes entre si, o primeiro conjunto são as equações de Assmann, Curtis e Stoffels. O segundo

conjunto são as equações de Azevedo et al., Trorey e Prodan que apresentaram desempenho superior, em relação aos outros modelos. O teste de Qui-Quadrado aplicado na validação constatou que não existe diferença significativa entre os valores das alturas reais e os valores das alturas estimadas pelos seis modelos ajustados. Entretanto, as equações que apresentaram menor valor para o Qui-Quadrado foram as equações de Trorey, Stoffels e Azevedo et al.

**Figura 2.** Gráfico de resíduos.



Fonte: Autores (2025).

Analisando o valor ponderado dos parâmetros estatísticos (Tabela 5), as equações mais adequadas para estimar a altura de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss foi a de Trorey e Prodan por apresentarem maior precisão quando comparado com as outras equações.

Gama (2018) também ajustou 6 modelos de equações hipsométricas em um plantio seminal de *Khaya senegalensis* com 2,9 anos de idade localizado no Sul do estado do Tocantins, e determinou que o modelo mais adequado para estimar a altura é o de Trorey por ter uma facilidade no ajuste, igual o modelo encontrado no presente estudo. No estudo de Stolle et al. (2018) com a espécie *Khaya ivorensis*

A.Chev o modelo de Curtis apresentou os melhores resultados. Sousa et al. (2019) determinou que o modelo de Naslunde apresentou maior precisão no ajuste da equação.

**Tabela 5.** Valor ponderado dos parâmetros estatísticos.

<b>Autores</b>	<b>F</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust</b>	<b>Syx%</b>	<b>Syxajust</b>	<b>DMP</b>	<b>VP</b>
Trorey	2	1	1	-	5	9
Prodan	3	2	-	3	1	9
Stoffels	1	4	-	2	3	10
Azevedo et al.	4	3	-	4	2	13
Curtis	5	5	-	5	4	19
Assmann	6	6	6	-	6	24

**Fonte:** Autores (2022).

#### 4 CONCLUSÃO

Os modelos mais adequados para estimar a altura de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. são os de Trorey ( $H = -0,21461 + 0,98413 \times (DAP) + (-0,02748) \times (DAP)^2$ ) e Prodan ( $H = \frac{(DAP)^2}{1,316862 + 0,769434(DAP) + 0,057553(DAP)^2}$ ) por apresentarem os melhores parâmetros estatísticos de precisão.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Rancho São Lucas pelo suporte logístico e pela disponibilização da área de estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento e incentivo à pesquisa científica, à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) pelo apoio institucional e pela infraestrutura fornecida e aos voluntários que contribuíram diretamente para o sucesso desta pesquisa, investindo tempo e trabalho na coleta de dados.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CAMPOS, J. C. C; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas. 2.ed. Viçosa: ed. UFV, 2006.

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, documentos, 4. 1999.

FERREIRA, A. J.S; GOMES, J. M; SCHNEIDER, C. R. EQUAÇÕES DE VOLUME PARA *KHAYA SENEGALENSIS* (DESR.) A. JUSS. EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL. Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar, v. 10, n. 32, 2024.

FINGER, C.A.G. Biometria florestal. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

GAMA, C.R; ANDRADE, V. C. L. Equações hipsométricas e volumétricas para mogno africano no sul do Tocantins. Scientia Agraria Paranaensis, p. 507-514, 2018.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2020. Brasília, DF, 2020. 122p.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBA 2017. São Paulo: IBÁ, 2017. 80 p.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Rio de Janeiro, 2020. v 35, p 1-8.

IMESC. Perfil do Maranhão 2006/2007. v 1. São Luís: IMESC, 2008.

MAESTRI, M. P; AQUINO, M. G. C; RABELO, L. K. L. A praga do mogno brasileiro: *Hypsipyla grandella* Zeller. Biodiversidade, v. 19, n. 3, 2020.

MENEZES, R.H.N. Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFCG, 2009.

NASCIMENTO, F.C.A.; BRAGA, C.C.; ARAÚJO, F.R.C.D.; COSTA, E.V.S. Caracterização de Eventos Secos e Chuvosos na Microrregião de Imperatriz – MA. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 08, n. 02, p. 325-333. 2015.

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

RIBEIRO, A; FILHO, A. C. F; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. Floresta e Ambiente, v. 24, 2017.

SANQUETTA, C. R; CORTE, A. P; RODRIGUES, A. L; WATZLAWICK, L. F. Inventário florestais: planejamento e execução. 3ª ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. 406p.

SANQUETTA, C. R; SANQUETTA, M. N. I; BASTOS, A; QUEIROZ, A; CORTE, A. P. Estimativa da altura e do volume em povoamentos jovens de restauração florestal em Rondônia. BIOFIX Scientific Journal, v. 2, n. 2, p. 23-31, 2017.

SILVA, L. F. D; FERREIRA, G. L; SANTOS, A. C. A. D; LEITE, H. G; SILVA, M. L. D. Equações hipsométricas, volumétricas e de crescimento para *Khaya ivorensis* plantada em Pirapora. Floresta e Ambiente, v 23, p. 362-368, 2016.

SOARES, C. P; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. Dendrometria e inventário florestal. 2ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 272p.

SOUSA, J. M; JÚNIOR, R. A; GUERRA, S. P; EUFRADE-JÚNIOR, H. J. Modelagem de equações hipsométricas em plantio jovem de mogno africano (*Kaya senegalensis* A. Juss. Botucatu-SP: Fatec, 2019.

STOLLE, L.; VELOZO, D. R.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R., & BEUTLING, A. Modelos hipsométricos para um povoamento jovem de *Khaya ivorensis* A. Chev. BIOFIX Scientific Journal, v 3, n.2, p. 231-236, 2018.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER P.R.; FINGER, C.A. Comparação de equações volumétricas 526 ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 3. p. 319- 527 327, 2006.