


**PRODUTIVIDADE DE *Khaya grandifoliola*, *Tectona grandis* E *Acrocarpus fraxinifolius*
EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM CAFEIEIRO**

**PRODUCTIVITY OF *Khaya grandifoliola*, *Tectona grandis* AND *Acrocarpus fraxinifolius*
IN AN AGROFORESTRY SYSTEM WITH COFFEE**

**PRODUCTIVIDAD DE *Khaya grandifoliola*, *Tectona grandis* Y *Acrocarpus fraxinifolius*
EN UN SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n6-048>

Data de submissão: 08/05/2026

Data de publicação: 08/06/2026

Laila Atibo Raúl Amuda

Mestre em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: lailaamuda@gmail.com

Regis Pereira Venturin

Doutor em Engenharia Florestal
Instituição: Empresa de Pesquisa agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)
E-mail: regis@epamig.br

Adriene de Oliveira Bastos

Doutoranda em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: admadrienebastos@gmail.com

Paulo Victor Evangelista de Castilho

Doutorando em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: castilho.pve@gmail.com

Kalill José Viana da Páscoa

Doutor em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: kalill.pascoa@ufla.br

Nilza de Lima Pereira Sales

Doutora em Fitopatologia
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: nsales@ufla.br

Lucas Amaral de Melo

Doutor em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
E-mail: lucas.amaral@ufla.br

RESUMO

A mensuração e a quantificação do crescimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais ao longo do tempo constituem atividades essenciais para a tomada de decisões quanto às medidas de manejo adequadas, à definição da idade de corte, além de fornecer informações necessárias para a destinação do produto final. Esta pesquisa objetivou avaliar o crescimento de três espécies arbóreas (mogno-africano, teca e acrocarpo), em consórcio com café, no município de Santo Antônio do Amparo-MG. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, no esquema de fatorial 3 x 5 (três espécies arbóreas e cinco idades de avaliação). Para isso, foram mensurados o diâmetro à altura do peito, a altura total e o volume total, tendo sido ajustados modelos volumétricos. O modelo de Husch apresentou o melhor desempenho ($R^2_{aj} > 0,95$; $Sy_x\% < 10\%$). O acrocarpo destacou-se com maior crescimento médio em diâmetro, altura total e volume total ao longo do tempo. Aos oito anos, alcançou DAP de 36,74 cm, altura total de 18,48 m e volume total de 0,7947 m³ por indivíduo. O mogno-africano e teca apresentaram desempenho inferior e semelhante entre si. Os maiores incrementos correntes anuais (ICA) e incrementos médios anuais (IMA) também foram observados para o acrocarpo, evidenciando sua alta adaptabilidade e vigor inicial. As demais espécies mostraram crescimento mais moderado. Os resultados ressaltam o potencial do acrocarpo em SAF's com café, tanto do ponto de vista produtivo quanto ecológico, reforçando a importância do monitoramento do crescimento para o manejo eficiente e sustentável desses sistemas.

Palavras-chave: Mogno-africano. Teca. Acrocarpo. Modelos Volumétricos.

ABSTRACT

Measuring and quantifying the growth of tree species in agroforestry systems over time is essential for decision-making regarding appropriate management measures, determining the cutting age, and providing necessary information for the final product's destination. This research aimed to evaluate the growth of three tree species (African mahogany, teak, and acrocarp) intercropped with coffee in the municipality of Santo Antônio do Amparo-MG. A randomized block design with four replications was used, in a 3 x 5 factorial scheme (three tree species and five evaluation ages). For this purpose, diameter at breast height, total height, and total volume were measured, and volumetric models were fitted. The Husch model showed the best performance ($R^2_{aj} > 0.95$; $Sy_x\% < 10\%$). Acrocarp stood out with the greatest average growth in diameter, total height, and total volume over time. At eight years old, it reached a diameter at breast height (DBH) of 36.74 cm, a total height of 18.48 m, and a total volume of 0.7947 m³ per individual. African mahogany and teak showed inferior and similar performance. The highest current annual increments (CAI) and mean annual increments (MAI) were also observed for the acrocarp, highlighting its high adaptability and initial vigor. The other species showed more moderate growth. The results emphasize the potential of the acrocarp in agroforestry systems with coffee, both from a productive and ecological point of view, reinforcing the importance of growth monitoring for the efficient and sustainable management of these systems.

Keywords: Mogno-african. Teak. Acrocarp. Volumetric Models.

RESUMEN

Medir y cuantificar el crecimiento de especies arbóreas en sistemas agroforestales a lo largo del tiempo es esencial para la toma de decisiones sobre medidas de manejo apropiadas, la

determinación de la edad de corte y la provisión de información necesaria para el destino del producto final. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el crecimiento de tres especies arbóreas (caoba africana, teca y acrocarpa) intercaladas con café en el municipio de Santo Antônio do Amparo-MG. Se utilizó un diseño de bloques aleatorios con cuatro repeticiones, en un esquema factorial 3 x 5 (tres especies arbóreas y cinco edades de evaluación). Para ello, se midieron el diámetro a la altura del pecho, la altura total y el volumen total, y se ajustaron modelos volumétricos. El modelo de Husch mostró el mejor desempeño ($R^2_{aj} > 0,95$; $Syx\% < 10\%$). La acrocarpa se destacó con el mayor crecimiento promedio en diámetro, altura total y volumen total a lo largo del tiempo. A los ocho años, alcanzó un DAP de 36,74 cm, una altura total de 18,48 m y un volumen total de 0,7947 m³ por individuo. La caoba africana y la teca mostraron un desempeño inferior y similar entre sí. Los mayores incrementos anuales actuales (IAE) e incrementos anuales medios (IAM) también se observaron en el acrocarpo, lo que resalta su alta adaptabilidad y vigor inicial. Las demás especies mostraron un crecimiento más moderado. Los resultados enfatizan el potencial del acrocarpo en sistemas agroforestales con café, tanto desde el punto de vista productivo como ecológico, reforzando la importancia del monitoreo del crecimiento para la gestión eficiente y sostenible de estos sistemas.

Palabras clave: Caoba Africana. Teca. Acrocarpo. Modelos Volumétricos.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais destacam-se como modelos de uso da terra que mais se assemelham ecologicamente às florestas nativas, devido à integração de espécies arbóreas em paisagens agrícolas e/ou pecuárias, favorecendo o estabelecimento de sinergias entre os diferentes componentes do sistema. Essas interações são fundamentais para a melhoria do bem-estar humano e para a provisão de serviços ecossistêmicos (De Aguiar Junior *et al.* 2021, Alao & Shuaibu 2013, Kichel *et al.* 2014).

Além de sua relevância ecológica, os sistemas agroflorestais têm sido amplamente utilizados como estratégia para a recuperação de áreas degradadas, especialmente no Brasil, onde práticas relacionadas ao preparo inadequado do solo, às queimadas e à abertura de novas áreas agrícolas têm contribuído significativamente para a degradação ambiental (Oliveira *et al.* 2013, Sene & Bacha 2024). Nesse contexto, a introdução de espécies arbóreas desempenha papel central no enriquecimento da dinâmica produtiva do ecossistema (Macedo 2013), permitindo não apenas a otimização do uso da terra e dos fatores de produção, mas também a mitigação dos impactos ambientais e a diversificação das fontes de renda, com a produção de recursos madeireiros e não madeireiros (Fernandes 2015, Soares & Rosinha 2019).

Para que tais benefícios sejam efetivamente alcançados, é fundamental a escolha adequada das espécies arbóreas que compõem o sistema, associada ao conhecimento sobre seu desenvolvimento e desempenho. Aspectos silviculturais como crescimento, sobrevivência, adaptabilidade às condições ambientais e níveis de competição com outras culturas devem ser considerados (Macedo 2000). Nesse sentido, a mensuração e a quantificação do crescimento das espécies implantadas de forma periódica tornam-se essenciais para a previsão do desenvolvimento em povoamentos florestais, subsidiando decisões sobre a idade de corte, o uso de técnicas de manejo apropriadas e a destinação dos produtos florestais (Souza *et al.* 2019).

Entretanto, apesar da relevância do tema, ainda são escassos os estudos voltados à quantificação e à predição do crescimento de espécies arbóreas, em sistemas agroflorestais. Essa lacuna evidencia a necessidade de ampliação de pesquisas dessa natureza, a fim de fornecer informações científicas consistentes que orientem a adoção e o manejo adequado dessas espécies em sistemas produtivos.

Portanto, entre as espécies arbóreas mais utilizadas em sistemas agroflorestais nas diversas regiões de Minas Gerais, destacam-se o mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C.DC.), a teca (*Tectona grandis* L.f.) e o acrocarpo (*Acrocarpus fraxinifolius* Arn.) (Souza *et al.*

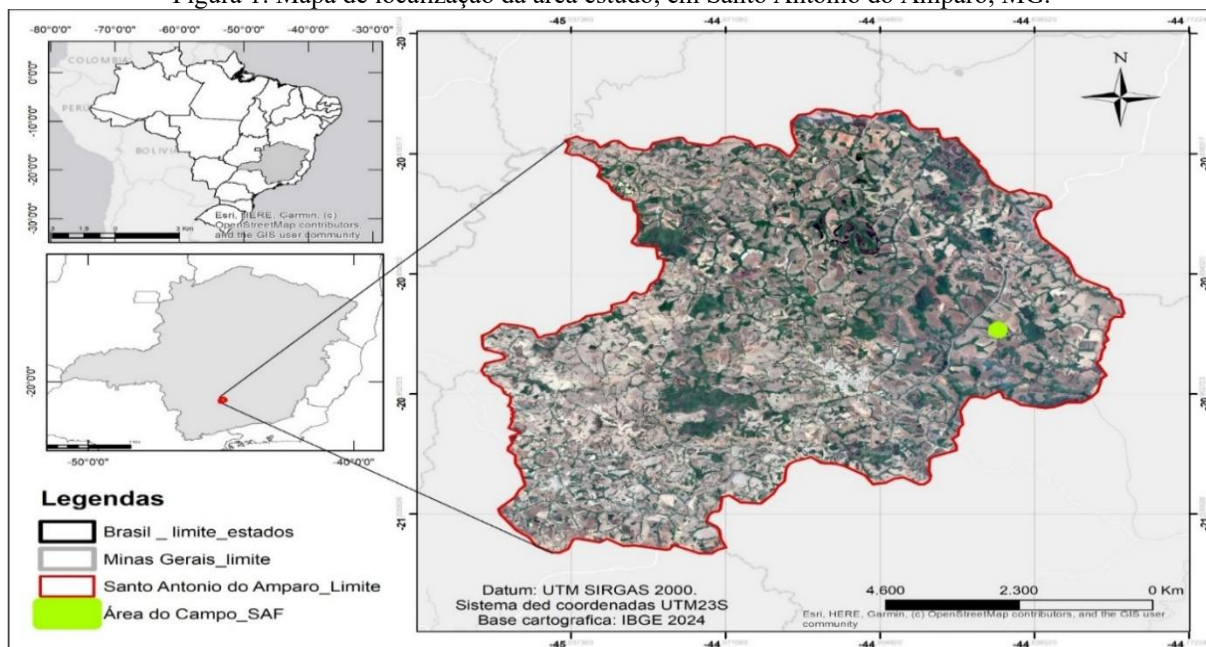
2019). Essas espécies podem apresentar grande potencial para o consórcio com o cafeeiro, agregando valor produtivo e ecológico aos sistemas implantados.

Diante desse cenário, a presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar o crescimento dessas espécies arbóreas em sistema agroflorestral com cafeeiro, contribuindo para o avanço do conhecimento técnico-científico sobre o tema e oferecendo subsídios para o aprimoramento das práticas silviculturais, trazendo informações técnicas a fim de subsidiar escolhas mais acertadas por parte de agricultores.

2 METODOLOGIA

O experimento foi instalado em 2012, na propriedade da empresa NKG Fazendas Brasileiras, localizada no município de Santo Antônio do Amparo-MG, cujas coordenadas são 20° 54' 58.1" S de latitude e 44° 51' 13.7" W de longitude, conforme indica a Figura 1. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima Cwa, subtropical úmido, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (Volpato *et al.* 2019), com altitude de 1089 m, temperatura média de 19,8 °C e precipitação de 1670 mm ano⁻¹ (Silveira *et al.* 2016).

Figura 1. Mapa de localização da área estudo, em Santo Antônio do Amparo, MG.

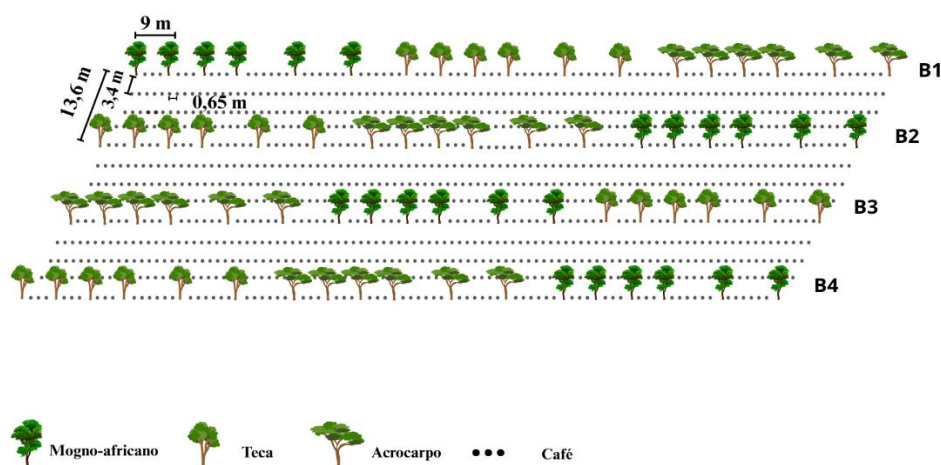


Fonte: dos autores (2026).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de fatorial 3 × 5, composto por três espécies arbóreas – mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C.DC.), teca (*Tectona grandis* L.f.) e acrocarpo (*Acrocarpus fraxinifolius*

Am.) – e cinco idades de avaliação (4, 5, 6, 7 e 8 anos). Essas espécies foram consorciadas com cafeeiro, implantadas no espaçamento de $13,6 \times 9$ m, conforme ilustra a Figura 2. A área experimental recebeu adubações e tratos silviculturais conforme as recomendações específicas para cada espécie até os sete anos de idade.

Figura 2. Layout do experimento de sistema agroflorestal, localizado no município de Santo Antonio do Amparo – MG.



Fonte: dos autores (2026).

Do primeiro ao oitavo ano do sistema, foi realizada a mensuração da circunferência à altura de 1,3 m do solo (CAP) e da altura total (Ht) das árvores de cada espécie. A CAP foi posteriormente convertida em diâmetro à altura do peito (DAP). Aos 12 anos, realizou-se a cubagem rigorosa de 10 árvores por espécie, utilizando o método de *Smalian*, com seções distribuídas ao longo do fuste. Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo do fator de forma, conforme metodologia descrita por Guava *et al.* (2021).

O DAP e a altura total foram então empregados para estimar o volume total individual (V_i) das árvores nas diferentes idades, utilizando a fórmula proposta por Figueiredo *et al.* (2009).

$$V_i = (DAP^2 \times \pi) / 40000) \times Ht \times ff$$

Onde:

Ln = Logaritmo neperiano;

V_i = Volume total individual da árvore (m^3);

DAP = Diâmetro a 1,3 metros do solo (cm);

Ht = Altura total da árvore (m).

De posse das informações obtidas, procedeu-se ao ajuste de modelos volumétricos, conforme apresentado na Tabela 1. A seleção do modelo mais adequado foi realizada com base na metodologia proposta por Souza *et al.* (2019) e Guava *et al.* (2021), considerando como critérios: o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o menor erro padrão da estimativa ($Syx\%$) e a melhor distribuição gráfica dos resíduos.

Tabela 1. Modelos volumétricos ajustados para as espécies arbóreas do sistema agroflorestal no município de Santo Antônio do Amparo – MG.

| No. | Modelo de volume | Denominação |
|-----|--|--------------------------|
| 1 | $V_i = (\pi * DAP^2) / 40000 * ht * f$ | Fator de forma |
| 2 | $\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP)$ | <i>Husch</i> |
| 3 | $V_i = \beta_0 + \beta_1 * (DAP^2 * ht)$ | <i>Spurr 1</i> |
| 4 | $V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * ht$ | <i>Spurr 2</i> |
| 5 | $\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP) + \beta_2 * \ln(ht)$ | <i>Schumacher-Hall</i> |
| 6 | $\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP) + \beta_2 * \ln^2(DAP) + \beta_3 * \ln(ht) + \beta_4 * \ln^2(ht)$ | <i>Prodan modificado</i> |
| 7 | $V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP * ht + \beta_3 * DAP^2 * ht$ | <i>Stote</i> |

V_i - Volume total individual (m^3); DAP - Diâmetro à altura do peito (cm); ht – Altura total (m); ln – Logaritmo neperiano; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – Coeficientes de regressão.

Fonte: dos autores (2026).

Os dados de volume foram transformados pela raiz quadrada para atender aos pressupostos da análise de variância, avaliados pelos testes de Shapiro–Wilk e Bartlett. As variáveis foram analisadas pelo teste F e, quando significativo, as médias das espécies foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Adicionalmente, foram simulados os incrementos corrente e médio anuais para DAP, altura total e volume individual das espécies. Todas as análises foram realizadas no *software* R, versão 4.3.2 (R Core Team 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os modelos testados para estimativa do volume, o modelo de *Husch* foi o que apresentou o melhor desempenho para todas as espécies arbóreas do sistema, considerando os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e os menores erros padrão da estimativa ($Syx\%$), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo de *Husch* ajustados para o volume das espécies arbóreas do sistema agroflorestal, no município de Santo Antônio do Amparo – MG.

| Espécies | β_0 | β_1 | R^2_{aj} | $Syx\%$ | Modelo |
|----------------|-----------|-----------|------------|---------|--------------|
| Mogno-africano | -10,7291 | 2,89445 | 0,9935 | 11,9943 | <i>Husch</i> |
| Teca | -10,2831 | 2,7145 | 0,9535 | 20,2748 | <i>Husch</i> |

| Acrocarpo | -9,70117 | 2,5642 | 0,9828 | 12,7592 | Husch |
|---|----------|--------|--------|---------|-------|
| R ² aj – Coeficiente de determinação ajustado; Syx% - erro padrão da estimativa; β0, β1 – Coeficientes de regressão. | | | | | |

Fonte: dos autores (2026).

De maneira consistente, não foram observadas tendências nos resíduos das equações, indicando que os modelos utilizados são adequados para a estimativa do volume das espécies de mogno-africano (*Khaya grandifoliola*), teca (*Tectona grandis*) e acrocarpo (*Acrocarpus fraxinifolius*).

Segundo Miguel *et al.* (2014), modelos com coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) superiores a 0,95 e erros padrão da estimativa ($Syx\%$) inferiores a 10% são considerados satisfatórios para estimativas volumétricas, sendo que quanto maior o R^2_{aj} e menor o $Syx\%$, maior é a eficiência e a confiabilidade do modelo, refletindo maior precisão nas estimativas volumétricas.

Nesse contexto, a equação de *Husch* demonstrou excelente desempenho, enquadrando-se nos critérios propostos pelos autores, o que reforça sua precisão estatística. Além disso, conforme aponta Lanzarin *et al.* (2018), esse modelo apresenta vantagem adicional de utilizar apenas o diâmetro à altura do peito (DAP) como variável independente, o que torna sua aplicação prática mais simples e eficiente, especialmente em situações com restrições de mensuração de outras variáveis dendrométricas.

Os valores médios de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e volume total individual (V_i) das espécies arbóreas, mensurados entre 4 e 8 anos de idade, revelam diferenças significativas entre as espécies e entre as idades avaliadas (Tabela 3.).

Tabela 3. Valores médios das variáveis de crescimento das espécies arbóreas, ao longo dos anos, em sistema agroflorestal no município de Santo Antônio do Amparo – MG

| Espécies | Idade (anos) | | | | |
|----------------|-----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | <i>DAP</i> (cm) | | | | |
| Mogno-africano | 5,71 bD | 8,66 bC | 12,16 bB | 17,73 bA | 19,28 bA |
| Teca | 7,63 bC | 9,67 bBC | 12,26 bB | 16,32 bA | 18,83 bA |
| Acrocarpo | 15,26 aE | 19,25 aD | 25,09 aC | 32,50 aB | 36,74 aA |
| | <i>Ht</i> (m) | | | | |
| Mogno-africano | 3,63 cE | 5,56 cD | 7,58 bC | 9,83 bB | 11,42 bA |
| Teca | 5,44 bC | 7,40 bB | 8,50 bAB | 9,01 bA | 9,50 cA |
| Acrocarpo | 10,75 aD | 13,06 aC | 15,55 aB | 17,59 aA | 18,48 aA |
| | <i>Vi</i> (m ³) | | | | |
| Mogno-africano | 0,0588 bC | 0,1068 bC | 0,1739 bB | 0,3002 bA | 0,3388 bA |
| Teca | 0,0924 bC | 0,1272 bBC | 0,1760 bB | 0,2591 bA | 0,3143 bA |
| Acrocarpo | 0,2579 aE | 0,3477 aD | 0,4882 aC | 0,6797 aB | 0,7947 aA |

*Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha para a mesma característica, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; DAP – Diâmetro à altura do peito; Ht – Altura total; Vi – Volume total individual.

Fonte: dos autores (2026).

O acrocarpo apresentou, de forma consistente, os maiores valores de diâmetro à altura do peito (DAP) em todas as idades avaliadas, atingindo 36,74 cm no oitavo ano, valor significativamente superior ao observado para o mogno-africano e a teca. As espécies mogno-africano e teca, por sua vez, não diferiram estatisticamente entre si ao longo do tempo, indicando comportamento semelhante quanto ao crescimento diamétrico. Apesar dessas diferenças entre espécies, o DAP aumentou progressivamente com a idade para todas as espécies estudadas, com diferenças estatísticas entre os anos, indicando que o espaço entre as plantas e a competição com as plantas de café, ainda não foram restritivas a continuação do crescimento.

Em relação à altura total (Ht), o acrocarpo também apresentou os maiores valores médios, atingindo 10,75 m aos quatro anos e 18,48 m aos oito anos. O mogno-africano mostrou crescimento gradativo, alcançando 11,42 m aos oito anos. Já a teca apresentou os menores valores de altura total, atingindo 9,50 m ao final do período avaliado, sem diferença significativa a partir dos seis anos, o que pode indicar uma estagnação no ritmo de crescimento em altura.

Higa & Prado (1998) reportaram crescimento inferior ao verificado neste estudo para a espécie acrocarpo aos três anos; os autores registraram um DAP de 14,32 cm e altura de 11,90 m; aos seis anos, 17,40 cm e 16,56 m, respectivamente. De acordo com Niembro (1985), o acrocarpo é uma espécie de rápido crescimento, tanto horizontal, como vertical, chegando a

alcançar uma média de até 11,5 cm de DAP e 12,75 m de altura aos dois anos de idade, evidenciando a plasticidade e o potencial produtivo da espécie em diferentes ambientes.

Para o mogno-africano, os resultados aqui obtidos superaram os de Heryati *et al.* (2011) na Malásia, onde a espécie apresentou DAP entre 11,6 cm e 14,4 cm e altura de 7,8 m a 10,6 m aos cinco anos. No caso da teca, Castro *et al.* (2008) reportaram valores superiores em um sistema silvipastoril no Pará (22 cm de DAP e 12 m de altura aos sete anos), sugerindo forte influência das condições edafoclimáticas e do arranjo de cultivo no desempenho da espécie. Quando comparados aos estudos de Tonini *et al.* (2009) e Da Silva *et al.* (2014), observa-se que os valores de DAP da teca neste estudo foram superiores, enquanto a altura total foi inferior. Essas diferenças podem estar associadas tanto às condições locais de solo e clima quanto ao manejo empregado, confirmando a variabilidade do desempenho da teca em diferentes cenários produtivos.

No que se refere ao volume total (Vt), o acrocarpo destacou-se novamente, apresentando os maiores valores ao longo de todo o período avaliado, partindo de 0,2579 m³ aos quatro anos e alcançando 0,7947 m³ aos oito anos de idade. O mogno-africano e a teca, por sua vez, apresentaram volumes semelhantes entre si, ambos inferiores a 0,35 m³ aos oito anos, sem diferenças estatísticas significativas entre as idades avaliadas.

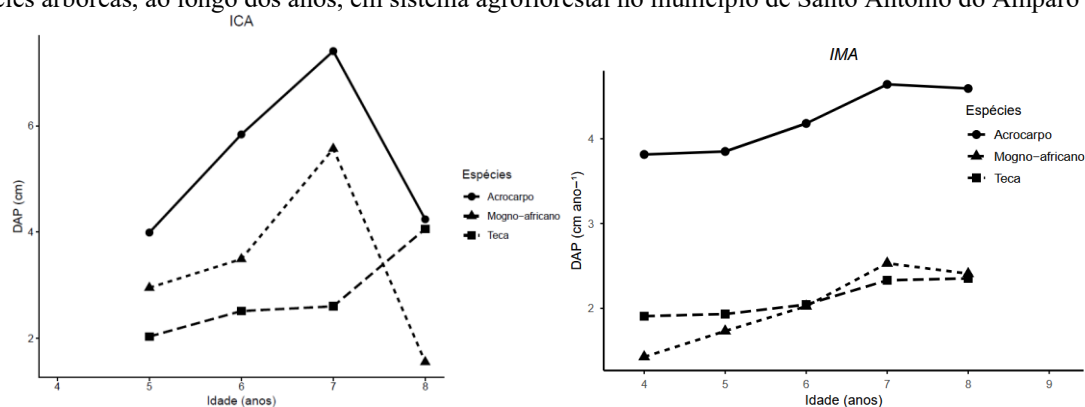
Esses resultados contrastam com os de Whitmore & Otarola (1976), que observaram volume individual de apenas 0,0221 m³ aos sete anos para o acrocarpo, evidenciando diferenças marcantes de desempenho em razão da variação das condições edafoclimáticas (diferença de fertilidade, regime hídrico e regime de radiação) entre os estudos, além de fatores como o espaçamento adotado e o sistema de cultivo. Para o mogno-africano, Heryati *et al.* (2011) reportaram valores bastante inferiores (0,0936 m³ a 0,0517 m³ aos cinco anos), reforçando a influência regional e edáfica sobre o crescimento da espécie.

No caso da teca, os valores de volume obtidos se situam entre os relatados na literatura. Tonini *et al.* (2009) encontraram incremento volumétrico superior, atingindo 0,4327 m³ aos sete anos, enquanto Da Silva *et al.* (2014) reportaram valores mais modestos, de até 0,1454 m³ aos oito anos. Essa discrepância confirma que o desempenho da teca é altamente condicionado ao ambiente e ao manejo, podendo variar de estagnação a resultados competitivos em relação a outras espécies florestais tropicais.

Entre as espécies avaliadas, o acrocarpo apresentou os maiores incrementos de diâmetro à altura do peito (DAP) tanto em relação ao incremento corrente anual (ICA) quanto ao

incremento médio anual (IMA), enquanto o mogno-africano e a teca exibiram crescimento mais moderado, considerando os valores de DAP observados ao longo dos anos, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Valores de incremento corrente anual e incremento médio anual do diâmetro à altura do peito das espécies arbóreas, ao longo dos anos, em sistema agroflorestal no município de Santo Antônio do Amparo – MG



DAP – Diâmetro à altura do peito; ICA – Incremento corrente anual; IMA – Incremento médio anual.
Fonte: dos autores (2026).

A dinâmica de crescimento do DAP das espécies avaliadas evidenciou padrões distintos ao longo do tempo. O acrocarpo apresentou os maiores valores de incremento corrente anual (ICA), alcançando 7,41 cm no sétimo ano e uma queda acentuada no ICA aos oito anos (4,24 cm), possivelmente indicando o início da competição por recursos ou o efeito de autossombreamento.

O mogno-africano por sua vez, apresentou um aumento gradual no ICA até o sétimo ano, seguido por uma expressiva redução até os 8 anos, atingindo 1,55 cm. Já a teca apresentou crescimento relativamente estável até os 7 anos, seguido de um aumento expressivo aos 8 anos

Os valores de incremento médio anual (IMA) corroboram as tendências do ICA, com o acrocarpo mantendo os maiores valores durante todo o período avaliado, ultrapassando os 4,5 cm ano^{-1} aos oito anos. O mogno-africano e a teca, por sua vez, apresentaram valores de IMA semelhantes (ambos em torno de 2,4 cm ano^{-1} ao oitavo ano), indicando crescimento estável, porém inferior ao do acrocarpo.

Tais resultados evidenciam o maior desempenho silvicultural do acrocarpo em termos de crescimento em DAP, o que sugere maior adaptabilidade às condições edafoclimáticas e de manejo do sistema agroflorestal avaliado. Esses achados estão de acordo com os dados reportados por Higa & Prado (1998), que observaram incrementos médios anuais de DAP

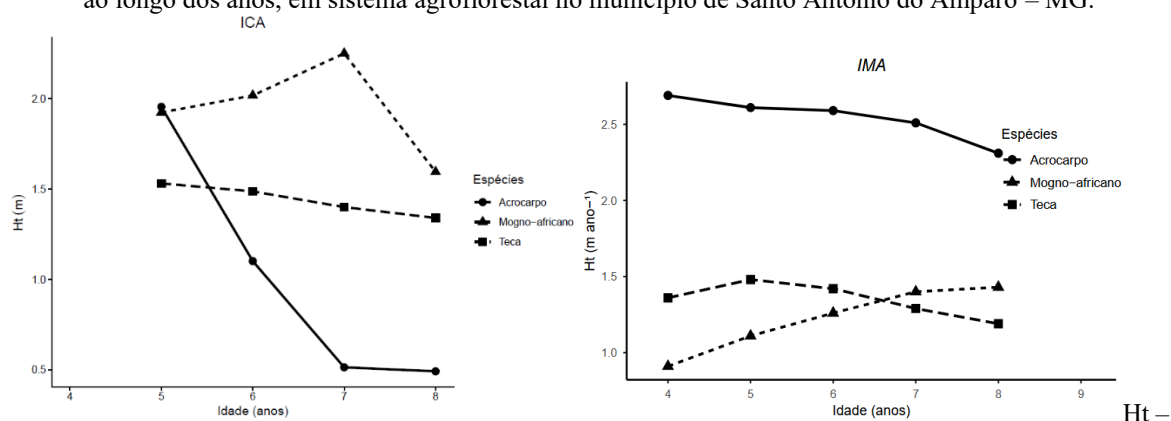
variando entre 3,64 e 4,01 cm ano⁻¹ aos 3,4 anos, valores ligeiramente inferiores, porém compatíveis com os obtidos no presente estudo.

Para o mogno-africano, os resultados encontrados corroboram os de Carmona *et al.* (2018), que registraram IMA de DAP entre 2,5 e 2,6 cm ano⁻¹ no intervalo de 10 a 16 anos, bem como os dados de Heryati *et al.* (2011), que relataram incrementos entre 2,32 e 2,88 cm ano⁻¹ aos cinco anos de idade. Tais dados reforçam o desempenho moderado e estável dessa espécie, mesmo sob diferentes condições ambientais.

No caso da teca, Tonini *et al.* (2009) constataram incrementos correntes anuais de DAP variando de 1,43 a 1,12 cm e incrementos médios anuais entre 1,43 e 1,27 cm ano⁻¹. Por sua vez, Da Silva, Silva *et al.* (2014) identificaram maior variabilidade nos incrementos, com ICA de DAP oscilando entre 1,74 cm aos quatro anos e 0,88 cm aos oito anos, e IMA entre 2,69 e 1,97 cm ano⁻¹ no mesmo intervalo. Tais dados indicam uma tendência de redução gradual no crescimento diamétrico da teca ao longo do tempo.

O acrocarpo apresentou os maiores incrementos correntes anuais (ICA) e médios anuais (IMA), destacando-se especialmente nos primeiros anos de crescimento. O mogno-africano e a teca exibiram crescimento mais moderado, com valores de incremento menores e mais estáveis ao longo dos anos (Figura 4).

Figura 4. Valores de incremento corrente anual e incremento médio anual da altura total das espécies arbóreas, ao longo dos anos, em sistema agroflorestal no município de Santo Antônio do Amparo – MG.



Altura total; ICA – Incremento corrente anual; IMA – Incremento médio anual.

Fonte: dos autores (2026).

Os dados revelam distintos padrões de crescimento vertical entre as espécies ao longo do tempo. O acrocarpo apresentou os maiores valores de ICA nos anos iniciais, com pico aos quatro anos (2,69 m), seguido de declínio acentuado até os oito anos (0,88 m), caracterizando um crescimento inicial vigoroso típico de espécies de rápido desenvolvimento.

O mogno-africano exibiu incremento mais gradual, atingindo o valor máximo aos sete anos (2,25 m) e ligeira redução aos oito anos (1,60 m), sugerindo um padrão de crescimento mais contínuo, ao passo que a teca manteve os menores valores de ICA ao longo do período, entre 1,36 m e 0,49 m, com tendência de decréscimo após os cinco anos, possivelmente em razão de limitações fisiológicas ou competição no sistema agroflorestal.

A análise do incremento médio anual (IMA) da altura total evidenciou padrões distintos de crescimento entre as espécies arbóreas ao longo do tempo. O acrocarpo apresentou os maiores valores em todas as idades avaliadas, com pico aos quatro anos (2,69 m ano⁻¹) e leve declínio até os oito anos (2,31 m ano⁻¹), indicando um crescimento vertical vigoroso e precoce, característico de espécies de rápido crescimento.

O mogno-africano demonstrou um comportamento oposto, com incremento médio anual crescente ao longo dos anos, passando de 0,91 m ano⁻¹ aos quatro anos para 1,43 m ano⁻¹ aos oito anos. Essa trajetória sugere um crescimento mais gradual e estável, com potencial de incremento contínuo em fases mais avançadas do ciclo.

Por sua vez, a teca apresentou um padrão mais irregular, com valores de IMA variando entre 1,36 e 1,19 m ano⁻¹, sem tendência clara de crescimento. Essa oscilação pode refletir maior sensibilidade à competição ou menor eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis no sistema agroflorestal.

Esses resultados estão em consonância com a literatura. **Whitmore & Otarola (1976)** relataram que o acrocarpo pode apresentar incremento médio anual de altura entre **1,3 e 3,0 m ano⁻¹**, o que confirma seu alto potencial de crescimento vertical. De forma complementar, **Higa e Prado (1988)** observaram valores ainda mais expressivos, com IMA de **1,47 m ano⁻¹ aos 12 meses e até 5,1 m ano⁻¹ aos 18 meses**, em diferentes regiões do Brasil, indicando grande plasticidade da espécie em condições favoráveis.

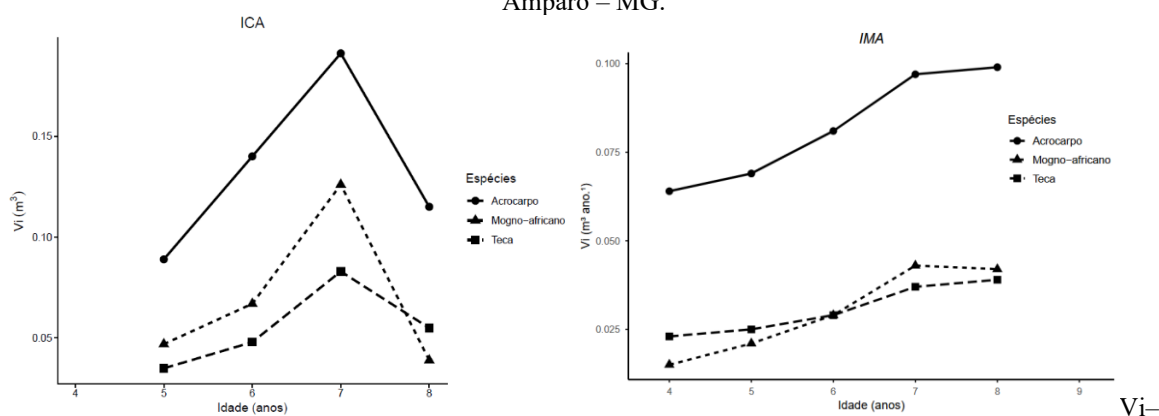
Para o mogno-africano, Santos *et al.* (2022), avaliando o crescimento e a produtividade de *Khaya spp.*, verificaram IMA de 1,4 m ano⁻¹ em altura total até os cinco anos de idade, valor ligeiramente superior ao encontrado no presente estudo. Por outro lado, Silva & Barreira (2023) observaram, sob diferentes espaçamentos, valores variando entre **0,55 m ano⁻¹ e 1,18 m ano⁻¹** aos sete anos, os quais corroboram o desempenho **moderado e consistente** da espécie sob diferentes condições de cultivo.

No caso da **teca**, os resultados obtidos estão alinhados com os de **Macedo *et al.* (2005)**, que observaram ICA entre **0,5 e 0,8 m** aos dois anos de idade. De maneira semelhante, **Rossi**

et al. (2011) reportaram uma **redução progressiva no crescimento vertical** da teca, com ICA variando de **2,18 m aos dois anos para 0,44 m aos oito anos**, e IMA de **2,36 m ano⁻¹ aos dois anos para 1,37 m ano⁻¹ aos oito anos**. Esses dados confirmam o padrão decrescente de crescimento diamétrico e vertical da teca com o avanço da idade, compatível com o observado no presente estudo.

Os valores de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) em volume total individual das espécies arbóreas cultivadas em sistema agroflorestal evidenciaram dinâmicas e padrões de crescimento vertical distintos entre as espécies ao longo do tempo, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5. Valores de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) do volume total individual das espécies arbóreas, ao longo dos anos, em sistema agroflorestal no município de Santo Antônio do Amparo – MG.



Volume total individual; ICA – Incremento corrente anual; IMA – Incremento médio anual.
Fonte: dos autores (2026).

A análise dos incrementos de volume total revela diferentes estratégias de crescimento entre as espécies avaliadas. O acrocarpo apresentou os maiores valores de ICA em todos os anos, com crescimento contínuo até os sete anos, atingindo o pico de 0,191 m³ e uma queda do ICA aos oito anos (0,115 m³), que pode estar relacionada a fatores como sombreamento, competição ou esgotamento de recursos, refletindo uma desaceleração do crescimento.

O mogno-africano apresentou aumento gradual no ICA até os sete anos (0,126 m³), indicando acúmulo progressivo de volume. No entanto, houve uma queda no ICA aos oito anos (0,039 m³), o que sugere desaceleração no crescimento ou possível competição com outras espécies do sistema. Ao passo que a teca apresentou os menores valores de ICA ao longo de todo o período avaliado, com um pico aos sete anos e uma leve queda aos oito anos (0,055 m³). Esse padrão sugere um crescimento mais lento e possivelmente relacionado a própria espécie.

Em relação ao IMA, o acrocarpo apresentou o desempenho mais elevado entre as espécies, crescendo gradualmente de $0,064 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos quatro anos para $0,099 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos oito anos, revelando um bom padrão de crescimento ao longo do tempo, com tendência à estabilização.

O mogno-africano teve um crescimento mais discreto, passando de $0,015 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos quatro anos para $0,042 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos oito anos, revelando um padrão de crescimento mais sustentado. Por outro lado, a teca apresentou uma ligeira oscilação no IMA ao longo do período, com $0,023 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos quatro anos e $0,039 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos oito anos, revelando menor eficiência no acréscimo em volume.

Esses resultados são corroborados por estudos anteriores. **Venturin *et al.* (2014)** observaram que o acrocarpo pode atingir ICA de volume individual entre **$0,0010 \text{ m}^3$ e $0,0191 \text{ m}^3$** e IMA entre **$0,0010 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $0,0162 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$** até os sete anos de idade, evidenciando seu **elevado potencial produtivo** sob condições favoráveis.

Para o **mogno-africano**, **Lemmens (2008)** observou IMA de **$7,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}$** aos 27 anos de idade, o que confirma seu **potencial de longo prazo**, mesmo sob diferentes condições ambientais.

No caso da teca, os resultados obtidos neste estudo foram superiores aos de **Da Silva *et al.* (2014)**, que relataram ICA variando de $0,0100 \text{ m}^3$ ao um ano para $0,0186 \text{ m}^3$ aos oito anos, e IMA entre $0,0050 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $0,0182 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ no mesmo período. De forma semelhante, **Rossi *et al.* (2011)** reportaram ICA de $0,0060 \text{ m}^3$ aos dois anos até $0,0210 \text{ m}^3$ aos oito anos, e IMA entre $0,0040 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $0,0170 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, confirmando a menor taxa de crescimento volumétrico da teca em comparação com as demais espécies.

4 CONCLUSÃO

As espécies arbóreas avaliadas apresentaram bom crescimento ao longo dos anos, com diferenças entre si. O acrocarpo destacou-se nos parâmetros dendrométricos e nos incrementos anuais, indicando maior desempenho nas condições agroflorestais estudadas. O mogno-africano e a teca apresentaram crescimento semelhante, embora a teca tenha demonstrado tendência de estagnação a partir do sexto ano.

Deste modo, o acrocarpo mostra maior potencial para sistemas que visam rápida produção de biomassa, enquanto o mogno-africano e a teca podem contribuir para a diversificação e produção de madeira de alto valor em sistemas agroflorestais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras (UFLA), aos técnicos do Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF), do Laboratório de Estudos e Projetos de Manejo Florestal (LEMAF) e aos demais colaboradores.

Os agradecimentos são extensivos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pelo fornecimento da base de dados e à FAPEMIG por financiar parte da pesquisa com o apoio do Projeto APQ 05543-24.

REFERÊNCIAS

- ALAO, J. S.; SHUAIBU, R. B. Agroforestry practices and concepts in sustainable land use systems in Nigeria. *Journal of horticulture and forestry*, v. 5, n. 10, p. 156-159, 2013.
- CARMONA, Iara Nobre et al. Variáveis morfométricas de três espécies florestais em sistema agroflorestal. *Revista Agroecossistemas*, v. 10, n. 1, p. 131-144, 2018.
- CASTRO, Anderson Corrêa et al. Silvopastoral system in the Amazon region: tool to increase the productive performance of buffaloes. *Ciencia Rural*, v. 38, p. 2395-2402, 2008.
- DA SILVA, Fabricia rodrigues et al. Crescimento de *Tectona grandis* em um uma plantação no município de alta floresta, Mato Grosso. *Floresta*, v. 44, n. 4, 2014.
- DE AGUIAR JUNIOR, Adenio Louzeiro et al. Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais. *Advances in Forestry Science*, v. 8, n. 1, p. 1349-1362, 2021.
- DE SENE, Savio Mendonça; BACHA, Carlos José Caetano. Evolução dos sistemas agroflorestais na agropecuária do Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 55, n. 3, p. 80-99, 2024.
- FERNANDES, P. Projeto Integração Lavoura-Pecuária Floresta na Região Norte do Brasil pela Embrapa (2007-2012). Embrapa Amazônia Oriental, 2015.
- FIGUEIREDO, Evandro Orfanó et al. Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia. Embrapa Acre. Comunicado técnico, v. 173, 2009.
- GAVA, Fernando Henrique et al. Volume, incremento e crescimento em povoamentos clonais e seminais de *Teca* com danos na copa. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, v. 18, n. 43, p. 79-86, 2021.
- HERYATI, Yetti et al. Growth performance and biomass accumulation of a *Khaya ivorensis* plantation in three soil series of ultisols. 2011.
- HIGA, Antonio R.; PRADO, Ciro de Almeida. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. 1998.
- KICHEL, Armindo Neivo et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)-Experiencias no Brasil. *Boletim de Industria Animal*, v.71, n.1, p.94-105, 2014.
- LANZARIN, Karina et al. Crescimento e biomassa de indivíduos jovens de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. *Biofix*, v. 3, p. 96-102, 2018.
- LEMMENS, R.H.M.J., 2008. *Khaya ivorensis* A.Chev. [Internet] Record from PROTA4U. Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A. & Brink, M. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Accessed 13 June 2025.

MACEDO, Jeferson Luis Vasconcelos et al. Sistemas agroflorestais: princípios básicos. Manaus, Instituto Amazônia, Embrapa Amazônia Ocidental, 2013.

MACEDO, Renato Luiz Grisi et al. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* Lf (teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. *Cerne*, v. 11, n. 1, p. 61-69, 2005.

MACEDO, Renato Luiz Grisi. Fundamentos básicos para implantação e manejo de sistemas agroflorestais. In: MACEDO, RLG Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA/Faepe, p. 5-35, 2000.

MIGUEL, Eder Pereira et al. MODELAGEM NA PREDIÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL EMPLANTIO DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS*. *Rev. Bras. Biom*, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014.

NIEMBRO, A. Importancia del conocimiento y la necesidad de investigación en semillas forestales para el establecimiento de plantaciones en México. 1985.

OLIVEIRA, Piscila et al. Evolução de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF): estudo de caso da Fazenda Santa Brígida, Ipameri, GO: Embrapa Cerrados, 2013.

R Core Team (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>. Acesso em: 21 de Jun. 2024.

ROSSI, A. S. et al. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* Lf no município de Monte Dourado, Pará. *Scientia Forestalis (Brazil)*, v. 39, n. 91, 2011.

SANTOS, Felipe Martini et al. Growth, yield and stem form of young African mahoganies (*Khaya* spp.) in mixed-species plantations and successional agroforestry systems. *New Forests*, v. 53, n. 1, p. 181-202, 2022.

SILVA, Ryan; BARREIRA, Sybelle. Desenvolvimento de *Khaya grandifoliola* c. dc. sob diferentes espaçamentos de plantio. *Agrarian Academy*, v. 10, n. 19, p. 91-98, 2023.

SILVEIRA, Helbert Rezende de Oliveira et al. Impactos da deficiência hídrica nas respostas ecofisiológicas e espectrais do cafeeiro consorciado com espécies madeireiras. *Coffee Science*, Lavras, v. 11, n. 3, p. 318 - 328, jul./set. 2016.

SOARES, C.; ROSINHA G. Segurança alimentar, sustentabilidade e produção de proteína de origem animal. In: VILELA E.; CALLEGARO G.; FERNANDES, G. *Biomass e Agricultura: Oportunidade e Desafios*. Academia Brasileira de Ciências/FAPEMIG. Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019. P.149-162.

SOUZA, Hudson Santos et al. Produtividade de teca em sistema agroflorestal com milho e gado. *Advances in Forestry Science*, v. 6, n. 4, p. 827-834, 2019.

TONINI, Helio et al. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 59, p. 05, 2009.

VENTURIN, Nelson et al. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. *Cerne*, v. 20, p. 629-636, 2014.

VOLPATO, Margarete Marin Lordelo et al. Relação entre índices de vegetação de áreas cafeeiras e variáveis do balanço hídrico, em Santo Antônio do Amparo, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, out. 2019, Vitória. Resumos [...]. Vitória: SBI, 2019.

WHITMORE, J. L.; OTÁROLA, A. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight, especie de rápido crecimiento inicial, buena for forma y madera de usos múltiples. *Turrialba*; Vol. 26, no. 2, 1976