

Variáveis morfométricas de quatro espécies florestais em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará

Morphometric variables of four forest species in a silvopastoral system in the municipality of Belterra, Pará

Variables morfométricas de cuatro especies forestales en un sistema silvopastoril en el municipio de Belterra, Pará

Recebido: 08/02/2022 | Revisado: 15/02/2022 | Aceito: 20/02/2022 | Publicado: 02/03/2022

Diego Damásio Baloneque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0659-7122>
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
E-mail: balonequedd@gmail.com

Daniela Pauletto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1855-6077>
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
E-mail: paulettoflorestal@gmail.com

Lucas Sérgio Sousa Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1613-820X>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: lucaasergio@gmail.com

Rafael Rode

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7070-7293>
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
E-mail: rafaelrode@gmail.com

Thiago Gomes de Sousa Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4439-5724>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: oliveira.tgso@gmail.com

Resumo

Os estudos de morfometria de árvores buscam transmitir uma ideia das relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado pelas árvores, julgar o grau de concorrência do povoamento, além de inferências sobre estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo. Neste âmbito, julga-se necessário a promoção de estudos em sistemas agroflorestais que visam a integração entre espécies arbóreas, espécies forrageiras e animais com a finalidade de auferir produtos ou serviços destes componentes. Neste trabalho foram avaliados 200 indivíduos, divididos entre 4 espécies florestais de grande relevância no mercado, implantados em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará. O cumaru (*Dypteryx* sp) foi plantado em fileiras duplas (10 x10 m), o mogno-africano (*Khaya* sp) em fileiras duplas (10x10 m) e simples (10 metros entre plantas), a teca (*Tectona grandis*) em fileiras triplas (7x7 m) e a andiroba (*Carapa guianensis*) disposta em fileiras quádruplas de 7x7 m. Dentre os parâmetros avaliados, foi calculado o incremento médio anual, tanto para altura quanto para diâmetro. O mogno apresentou resultados superiores para Altura Total, em 14,8 % para a andiroba, 38,4 % em relação à teca e para o cumaru 21,2%. Notou-se diferença entre os valores de inserção de copa e altura comercial que variaram, para todas as espécies estudadas, de 3,8 a 55,2 %, o que justifica a coleta destas variáveis separadamente. O mogno foi a espécie que apresentou melhores resultados tanto de povoamento quanto morfométricos. Constatou-se a tendência de indivíduos de estratos inferiores promoverem desenvolvimento em diâmetro de copa mais acentuado quando comparado às demais variáveis.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais; Produtos florestais não madeireiros; Cultivos arbóreos.

Abstract

Tree morphometric studies seek to convey an idea of interdimensional relationships, reconstitute the space occupied by trees, judge the degree of population competition, as well as inferences about stability, vitality and productivity of each individual. In this context, it is deemed necessary to promote studies in agroforestry systems that aim at the integration between tree species, forage species and animals in order to obtain products or services from these components. In this work, 200 individuals were evaluated, divided between 4 forest species of great relevance in the market, implanted in a silvopastoral system in the municipality of Belterra, Pará. The cumaru (*Dypteryx* sp) was planted in double rows (10 x10 m), the African mahogany (*Khaya* sp) in double (10x10 m) and single rows (10 meters between plants), teak (*Tectona grandis*) in triple rows (7x7 m) and andiroba (*Carapa guianensis*) arranged in five-fold rows of 7x7 m. Among the parameters evaluated, the average annual increment was calculated, both for height and

diameter. Mahogany presented superior results for Total Height, at 14.8% for andiroba, 38.4% in relation to teak and 21.2% for cumaru. There was a difference between the values of canopy insertion and commercial height, which varied, for all species studied, from 3.8 to 55.2 %, which justifies the collection of these variables separately. Mahogany was the species that presented the best results in terms of population and morphometrics. There was a tendency for individuals from lower strata to promote development in a more accentuated crown diameter when compared to the other variables.

Keywords: Agroforestry systems; Non-timber forest products; Tree crops.

Resumen

Los estudios morfométricos de los árboles buscan transmitir una idea de las relaciones interdimensionales, reconstituir el espacio ocupado por los árboles, juzgar el grado de competencia poblacional, así como inferencias sobre la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo. En este contexto, se considera necesario promover estudios en sistemas agroforestales que apunten a la integración entre especies arbóreas, especies forrajeras y animales para obtener productos o servicios a partir de estos componentes. En este trabajo se evaluaron 200 individuos, divididos entre 4 especies forestales de gran relevancia en el mercado, implantados en un sistema silvopastoril en el municipio de Belterra, Pará. El cumaru (*Dypteryx* sp) fue plantado en doble hilera (10 x 10 m), la caoba africana (*Khaya* sp) en hileras dobles (10x10 m) y sencillas (10 metros entre plantas), la teca (*Tectona grandis*) en hileras triples (7x7 m) y la andiroba (*Carapa guianensis*) dispuestas en quintuples de 7x7 metro. Entre los parámetros evaluados se calculó el incremento promedio anual, tanto para altura como para diámetro. La caoba presentó resultados superiores para Altura Total, con 14,8% para andiroba, 38,4% con relación a la teca y 21,2% para cumarú. Hubo diferencia entre los valores de inserción del dosel y altura comercial, que varió, para todas las especies estudiadas, de 3.8 a 55.2 %, lo que justifica la recolección de estas variables por separado. La caoba fue la especie que presentó mejores resultados en cuanto a población y morfometría. Hubo una tendencia de los individuos de estratos bajos a promover el desarrollo en un diámetro de copa más acentuado en comparación con las demás variables. incluir el resumen

Palabras llave: Sistemas agroforestales; Productos forestales no madereros, Cultivos arbóreos.

Palabras clave: Sistemas agroforestales; Productos forestales no madereros; Cultivos arbóreos.

1. Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAF) têm sido um mecanismo que auxilia na permanência dos produtores no meio de produção rural, através da transição de modelos convencionais para modelos mais ecológicos, buscando um redesenho do sistema de cultivo, agregando diferentes componentes e tornando-o assim um agroecossistema (Paludo & Costabeber, 2012; Joseph et al., 2019). Além de oferecer um a produção mais ecológica o SAF pode também criar riqueza, ao agregar valor ao tempo de trabalho investido, quando agricultor inicialmente projeta um sistema eficaz de produção, gerenciando de forma correta o sistema, onde maximiza a força de trabalho, o capital investido e os insumos utilizados (Ewert et al., 2021).

Os sistemas silvipastoris são uma das modalidades dos SAF que integram árvores ou arbustos com pastagens e gado, apresentando uma forma de cultivo bem mais complexa que o monocultivo de pastagens ou florestas plantadas, tendo por finalidade auferir produtos ou serviços dos três componentes (Kumar & Nair, 2011; Carvalho et al., 2019). A introdução do componente pastoril pode aumentar a sustentabilidade desses sistemas, gerando benefícios que ocorrem em via de mão dupla, com o componente animal promovendo benefícios diretos e indiretos para o componente arbóreo, seja pelo pastejo ou deposição de excreta, e contrapartida o componente florestal fornece conforto térmico que se reflete em menor estresse e maior produção animal (Anjos et al., 2021).

A necessidade de manutenção do equilíbrio entre seus componentes (solo, árvores, forrageiras e animais), aliada ao grande número de interações possíveis entre estes e os fatores climáticos, aumenta a necessidade de um planejamento rigoroso, sendo este determinante no sucesso da produção (Bernardino & Garcia, 2009) e da sustentabilidade do sistema, haja vista que interações bióticas e abióticas que ocorrem em um sistema de manejo, podem interferir nos parâmetros microbiológicos do solo e afetar na oferta de nutrientes e serviços para os demais componentes (Silva et al., 2021).

Nos aspectos de planejamento, implementação e intervenções silviculturais a serem promovidos em plantios, considerar condições e variáveis morfométricas como ferramenta de planejamento propiciam melhores condições para a elaboração de formas de manejo, resultando num aproveitamento mais aperfeiçoado das espécies utilizadas (Durló & Denardi,

1998; Costa et al., 2009; Lafetá et al., 2020).

No estágio atual de desenvolvimento do manejo de espécies florestais, o conhecimento da morfometria e da dinâmica das formas das árvores, torna-se imprescindível para aprimorar as intervenções silviculturais, principalmente quando se deseja tornar efetiva a utilização de espécies da flora em reflorestamentos com interesses econômicos (Roman et al., 2009). A morfometria ajuda a transmitir uma ideia das relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, julgar o grau de concorrência de um povoamento e permitir, ainda, inferências sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo (Durlo & Denardi, 1998).

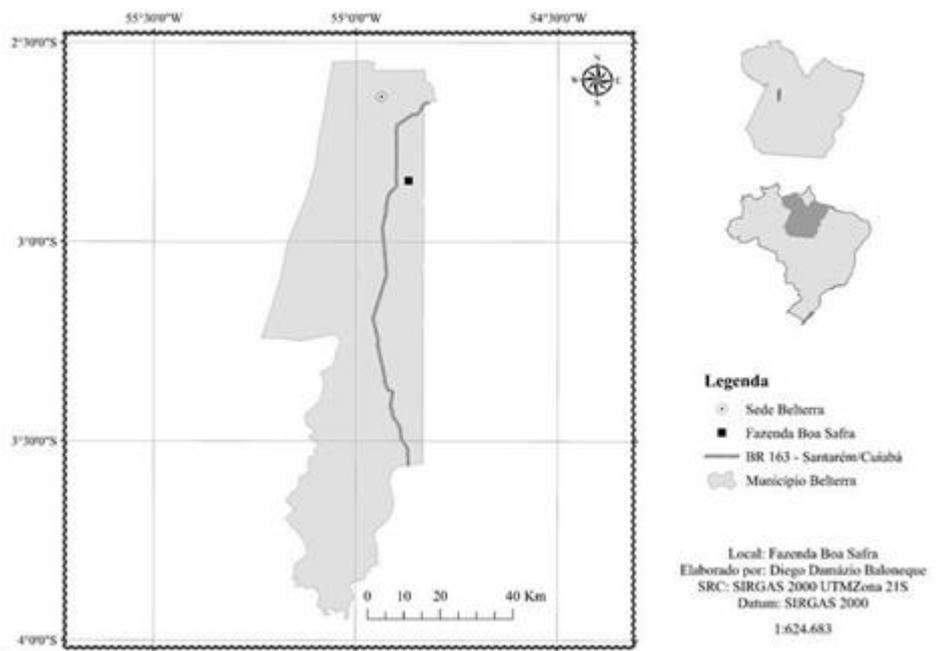
Considerando a importância da condução e manejo de espécies florestais de modo a visar ganhos econômicos e ambientais, este trabalho tem como objetivo a análise, por meio de variáveis morfométricas, de quatro espécies florestais (mogno africano, andiroba, teca e cumaru) implantadas em Sistema Silvipastoril na zona rural de Belterra, região Oeste do Pará.

2. Metodologia

Área de estudo

O trabalho foi realizado na Fazenda “Boa Safra” (S 2°50’46,77” W 54°51’52,85”), localizada a 62 km da cidade de Santarém, Pará (Figura 1), município de Belterra, na Rodovia BR 163 (Cuiabá – Santarém) a qual possui 7.000 hectares, sendo aproximadamente 20% utilizados com pomares e criação de bovinos, que estão sob sistema de manejo rotacional.

Figura 1. Mapa de localização da fazenda “Boa Safra”, no município de Belterra, Pará.



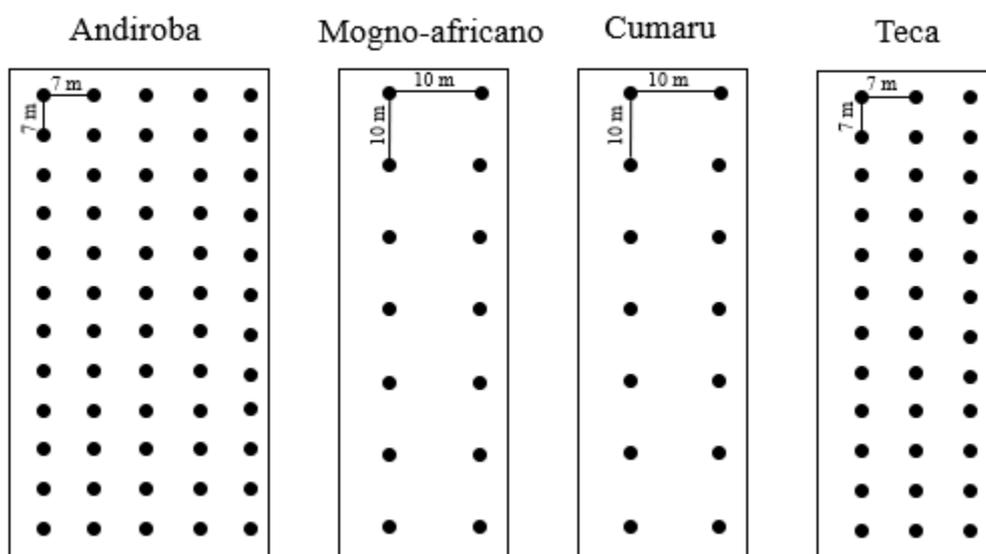
Fonte: Autores (2022).

De acordo com a definição de Köppen, a localidade possui um subclima tropical de monção (Am) apresentando uma precipitação anual acumulada, em média, superior a 2.000 mm, com período de seca que varia em torno de 5 meses (Alvares et al., 2013).

Na área de criação animal está inserido o componente arbóreo, com as espécies mogno africano (*Khaya* sp), andiroba (*Carapa guianensis* Aublet), cumaru (*Dipteryx* sp.) e teca (*Tectona grandis* L.f.), caracterizando assim o sistema silvipastoril, onde as espécies se apresentam em diferentes espaçamentos e arranjos.

Quanto ao arranjo e distribuição das espécies: As árvores de cumaru foram implantadas em fileiras duplas no espaçamento 10 x 10 m; para o mogno-africano, foram utilizadas fileiras duplas (10 x 10 m) e simples com o intervalo de 10 metros entre plantas; a teca está disposta em fileiras triplas (7 x 7 m) e; andiroba que está arranjada em fileiras quántuplas num espaçamento 7 x 7 m (Figura 2).

Figura 2. Croqui de disposição de plantio das espécies avaliadas, em sistema silvipastoril, no município de Belterra, Pará.



Fonte: Lucas Sérgio Sousa Lopes.

O plantio das quatro espécies se deu simultaneamente, tendo os indivíduos a idade de 11 anos na época da coleta, destes, nos 5 anos iniciais, foram realizadas podas para manutenção e condução do crescimento. A teca foi a espécie que recebeu este tratamento de forma menos rigorosa e periódica. No mogno, as podas foram realizadas de forma mais eficaz. Nos plantios não houve aplicação de controle de pragas e nem fertilização.

Coleta e Processamento de Dados

Na elaboração deste estudo, foram utilizados 50 indivíduos por espécie analisada, totalizando 200 indivíduos, amostrados de forma aleatória. Coletou-se dos indivíduos arbóreos dados de Diâmetro à Altura do Peito (DAP – 1,3 m), Altura Total (HT), Diâmetro de Copa (DC), Altura Comercial (HC), Inserção de Copa (IC) e Comprimento de Copa (CC). Foi calculado o IMA (Incremento Médio Anual), tanto para altura quanto diâmetro, que é a razão entre a variável de interesse e a idade do plantio, indicando ganho médio anual.

O DAP foi alcançado por meio de medição direta com fita diamétrica. Foram realizadas duas medições de DC através do “Vertex IV e Transponder T3”, também empregado na estimativa de HT, HC e IC.

Para a análise morfométrica, calculou-se os índices e parâmetros, presentes na Tabela 1, propostos por Condé et al. (2013).

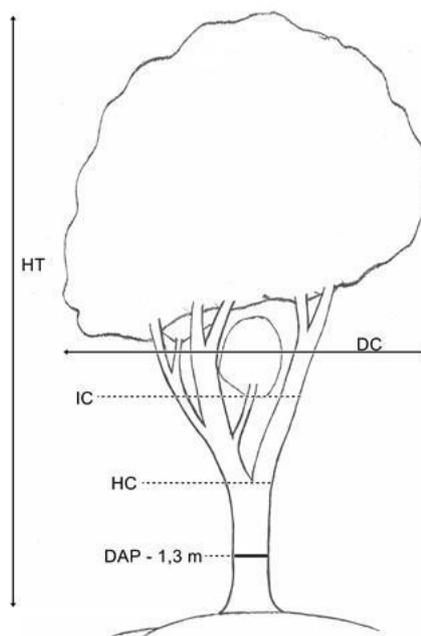
Tabela 1. Índices e parâmetros morfométricos utilizados em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará

Índice/variável	Abreviatura	Fórmula	Unid. de medida
Comprimento de copa	CC	Ht-IC	m
Projeção de copa	A	$\pi * r^2$	m ²
Volume de copa	VC	$((DC^2 * \pi) / 4) * CC$	m ³
Proporção da copa	PC	$(CC / Ht) * 100$	%
Grau de esbeltez	GE	Ht/DAP	m/m
Índice de saliência	IS	DC/DAP	m/m
Índice de abrangência	IA	DC/Ht	m/m
Formal de copa	FC	DC/CC	m/m
Incremento Médio Anual de Altura	IMAh	Ht/idade do plantio	m/ano
Incremento Médio Anual em diâmetro	IMAd	DAP/idade do plantio	m/ano

Fonte: Acervo dos autores.

Verificou-se que a altura da inserção de copa (IC) e a altura comercial (HC), em muitos casos, divergem de posição nas árvores, o que levou a coleta das duas variáveis separadamente, com a proposição do modelo apresentado na Figura 2.

Figura 2. Ilustração gráfica de árvore com variáveis de povoamento e morfométricas.



Fonte: Acervo dos autores.

Os indivíduos foram ainda qualificados em três classes, de acordo com a posição sociológica no povoamento, onde tomou-se como: Dominantes (Do), os indivíduos que se mostravam em estrato emergente, sem a influência de competição dos indivíduos vizinhos, recebendo assim incidência de luz direta; Codominantes (Co), àqueles indivíduos que apesar de estarem sob influência negativa da competição por parte das dominantes, refletindo numa diminuição de recepção de luz, apresentam bom desenvolvimento em altura total e DAP e; Suprimidas (Su), sendo os indivíduos que se encontravam sob estresse competitivo, tendo seu desenvolvimento em altura e DAP comprometido, sendo atingida por luz em forma de “sunflex” e/ou radiação difusa.

Para tabulação e análises dos dados foi utilizado o Software Excel (2013). Adotou-se o teste de Tukey a 5% de

significância para a comparação entre as médias das variáveis morfológicas das espécies, utilizando-se do software Assistat v. 7.7.

3. Resultados e Discussão

Para os dados de povoamento, o mogno foi a espécie que apresentou melhores resultados onde os valores médios de HT estiveram acima das demais espécies em 14,8% para a andiroba, 38,4% em relação a teca, e para o cumaru um total de 21,2% (Tabela 2). Os valores de DAP apresentaram diferenças mais expressivas onde, tanto para a teca quanto para o cumaru, o mogno mostrou média duas vezes maior e 28,6% superior a andiroba.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão para parâmetros de povoamento das quatro espécies implementadas em Sistema Silvipastoril no município de Belterra, Pará.

Espécie	N/há	HT (m)	Hc (m)	DAP (m)
Mogno-africano	336	18,2 ±4,7	8,01 ±2	0,35 ±0,1
Andiroba	245	15,5 ±2,4	2,53 ±0,9	0,25 ±0,1
Teca	1508	11,22 ±3,3	4,15 ±1,7	0,17 ±0,1
Cumaru	487	14,35 ±4,55	5,45 ±2,6	0,17 ±0,1

*N: números de indivíduos por hectare; HT: altura total; Hc: Altura comercial; DAP: Diâmetro à Altura do Peito. Fonte: Acervo dos autores.

Os valores apresentados neste trabalho para mogno-africano foram superiores aos mostrados por Pinheiro et al. (2011), que em dois locais com plantios para enriquecimento, sob diferentes métodos de colheita, atingiram 16 a 17 m para HT aos 11 anos de plantio. Leite (2015) encontrou valores de HT igual a 5,85 m e DAP de 0,1 m em Cáceres, MT. Falesi e Baena (1999), ao analisarem mognos africanos na idade de 20 anos, no município de Belém, Pará, atingiram médias de 11 m para HT e 0,85 m para DAP.

Os valores médios de DAP (0,25 m) para a andiroba se mostraram superiores aos apresentados por outros autores como Condé et al. (2013), que encontraram valores de DAP de 0,2 m em plantios de 16,5 anos. Tonini e Arco-Verde (2005) que indicaram DAP de 0,01 m e altura de 9,2 m e ainda Tonini et al. (2006) que mostraram DAP de 0,01 e HT: 9,06 m, ambos em plantios aos 7 anos de idade. Isto pode ser reflexo da forma de condução dos povoamentos, uma vez que sistemas que visam integração de diferentes componentes, que é o caso do sistema silvipastoril, refletem em ganhos nutricionais por meio de maior acúmulo de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes (Salton, 2015).

O cumaru apresentou, conforme Tabela 2, altura total de 14,3 m que se mostra superior ao encontrado por Capucho et al. (2016), em plantios no oeste paraense com valores de HT de 5,6 m e 6,7 m, em diferentes áreas monitoradas com 6 e 5 anos respectivamente. Para estes mesmos autores, os valores de DAP foram de 0,27 e 0,37 m superiores ao encontrado neste trabalho (0,17 m). Júnior et al. (2009) apresentaram plantios puros de cumaru, onde aos 7 anos de idade atingiram 0,1 m de DAP e altura total de 8,65 m. Já Silva et al. (2020), em avaliação da mesma espécie, indicou que o plantio em sistemas agroflorestais pode apontar um bom desenvolvimento da espécie em sistema agroflorestal na região. Esta diferença entre os resultados pode estar relacionada a fatores como espaçamento, idade e condições bióticas e abióticas.

Em estudo realizado em Cáceres-MT, Passos et al. (2006) constataram para plantio de teca, com idade de 22 meses, para altura total e diâmetro, respectivamente 6,00 m e 0,07 m, que corresponderam a um incremento em altura de 3,27 m.ano⁻¹ e 0,04 m.ano⁻¹ em DAP, indicando resultados mais elevados que os obtidos neste trabalho, o que pode ser resultante do alto crescimento inicial da espécie, podendo ser observado na Tabela 2.

Tabela 3: Média e desvio padrão para parâmetros morfométricos de quatro espécies em Sistema Silvopastoril no município de Belterra, Pará.

Espécie	IC (m)	CC (m)	DC (m)	IMA _h (m/ano)	IMA _d (m/ano)
Mogno-africano	8,33 ±1,8	9,88 ±4,1	8,64 ±3,3	1,66 ±0,43	0,032 ±0,011
Andiroba	2,97 ±0,8	12,58 ±2,5	7,9 ±1,6	1,41 ±0,22	0,023 ±0,01
Teca	1,86 ±0,7	9,37 ±3,1	4,46 ±1,6	1,02 ±0,3	0,016 ±0,006
Cumaru	3,90 ±1,6	10,45 ±3,8	7,97 ±3,2	1,31 ±0,41	0,015 ±0,005

*IC: Inserção de Copa; CC: Comprimento de Copa; e DC: Diâmetro de Copa; IMA: Incremento Médio Anual em Altura; IMA: Incremento Médio Anual em diâmetro. Fonte: Acervo dos autores.

Ao analisar os valores de Hc e IC, percebe-se diferenças nos valores para todas as espécies estudadas, variando de 3,8 a 55,2 %, justificando assim sua necessidade de amostragem das duas variáveis. Observações de campo associada às análises de valores inferem que o tamanho da copa, derivado de IC e HT, está intimamente relacionado com os parâmetros ligados à morfometria, colaborando na obtenção de dados sobre produtividade, superioridade do indivíduo arbóreo e disponibilidade de sombra. A obtenção desses parâmetros é importante em sistemas integrados, pois influenciam sobre o bem-estar animal, afetando a produtividade e, servem como fator base para tomada de decisões acerca de intervenções silviculturais (Carmona et al., 2018; Karvatte Júnior et al., 2020). Supõe-se, desta forma, que a inobservância desta particularidade e coleta somente da variável HC pode levar a sub ou a superestimativa dos índices morfométricos.

A espécie que apresentou maior IMA, tanto em altura quanto em diâmetro, foi o mogno-africano (Tabela 3) com um incremento médio de 1,66 m e 0,03 m por ano respectivamente, esta espécie sobressaiu-se também nos resultados de DC e IC com valores médios de 8,64 m e 8,33 m, simultaneamente.

Tonini e Arco-Verde (2005), ao analisar plantios de andiroba aos 7 anos, observaram valores médios para DC e IC de 1,5 m e 3,43 m, respectivamente. Para castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), os autores constataram diâmetro de copa 6,6 m e inserção de copa 2,93 m, ipê-roxo (*Tabebuia avelanadae*) 3,5 m para DC e 3,4 m IC, e jatobá (*Hymenaea courbaril*) com 2,8 m tanto para DC quanto IC. Estes valores quando comparados aos encontrados neste trabalho revelam superioridade para o mogno-africano, andiroba e cumaru.

Para o comprimento de copa, a andiroba obteve maior média alcançando 12,6 m, seguida pelo cumaru com 10,45 m. Para os demais parâmetros analisados (Tabela 3), com exceção do IMAd, a teca foi a que apresentou os menores resultados. Em seu trabalho com araucárias (*Araucaria angustifolia*), Costa et. al (2016) afirmam que o comprimento de copa apresenta fortes influências no formal de copa quando submetido a condições de competição no passado. Porém, foi observado, nas espécies aqui estudadas, que as condições de competição, encontradas nos indivíduos suprimidos e codominantes principalmente na andiroba e no cumaru, refletem em mudanças mais representativas no DC.

A integração de árvores, que possuem grandes áreas de copas, à pastagem, modifica o microclima, garantindo assim temperaturas mais amenas que favorecem o conforto térmico animal (Magalhães et al., 2020). Observa-se que a projeção de copa reflete diretamente na disponibilidade de sombra, sendo este um fator de grande importância para estudos que abrangem a interação animal no sistema. A espécie que apresentou os melhores resultados para esta variável foi o mogno-africano com média de 66,9 m², havendo diferença significativa para teste Tukey (5% de significância) apenas para teca com o valor de 17,6 m² como observado na Tabela 4.

Tabela 4: Índices morfométricos para quatro espécies em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará.

Espécie	A (m ²)	VC (m ³)	PC (%)	GE (m/m)	IS (m/m)	IA (m/m)	FC (m/m)
Mogno-africano	66,9a	782,7 ^a	52,4c	55,6c	24,9c	0,5b	0,9a
Andiroba	51a	665,9 ^a	80,4 ^a	66,9bc	33,4b	0,5ab	0,6c
Teca	17,6b	79,3b	81,8 ^a	69,3b	27,2c	0,4c	0,5d
Cumaru	57,6a	688,6 ^a	71,4b	91,7 ^a	48,8 ^a	0,6a	0,8b

*A: Projeção de Copa; VC: Volume de Copa; PC: Proporção de Copa; GE: Grau de Esbeltez; IS: Índice de Saliência; Índice de Abrangência; e Formas de Copa. Letras iguais nas colunas não diferiram significativamente ao nível de 95% de confiabilidade. Fonte: Acervo dos autores.

Para volume de copa houve diferença significativas, a 5% de significância para o teste Tukey, apenas da teca para as demais espécies com 79,3 m³ (Tabela 4), sendo a que apresentou maior valor foi novamente o mogno-africano com 782,7 m³. O volume de copa pode estar relacionado com a produtividade de frutos e sementes, uma vez que quanto maior a área ou porção produtiva da árvore, maior a tendência ao aumento de produtividade.

Utilizando ferramentas de projeção fotográfica, Durlo et al. (2004) realizaram modelagem de copa para a espécie *Cedrela fissilis*, no município de Santa Maria - RS, e obtiveram projeções de volume de copa de 209 m³ para indivíduos com 0,35 m de DAP. Em estudo de modelagem de copa, com a utilização de LIDAR, para estimativa de volume de árvores, Figueiredo et al. (2014) mostram que equações volumétricas, utilizando índices morfométricos conjuntamente com elevação do terreno e DAP, apresentam boa precisão em toda amplitude de classes de diâmetro e que equações que adotam exclusivamente variáveis de copa obtiveram resultados estatísticos similares às equações de simples entrada em estudos dendrométricos amazônicos.

Perante os dados obtidos, percebe-se a necessidade de aperfeiçoamentos na coleta de dados morfométricos da copa, uma vez que as variáveis e parâmetros derivados dela são de alta complexidade e utilizações para fins que atendem um leque de mercado e pesquisa diversas, podendo variar da produção de sementes, a relação entre indivíduos num arranjo produtivo e até a obtenção de produtos como a madeira (Chukwu & Ezenwenyi, 2020; Estornell et al., 2021). Como exemplo de aperfeiçoamento dessas técnicas seria a realização de tomadas de DC em diferentes níveis de altura para obtenção de dados mais próximos aos reais, podendo fortalecer parâmetros como FC e VC.

Para a proporção de copa (PC), que reflete quanto do indivíduo arbóreo é ocupado pela copa, a teca e andiroba tiveram a maior representatividade com valores médios de 81,8 e 80% que são estatisticamente iguais (Tabela 3). Esta variável pode ser alterada, para mais ou para menos com a condução de intervenções silviculturais, como por exemplo a poda de condução, visando, assim, maior aproveitamento do fuste. Neste estudo, a espécie que apresentou menor valor para proporção de copa foi o mogno-africano (55,6 %), o que pode ser influência dos tratamentos silviculturais aplicados, uma vez que a poda foi mais rigorosa nesta espécie. Assim, temos como base que os tratamentos silviculturais utilizados em povoamentos podem interferir de forma positiva ou negativa, dependendo do método e da finalidade e produtos desejados.

Neste trabalho, o cumaru apresentou proporção de copa de 71,39 %, valor superior a um dos sistemas monitorados por Capucho et al. (2016), que mostrou média de 45,37 % (ILPF, 5 anos); no mesmo trabalho apresentam em outro sistema a média de 84,85 % (SAF, 6 anos).

Orellana e Koehler (2008) encontraram um valor máximo de 69,2 % para indivíduos de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer na classe de dominância e Roman et al. (2009) obtiveram valor médio de 54,5 % para proporção de copa.

Quanto maior a chance de uma árvore apresentar HC, ou altura do fuste elevada, maior a probabilidade de proporção de copa mais abrangente, podendo ser explicada em função da posição sociológica em que estão inseridas (Silva, 2007).

O grau de esbeltez reflete a estabilidade do indivíduo, relacionando altura e diâmetro, e em consequência sua fragilidade, principalmente em relação impacto do vento e eventual quebra, o que significa que quanto maior o valor deste índice, maior a instabilidade da árvore. Segundo Tonini et al. (2008), em trabalho com castanha-do-Brasil, árvores com

maiores níveis de produtividade em frutos apresentam menores valores para grau de esbeltez, podendo-se concluir que as árvores mais produtivas possuem copas mais compridas e são mais robustas (menos delgadas). Os autores indicam ainda que a diminuição do grau de Esbeltez reflete nas árvores mais produtivas, taxas de crescimento em diâmetro são maiores do que em altura.

Considerando estas premissas, constata-se que na área de estudo, o cumaru foi a espécie com maior instabilidade por apresentar os maiores valores médios para grau de esbeltez (91,2 m/m), sendo observada diferença significativa entre as demais espécies (Tabela 4). O mogno-africano e a andiroba, estatisticamente iguais, são consideradas as espécies com maior estabilidade e propensão a altas produtividades na área, pois apresentaram o menor grau de esbeltez (55,6 e 66,9 m/m).

Os valores de GE para este estudo se aproximam dos mostrados por Condé et al. (2013), que encontram para andiroba, castanheira-do-Brasil, copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) com médias de 79,34, 56,96, 47,7 e 66,79 m/m, respectivamente. Também se assemelham aos apresentados por Tonini e Arco-Verde (2005) que obtiveram para andiroba, 88 m/m; para castanheira-do-Brasil, 84 m/m; para ipê-roxo, 79 m/m; e jatobá com 71 m/m.

O índice de saliência (IS) pode servir como ferramenta para planejamento inicial e intervenções silviculturais em plantios juntamente com o índice de abrangência (IA), uma vez que se utilizam de dados de copa em paralelo com dados de povoamento como DAP e HT. O IS dispõe sobre a proporção entre DC e DAP e quanto maior este índice, maior a proporção entre as variáveis, aumentando a ocorrência de competição por luminosidade, podendo interferir no estrato inferior, além de aumentar o esforço recebido pelo fuste, uma vez que se têm maior área de copa, podendo levar a instabilidade do indivíduo. Neste estudo, os valores médios para mogno-africano, andiroba, teca e cumaru foram, respectivamente, 24,87; 33,39; 27,15; e 48,79 m/m.

Durlo e Denardi (1998) encontraram para *Cabralea canjerana* uma média de 21,7 m/m, inferior aos 39,2 m/m encontrados por Orellana e Koehler (2008) em árvores de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer e aos mostrados por Condé et al. (2013), onde em 4 diferentes espécies florestais, este índice flutuou entre 29,83 e 38,45 m/m.

O IA pode dar suporte ao planejamento de plantios, uma vez que reflete a posição do indivíduo nos estratos. Temos que quanto maior o IA, maior tende a ser a copa com relação à altura total deste indivíduo ou espécie quando comparada a outro com valores menores, o que pode predizer a necessidade de intervenções de poda (Durlo & Denardi, 1998).

Neste estudo, a espécie que se sobressaiu em relação a este parâmetro foi o cumaru (IA: 0,56), diferenciando significativamente apenas do mogno-africano e da teca (Tabela 4), sendo esta última a que apresentou menor resultado com índice de 0,4. Tonini e Arco-Verde (2005) encontraram valores próximos para andiroba, castanha-do-Brasil, ipê-roxo e jatobá com valores de 0,17, 0,61, 0,41 e 0,47 m/m, respectivamente.

O Formal de Copa (FC) expressa em valores uma aproximação geométrica da copa, onde os valores variam de acordo com as dimensões em diâmetro e comprimento da mesma, e quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma globosa está a copa em questão. Já para copa que se aproximam de um elipsóide vertical ou horizontal, temos valores abaixo e acima de 1 para FC (Roman et al., 2009).

Neste estudo, os valores de FC, para todas as espécies, apresentaram diferenças significativas, sendo o mogno-africano o que apresentou maior média (0,94 m/m) e a teca com menor média (0,51 m/m). Durlo et al. (2004) constataram para o cedro, que com o aumento do DAP, o formal de copa tende a se aproximar de 1, tomando assim uma forma mais globosa.

Sabendo que a copa é uma parte da árvore que pode influenciar e ser influenciada pela posição do indivíduo no renque em que está localizada, neste trabalho optou-se por avaliar os índices e parâmetros morfométricos que estão diretamente relacionados com a copa em decorrência da posição sociológica dos indivíduos analisados (Tabela 5).

Tabela 5: Índices e parâmetros morfométricos, em relação a posição sociológica, de quatro espécies em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará.

Espécie	PS	GE	IS	IA	FC
Mogno-africano	Su	67,7	22,1	0,3	0,8
	Co	62,7	25,2	0,4	0,9
	Do	52,1	24,8	0,5	0,9
Andiroba	Su	57	23,6	0,4	0,8
	Co	84,5	39,5	0,5	0,6
	Do	63,8	32,4	0,5	0,6
Teca	Su	97,8	33,2	0,3	0,9
	Co	75,9	27,6	0,4	0,5
	Do	66,26	26,7	0,4	0,5
Cumaru	Su	120,1	49,8	0,4	0,7
	Co	62,2	35,9	0,6	1,1
	Do	89,6	49,9	0,6	0,8

*PS: Posição Sociológica; Su: Suprimida; Co: Codominante; Do: Dominante; GE: Grau de Esbeltez (m/m); IS: Índice de Saliência (m/m); Índice de Abrangência (m/m); e Formal de Copa (m/m). Fonte: Acervo dos autores.

Em relação ao GE, percebe-se que os indivíduos inferiores quanto à posição sociológica (classe suprimida), apresentaram maiores valores de GE médios que as classes superiores, isto acontece para o mogno-africano (67,65 m/m), a teca (97,79 m/m) e o cumaru (120,05 m/m), onde as árvores suprimidas se sobressaíram. Já para a andiroba, a classe com maior média foi a das codominantes, com valor de 84,5 m/m para GE. No caso das espécies onde as suprimidas assumiram maiores resultados, revela-se daí um baixo crescimento em DAP, elevando o GE.

Para a andiroba, os resultados de GE e IS, na mesma classe sociológica (codominante), indicaram pouco ganho em DAP. Os dados em conjunto revelam que há uma predisposição ao desenvolvimento de copa, principalmente em DC, quando se encontra em classes inferiores no povoamento ou sob situações adversas de crescimento. Este desenvolvimento em DC, para indivíduos inferiores, pode refletir uma estratégia de crescimento.

Em estudo similar, com araucárias, Costa et al. (2016) constataram que árvores dominadas com maiores DAP tendem apresentar, necessariamente, copa de maiores dimensões, isto pode ser encontrado em árvores com tendência a mudar de posição social, com aumento do comprimento da copa devido à retomada do crescimento em altura ou, em árvores que passaram de codominante para dominada em tempo relativamente curto.

Para os indivíduos de mogno-africano e andiroba, que estão na classe de codominantes, o IS releva que há influência negativa dos demais indivíduos que os circundam, pois os mesmos apresentam tendência de maior desenvolvimento em DC, buscando assim maior área de abrangência, provavelmente devido à baixa intensidade de absorção de luz em decorrência da competição gerada. A teca segue este padrão de desenvolvimento de copa para classes inferiores, apresentando a suprimida como classe de maior média, classe que sobressaiu também no grau de esbeltez.

No cumaru, as classes com maior IS são a de suprimidas com 49,8 m/m e as dominantes com 49,94 m/m, indicando que a posição sociológica não influencia na arquitetura, pois a relação entre as duas variáveis foi harmônica nas duas classes, o que não indica que houve o mesmo resultado em crescimento. Para o caso dos indivíduos suprimidos de cumaru, este resultado se relaciona ao fato do elevado desenvolvimento da copa devido a necessidade de obtenção de luz, e para as dominantes, pode-se destinar esta média elevada a abundância em recursos, em principal a incidência solar direta, levando assim a elevados valores do índice, que espelha altos DC.

Para o índice de abrangência, todas as espécies apresentaram seus maiores resultados nos estratos superiores, ou seja, mesmo os indivíduos dominantes mostraram um grande investimento no crescimento no diâmetro da copa, os resultados para este índice foi de 0,49, 0,52, 0,41 e 0,58 m/m para mogno-africano, andiroba, teca e cumaru, respectivamente. Estes resultados para o cumaru reforçam a ideia de que a espécie tem um elevado desenvolvimento da copa para seus indivíduos dominantes.

Para as espécies na quais as copas tendem a ser globosas, que é o caso do mogno-africano, os indivíduos mais desenvolvidos obtiveram valores de formal de copa (FC) que mantêm uma grande aproximação do 1, que é o parâmetro para este índice neste tipo de copa. Em copas elípticas verticalmente ou nas colunares, que são as formas de copa observada para a andiroba e da teca respectivamente, os indivíduos suprimidos apresentaram os maiores resultados, isto se deve a diminuição ou retenção do desenvolvimento do CC. Para o cumaru, a classe que mais se destacou foi a codominante, com valor de 1,06 m/m, o que reflete valores de DC e CC muito próximos, remetendo a uma perspectiva de forma de copa globosa, este resultado também diz sobre o grande desenvolvimento da espécie quando analisado o DC.

Para araucárias, Costa (2011) apresentou dados de Formal de copa de 2,36 m/m para classe de dominantes, 2,03 m/m para codominantes e 2,1 m/m para dominadas e afirma que as modificações nas formas das copas das araucárias se deram conforme a idade e o grau de concorrência.

Ressalta-se que este parâmetro não condiz ao tamanho da copa em comparação a outro indivíduo e sim entre as dimensões de uma mesma copa.

Árvores de grande DAP tendem a apresentar menor comprimento da copa, pois a proporção de copa é fortemente influenciada pela redução do crescimento em altura, revelando que a mortalidade dos ramos na base da copa foi maior que o aumento do comprimento da copa ocorrido com o crescimento apical da árvore (Costa et al., 2016).

4. Conclusão

O mogno-africano foi a espécie que apresentou resultados mais satisfatórios para variáveis dendrométricas e morfométricas, tendendo a ser a espécie mais estável e com maiores níveis potenciais de produção e mostrou-se mais uniforme quando comparado às demais espécies para os índices avaliados

A andiroba mostrou ser uma espécie com desenvolvimento adequado, mesmo quando inserida em esquemas produtivos de alta densidade, com características que atingem resultados produtivos elevados, como área e volume de copa.

A teca mostrou-se inferior quando comparada às demais espécies para a maioria dos resultados observados, podendo este baixo desenvolvimento ser resultante da forma que o consórcio foi conduzido, uma vez que esta espécie tem amplo uso na região.

Recomenda-se tratamentos silviculturais leves nos plantios de andiroba e cumaru, evitando assim perdas por competição direta entre indivíduos.

Quanto ao suporte a planejamentos futuros, julga-se necessário o acompanhamento e intervenções silviculturais aplicadas em povoamentos florestais, que visem melhoria na condução do mesmo.

Constatou-se a tendência de indivíduos de estratos inferiores a promoverem desenvolvimento em diâmetro de copa mais acentuado quando comparado às demais variáveis.

O Formal de copa possui limitações por apresentar valores semelhantes mesmo para formas de copa distintas. Essa distinção para as formas de copa influencia na volumetria da copa que se caracteriza como porção produtiva da árvore. Sugere-se estudos morfométricos de copa que possam diminuir este erro ao planejar coeficientes de redução do volume e superfície de copa para diferentes formas.

Sugere-se que trabalhos futuros relacionem o crescimento arbóreo com a intensidade de uso do solo proporcionada pela atividade animal e como essa interação contribui para o desenvolvimento de ambos, a fim de verificar melhores combinações de componentes que promovam a melhor produção vegetal e animal dentro desses ambientes.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Anjos, M. M., Pazdiora, R. D., Andrade, E. R., da Silva Vieira, A., Barboza, B. N., Turcato, C. S., & Machado, P. C. (2021). Sistemas integrados de produção agropecuária e os efeitos do componente animal. *Research, Society and Development*, 10(16).
- Bernardino, F. S., & Garcia, R. (2009). Sistemas silvipastoris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 60(77).
- Capucho, H., Rebêlo, A. D. M., Pauletto, D., Silva, A. R., & Paiva Neto, V. (2016). Morfometria de *Dipteryx* spp. em sistemas agroflorestais em Belterra e Mojuí dos Campos-Pará. *Anais de congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 10.
- Carmona, I. N., de Aquino, M. G. C., da Rocha, D. Í. S., das Neves Silva, J. J., Ficagna, A. G., Baloneque, D. D., Otake, m. y. f. & Pauletto, D. (2018). Variáveis morfométricas de três espécies florestais em sistema agroflorestal. *Revista Agroecossistemas*, 10(1), 131-144.
- Carvalho, P., Domiciano, L. F., Mombach, M. A., do Nascimento, H. L. B., Cabral, L. D. S., Sollenberger, L. E., & Pedreira, B. C. (2019). Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop-livestock-forestry systems. *Grass and Forage Science*, 74(4), 650-660.
- Chukwu, O., & Ezenwenyi, J. U. (2020). Models for estimating crown projection area from stump diameter for *Tectona grandis* Linn. f. in the tropical rainforests of Nigeria. *Forestist*, 8, 12 – 24.
- Condé, T. M., De Lima, M. L. M., De Lima Neto, E. M., & Tonini, H. (2013). Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. *Revista Agro@mbiente*, 7(1), 18-27.
- Costa, E. A. 2011. *Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze, Lages, SC*. Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Costa, E. A., Finger, C. A. G., & Fleig, F. D. (2016). Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. *Ciência Florestal*, 26(1), 225-234.
- Costa, J. R., Castro, A. B. C., Wandelli, E. V., Coral, S. C. T., & Souza, S. A. G. D. (2009). Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 39, 843-850.
- Durlo, M. A., Sutuli, F. J., & Denardi, L. (2004). Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. *Ciência florestal*, 14(2), 79-89.
- Durlo, M. A., & Denardi, L. (1998). Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência florestal*, 8(1), 55-66.
- Estornell, J., Hadas, E., Martí, J., & López-Cortés, I. (2021). Tree extraction and estimation of walnut structure parameters using airborne LiDAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102273.
- Ewert, M., Arco-Verde, M. F., Palma, V. H., & da Silva Kazama, D. C. (2021). Avaliação financeira e desempenho produtivo de Sistemas Agroflorestais Agroecológicos. *Research, Society and Development*, 10(5).
- Falesi, I. C., & Baena, A. R. C. (1999). *Mogno-africano Khaya ivorensis A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento Natural do solo*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental.
- Figueiredo, E. O., d'Oliveira, M. V. N., Fearnside, P. M., & Papa, D. D. A. (2014). Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com LIDAR. *Cerne*, 20(4), 621-628.
- Karvatt Junior, N., Miyagi, E. S., de Oliveira, C. C., Barreto, C. D., Mastelaro, A. P., Bungenstab, D. J., & Alves, F. V. (2020). Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Science of The Total Environment*, 731, 139252.
- Kumar, B. M., & Nair, P. R. (Eds.). (2011). Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges. Dordrecht: pringer.
- Lafetá, B. O., da Silva, F. F., dos Santos, M. A., Pimenta, I. A., Fontan, I. D. C. I., Fonseca, N. R., & Sartori, C. J. (2020). Modelagem morfométrica de *Licania tomentosa* (Benth.) por regressão logística e máquinas vetor de suporte. *Scientia Plena*, 16(6).
- Leite, M. Da C. (2015). *Avaliação do crescimento em altura e diâmetro das espécies ipê branco (Tabebuia roseo-alba) e mogno africano (Khaya ivorensis) no sistema de integração lavoura pecuária em região do MT*. Monografia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.
- Lima Júnior, J. F. M. D. (2009). Análise do Crescimento do Cumaru (*dipteryx Odorata* Aubl. Willd) e Latobá (*hymenaea Courbaril* L. Varo Courbaril) em Plantios Puros e Mistos em Recuperação de Áreas Degradadas Pela Pecuária Extensiva. *XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA*, Manaus, Amazonas, Brasil, 13.
- Magalhães, C. A., Zolin, C. A., Lulu, J., Lopes, L. B., Furtini, I. V., Vendrusculo, L. G., & Pezzopane, J. R. M. (2020). Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Thermal Biology*, 91, 102636.
- Orellana, E., & Koehler, A. B. (2008). Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 6(2), 229-237.
- Paludo, R., & Costabeber, J. A. (2012). Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 7(2), 63-76.
- Passos, C. A. M., Bufulin Junior, L., & Gonçalves, M. R. (2006). Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* LF, Em Cáceres-mt, Brasil: resultados preliminares. *Ciência Florestal*, 16(2), 225-232.

Pinheiro, A. L., Couto, L., Pinheiro, D. T., & Brunetta, J. M. F. C. (2011). *Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (Khaya spp.)*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura.

Roman, M., Bressan, D. A., & Durlo, M. A. (2009). Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. *Ciência Florestal*, 19(4), 473-480.

Salton, J., Oliveira, P., Tomazi, M., Richetti, A., Balbino, L., Flumignam, D., & Asmus, G. (2015). Benefícios da Adoção da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Kluthcouski, J.; Marchão, R. L. (Ed.). *Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde* (pp. 35-53.). Brasília, DF: Embrapa.

Silva, H. S., da Silva Chaves, J., do Nascimento, J. P. S., de Matos, S. M., de Brito Neto, A. F., Leite, J. L., & de Brito, W. A. (2021). Atividade microbiana no solo em sistema de produção consorciado. *Research, Society and Development*, 10(14).

Silva, J. A. G., Pualetto, D., da Silva, A. F., de Souza Carvalho, C. D. S., & do Nascimento, H. G. G. (2020). Morfometria de plantios de *Dipteryx odorata* Aubl Willd (Cumaru) no Oeste do Pará. *Advances in Forestry Science*, 7(3), 1171-1180.

Silva, L. T. M. (2007) *Morfometria, qualidade do tronco e da copa de peltophorum dubium (spreng.) taub. em povoamento experimental no estado do Rio Grande do Sul*. 75 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

Tonini, H., & Arco-Verde, M. F. (2005). Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(7), 633-638.

Tonini, H., Arco-Verde, M. F., Schwengber, D., & Junior, M. M. (2006). Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. *Cerne*, 12(1), 8-18.

Tonini, H., Kaminski, P. E., & Costa, P. D. (2008). Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(11), 1509-1816.