

Artigos

Modelagem diamétrica de cinco espécies comerciais em área de concessão florestal na Floresta Nacional de Altamira no bioma Amazônia

Diametric modeling of five commercial species in a forest concession area in the Altamira national forest in the Amazon biome

Matheus Moraes Ziembowicz¹ , Veraldo Liesenberg^{II} ,
Jorge Antonio de Farias^I , Fabiano de Oliveira Fortes^I ,
Max Vinícios Reis de Sousa^I , Vinícius Richter^I ,
Thiago Floriani Stepka^{II} , Daniele Bernardy^I 

^IUniversidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

^{II}Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil

RESUMO

O estudo da distribuição diamétrica de espécies comerciais da Amazônia é fundamental para o planejamento e a execução de boas práticas de manejo florestal. Esses estudos são essenciais para a conservação e ecologia dessas espécies. O objetivo deste trabalho foi analisar a estrutura diamétrica de cinco espécies florestais em três unidades de produção anual sob concessão florestal, na Floresta Nacional de Altamira, no Pará. Por meio de dados de censo florestal, foram mensuradas as árvores que possuíam diâmetro à altura do peito ≥ 39 cm. Em seguida foram ajustadas as funções de densidade probabilística: *Beta*, *Gamma*, *Normal*, *Weibull 2P*, *Weibull 3P*. A área indicou a presença de espécies na Lista Vermelha de vulnerabilidade e ameaça para espécies com alto valor comercial. As modelagens diamétricas demonstraram um padrão unimodal com uma tendência exponencial negativa. Ocorreu uma diminuição na frequência de indivíduos a partir das classes diamétricas próximas do Diâmetro Mínimo de Corte (50 cm). As espécies *Cedrela odorata* e *Cordia Bicolor*, apresentaram baixas frequências de indivíduos por classe de diâmetro, com os valores estando abaixo de três indivíduos a cada 100 hectares. A função *Weibull 3P* foi capaz de representar a distribuição diamétrica das espécies *Cedrela odorata*, *Cordia bicolor*, *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus sp.* Por sua vez, a função *Beta* foi capaz de representar a estrutura diamétrica para a espécie *Handroanthus serratifolius*.

Palavras-chave: Censo florestal; Espécies ameaçadas; Funções densidade de probabilidade; Manejo florestal sustentável

ABSTRACT

The study of the diameter distribution of commercial species in the Amazon is fundamental for the planning and execution of good forest management practices. These studies are essential for the conservation and ecology of these species. Thus, the objective of this work was to analyze the diameter structure of five forest species in three annual production units under forest concession in the Altamira National Forest, Pará. Through forest census data, trees with a diameter at breast height ≥ 39 cm were measured. Subsequently, the following probability density functions were fitted: Beta, Gamma, Normal, Weibull 2P, and Weibull 3P. The area indicated the presence of species on the Red List of vulnerability and threat for species with high commercial value. The diameter modeling demonstrated a unimodal pattern with a negative exponential trend. There was a decrease in the frequency of individuals from diameter classes close to the Minimum Logging Diameter (50 cm). The species *Cedrela odorata* and *Cordia bicolor* presented low frequencies of individuals per diameter class, with values below three individuals per 100 hectares. The Weibull 3P function was able to represent the diameter distribution of the species *Cedrela odorata*, *Cordia bicolor*, *Handroanthus impetiginosus*, and *Handroanthus sp.* In turn, the Beta function was able to represent the diameter structure for the species *Handroanthus serratifolius*.

Keywords: Forest census; Threatened species; Probability density functions; Sustainable forest management

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior bioma brasileiro, apresenta uma área de 5.015.146 km², correspondendo a cerca de 58,93% do território brasileiro (IBGE, 2022). O bioma possui uma grande diversidade de formações vegetais com características distintas, porém, a evidente heterogeneidade, aliado à carência de informações sobre seu comportamento, tem gerado desafios no uso adequado dos recursos florestais no âmbito ecossistêmico (Silva Santos; Stepka; Hess, 2023). Nesse contexto, é essencial conhecer as características de cada espécie para possibilitar a adoção de boas práticas silviculturais e de conservação no manejo dos recursos florestais (Cruz; Nakajima; Silva; Hosokawa; Jardim; Corte, 2021).

Uma das principais informações dendrométricas de uma floresta é a distribuição diamétrica de seus indivíduos, que representa a quantidade de indivíduos encontrados em cada classe de diâmetro. Seja para produção ou uso sustentável de recursos florestais, a distribuição diamétrica permite a caracterização do estoque de madeira disponível antes e depois da exploração, gerando maiores probabilidades de projeções temporais acerca da população (Silva Santos; Stepka; Hess, 2023).

O estudo da distribuição diamétrica permite identificar diferentes tipologias florestais (Cruz; Nakajima; Silva; Hosokawa; Jardim; Corte, 2021), além de ser uma característica imprescindível e de fácil uso para caracterizar a estrutura de uma floresta (Bila; Sanquetta, Dalla Corte; Freitas, 2022), por meio de formulações matemáticas, podendo ser um fator de importância para o bom planejamento e controle das atividades florestais a serem desenvolvidas, inclusive para o conhecimento das produções futuras, entre outros (Limeira; Gregório; Silva; Ramos; Santana; Andrade; Santos, 2020). Uma das maneiras de descrever a estrutura diamétrica de uma floresta ou espécie é através do emprego de funções densidade de probabilidade (FDP), pois elas permitem obter a estimativa do número de árvores que ocorrem dentro de determinados centros de classes de diâmetro (Cruz; Nakajima; Silva; Hosokawa; Jardim; Corte, 2021; Campos; Leite, 2017).

Algumas espécies com alto valor comercial se tornam muito exploradas na Amazônia, o que pode acarretar, a longo prazo, a redução de suas populações à níveis críticos (Vieira; Gomes; Santos; Oliveira; Gama; Mendonça; Lafetá; Moura; Figueiredo, 2021). Nesse contexto, algumas espécies amazônicas se tornam cada vez mais suscetíveis à lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção, como, por exemplo, a *Cedrela odorata* (Brasil, 2021; CNCFlora, 2023), a *Handroanthus serratifolius* (Lohmann, 2023a) e a *Handroanthus impetiginosus* (CNCFlora, 2023; Lohmann, 2023b). Estudos sobre o comportamento dessas espécies, principalmente em relação ao diâmetro, que é bastante influenciado pela colheita de madeira, são de suma importância para dar suporte à sustentabilidade das atividades florestais, em especial, no intuito de definir corretamente seu ciclo de corte (Cruz; Nakajima; Silva; Hosokawa; Jardim; Corte, 2021).

Desse modo, o objetivo deste estudo foi analisar a distribuição diamétrica de cinco espécies com alto valor comercial por meio de funções densidade de probabilidade, em três unidades de manejo florestal (UMF) na FLONA Altamira/PA no Bioma Amazônia.

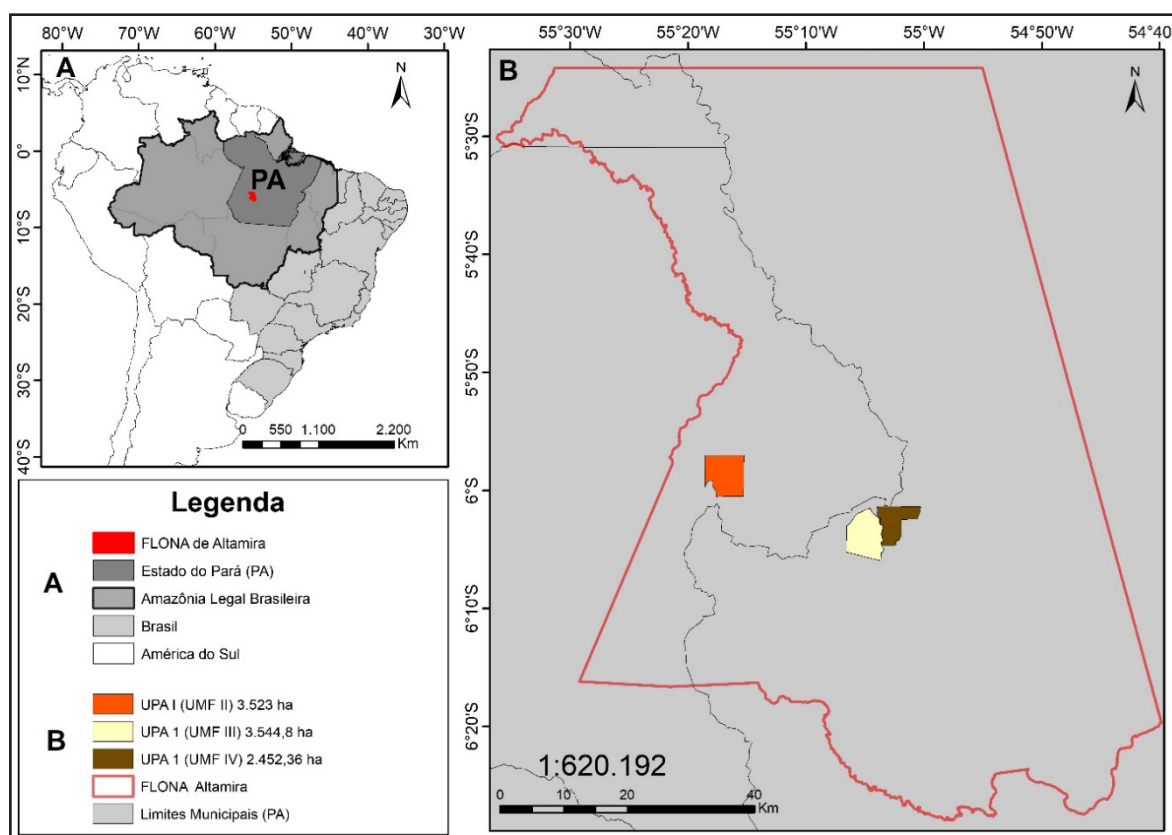
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Floresta Nacional (FLONA) de Altamira situa-se entre os rios Xingu e Tapajós, na Amazônia paraense. As temperaturas locais anuais máximas variam entre 31°C e 33°C (ICMBio, 2012), e possui precipitação média anual em torno de 1.800 a 2.800 mm, com uma estação seca de pequena duração (UCB, 2023). Segundo Köppen o clima da região é do tipo chuvas com monção (Am) (UCB, 2023).

A FLONA é composta por duas fitofisionomias, sendo a Floresta Ombrófila Aberta com 77,74% e a Floresta Ombrófila Densa com 22,26% (UCB, 2023). Mais detalhes sobre a geometria e localização das áreas de estudo podem ser consultados na Figura 1.

Figura 1 – Localização do estado do Pará (PA) na Amazônia Legal (A), Brasil, com destaque a FLONA Altamira (B) e as áreas de estudo nas UMF II, UMF III e UMF IV



Fonte: Autores (2024)

Em que: Unidade de Produção Anual (UPA); Unidade de Manejo Florestal (UMF); Unidade de Manejo Florestal II; Unidade de Manejo Florestal III; Unidade de Manejo Florestal IV, Floresta Nacional (FLONA).

2.2 Banco de dados

Os dados do censo florestal estavam em arquivos *File Geodatabase Feature Class* (Classe de recurso de geobanco de dados de arquivos) e foram fornecidos pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) mediante parceria educacional com a Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Por meio do *software* ArcGIS® extraiu-se a base de dados. O censo florestal das espécies comerciais foi realizado no ano de 2016, do qual foram extraídas as seguintes informações: localização georreferenciada das árvores comerciais, diâmetro do fuste medido à 1,30 m do solo (DAP) ≥ 39 cm, nome científico, nome popular e área basal das cinco espécies com maior valor comercial. Utilizando a ferramenta *Table to Excel* para o formato *MS Excel*, que serviu como base para o processamento da modelagem da estrutura diamétrica, foram exportados os dados da 1ª Unidade de Produção Anual (UPAs I) das UMF II, UMF III e UMF IV, da FLONA de Altamira (Figura 1).

2.3 Modelagem da estrutura diamétrica

A modelagem da estrutura diamétrica foi realizada através de funções densidade de probabilidade para as cinco espécies com maior valor comercial: *Cedrela odorata* (Cedro); *Cordia bicolor* (Freijó); *Handroanthus impetiginosus* (Ipê Roxo); *Handroanthus serratifolius* (Ipê Amarelo); e *Handroanthus* sp. (Ipê Amarelo).

O valor comercial do volume por m³, teve como base o relatório apresentado pelo Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais (SISFLORA/PA), para o ano de 2016, que aferiu os seguintes valores: R\$ 412/m³ para o Cedro; R\$ 369/m³ para Freijó; R\$ 653/m³ para o Ipê Roxo; R\$ 503/m³ para o Ipê Amarelo; e R\$ 512/m³ para a *Handroanthus* sp. (SISFLORA, 2016).

Para que os resultados dos modelos ajustados fossem comparados, os dados foram extrapolados para uma escala de área, considerando o valor recomendado para o tamanho da UT que é 100 ha (Equação 1). Outros trabalhos utilizaram diferentes escalas na Amazônia (Oliveira, 2020; Silva Santos; Stepka, 2021). A determinação das

classes diamétricas se deu através da regra de *Sturges* (1926) (Equação 2). Foi definido o valor de oito para a amplitude de intervalo (Equação 3), para as cinco espécies com maior valor comercial.

$$Fu(x) = N/100 \text{ (ha)} \quad (1)$$

$$k = 1 + 3.322 * \log_{10}(N) \quad (2)$$

$$\text{Interval Amplitude} = \frac{\text{highest value} - \text{lowest value}}{\text{number of classes (k)}} \quad (3)$$

onde: $Fu(x)$ = frequência; N = número de indivíduos; k = número de classes; $\log$ = logaritmo na base 10.

As variáveis frequência ($N/100$ ha) e DAP foram inseridas no *software Table Curve 2D (Systat Software, Inc) version 3*, que serviu como base para encontrar os parâmetros dos modelos a serem utilizados (Tabela 1). Posteriormente, realizou-se o teste de aderência de *Kolmogorov - Smirnov* para verificar qual modelo melhor representaria cada espécie mensurada. Kendall e Stuart (1976) relataram que esse cálculo verifica a diferença máxima absoluta (D) a partir da frequência observada acumulada ($Fo_{(x)}$) e a frequência esperada acumulada ($Fe_{(x)}$) (Equação 4).

$$D_{calc} = \frac{\max |Fo - Fe|}{n} \quad (4)$$

Dalla Lana, Lins, Brandão, Netto, Marangon e Retslaff (2013) observaram que a função que apresentasse o menor D_{calc} indicaria a melhor aderência entre as distribuições diamétricas. Assim, verifica a significância a 99% de probabilidade. Portanto, se D_{calc} for $\geq D_n$ rejeita-se H_0 (distribuições diferentes), e se D_{calc} for $\leq D_n$, aceita-se H_0 (distribuições semelhantes).

Tabela 1 – Funções densidade de probabilidade para a modelagem das espécies de maior valor comercial presentes nas UPAs 1 das UMF II, UMF III e UMF IV na FLONA Altamira (PA), Brasil

Model	Functional relation	Distribution mean	Distribution variation
Normal (Gauss)	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} * (Fu * A)$	-	-
Weibull 3p	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c} * (Fu * A)$	$\mu_x = a + b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Weibull 2p	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c} * (Fu * A)$	$\mu_x = b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Gamma	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} * (Fu * A)$	$\mu_x = \alpha * \beta$	$\sigma^2 = \beta^2 * \alpha$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} * (Fu * A)$	$\mu_x = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$	$\sigma^2 = \frac{\alpha * \beta}{(\alpha + \beta)^2 * (\alpha + \beta + 1)}$

Fonte: Autore (2024)

Em que: μ = média da distribuição; σ = desvio padrão da distribuição; a, b e c = parâmetros de localização (a), escala (b) e forma (c) da distribuição a serem estimados; α e β = parâmetros da distribuição; Γ = função gamma, ζ = classe beta; x: classe; Fu: Frequência utilizada (N/100ha); A: Amplitude de classe; FLONA = Floresta Nacional; UPA = Unidade de produção anual; UMF = Unidade de manejo florestal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estatística descritiva das espécies comerciais

A comunidade florestal estudada apresentou 7.277 indivíduos para as cinco espécies avaliadas. Desse total, *Handroanthus* sp. obteve 2.269 indivíduos presentes apenas na UMF II; o *Handroanthus impetiginosus* apresentou 1.973 distribuídos nas três áreas; o *Handroanthus serratifolius* com 1.884 árvores presentes na UMF III e IV; já a *Cedrela odorata* com 1.041 indivíduos presentes nas três áreas estudadas e pôr fim a *Cordia bicolor* com 110 indivíduos presentes na UMF II.

O menor diâmetro médio foi encontrado na espécie *Cordia bicolor* com cerca de 56,66 cm (σ = 10,99 cm), seguida pela *Handroanthus* sp. com 61,71 cm (σ = 12,77 cm); *Cedrela odorata* com 65,11 cm (σ = 15,63 cm), *Handroanthus serratifolius* com 66,00

cm ($\sigma = 15,00$ cm); e, por fim, a maior média entre as cinco espécies foi registrada em *Handroanthus impetiginosus* com 69,59 cm ($\sigma = 16,77$ cm) (Tabela 2).

Tabela 2 – Estatística descritiva das espécies comerciais presentes nas UPAs 1 das UMF II, UMF III e UMF IV na Flona Altamira (PA), Brasil

Estatística descritiva	Diâmetro do fuste à 1,30 cm do solo				
	<i>C. odorata</i>	<i>C. bicolor</i>	<i>H. impetiginosus</i>	<i>H. serratifolius</i>	<i>H. sp.</i>
Abundância	1.041	110	1,973	1,884	2,269
Média	65,11	56,66	69,59	66,00	61,71
Erro padrão	0,48	1,05	0,38	0,35	0,27
Mediana	62,71	54,43	66,85	63,66	60,48
Moda	63,66	45,52	63,66	60,48	63,66
Desvio padrão	15,63	10,99	16,77	15,00	12,77
Variância	244,40	120,80	281,21	224,99	163,11
Coeficiente de variação (%)	24,01	19,40	24,10	22,73	20,70
Curtose	1,00	0,90	1,15	2,18	1,62
Assimetria	0,95	1,04	0,89	1,13	0,88
Intervalo	88,81	50,29	115,34	113,21	112,36
Mínimo	39,79	40,43	40,00	39,79	40,43
Máximo	128,60	90,72	155,34	153,00	152,79

Fonte: Autores (2024)

Os menores diâmetros foram encontrados nas espécies *Cedrela odorata* e *Handroanthus serratifolius*, ambos com 39,79 cm. Por sua vez, o maior diâmetro foi encontrado na espécie *Handroanthus impetiginosus*, com cerca de 155,34 cm, a qual também apresentou a maior amplitude diamétrica. Todas as espécies apresentaram diâmetros com coeficientes de variação menores que 25%. Essa variação foi menor quando comparado ao estudo de Silva Santos, Stepka e Hess (2023), em uma área de manejo florestal localizada na Reserva Extrativista (RESEX) Tapajós-Arapiuns, Pará, onde foi registrado uma variação de 31% no diâmetro para 10 espécies com valor comercial.

Em relação às medidas de forma, todas as espécies apresentaram assimetria e curtose positiva, indicando uma curva Leptocúrtica, ou seja, a distribuição diamétrica possui um grau de achatamento menor que o da curva de uma distribuição normal

padrão. Comportamento semelhante foi encontrado no estudo de Limeira, Gregório, Silva, Ramos, Santana, Andrade e Santos (2020), que observaram uma mesma tendência na distribuição diamétrica de espécies localizadas em matas ciliares. Em relação às espécies comerciais nativas da região Amazônica, Silva Santos, Stepka e Hess (2023) registraram um comportamento semelhante, com tendência de distribuição Leptocúrtica para dez espécies comercializadas (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Hymenaea courbaril* L., *Hymenaea parvifolia* Huber, *Goupia glabra* Aubl., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Couratari guianensis* Aubl., *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers., *Manilkara paraensis* (Huber) Standl., *Holopyxidium jarana* Huber ex Ducke, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f.), em uma área de manejo florestal na Reserva Extrativista (RESEX) Tapajós-Arapicuns, Pará.

3.2 Modelagem diamétrica

Em relação às frequências acumuladas a cada 100 hectares, para as 5 espécies comerciais avaliadas, em ordem crescente, foram: *Cordia bicolor* com três indivíduos, *Cedrela odorata* com 10,93 indivíduos, *Handroanthus impetiginosus* com 20,72 indivíduos, *Handroanthus serratifolius* com 31,41 indivíduos, e por fim *Handroanthus* sp. com 64,41 indivíduos (Tabela 3).

Observou-se que não houve diferença significativa (H_0) entre as estimativas geradas a partir dos modelos e da distribuição diamétrica das espécies avaliadas, o que indica a capacidade das funções densidade de probabilidade para representar a estrutura diamétrica das cinco espécies. Com isso, a fim de que apenas um modelo fosse representativo para cada espécie, foi utilizado como critério de escolha o menor valor mensurado pelo teste *Kolmogorov-Smirnov* à 99% de probabilidade, por ser o mais preciso para o conjunto dos dados (Tabela 4).

Tabela 3 – Frequência das espécies comerciais a cada 100 hectares, presentes nas UPAs 1 das UMF II, UMF III e UMF IV na FLONA Altamira (PA), Brasil

Classes de DAP	<i>C. odorata</i>		<i>C. bicolor</i>		<i>H. impetiginosus</i>		<i>H. serratifolius</i>		<i>H. sp.</i>	
	F abs.	F acum.	F abs.	F acum.	F abs.	F acum.	F abs.	F acum.	F abs.	F acum.
36	0,02	0,02	-	-	-	-	0,05	0,05	-	-
44	1,23	1,25	0,71	0,71	1,50	1,50	2,43	2,48	8,88	8,88
52	2,11	3,36	0,99	1,70	2,83	4,33	5,22	7,70	14,76	23,64
60	2,76	6,12	0,85	2,55	4,72	9,04	8,74	16,44	17,91	41,56
68	1,74	7,87	0,26	2,81	3,80	12,85	6,47	22,91	10,62	52,17
76	1,29	9,16	0,20	3,01	3,06	15,90	3,42	26,32	7,04	59,21
84	0,77	9,93	0,06	3,07	1,99	17,89	1,98	28,31	2,95	62,16
92	0,62	10,54	0,06	3,12	1,49	19,38	1,85	30,16	1,53	63,70
100	0,16	10,70	-	3,12	0,56	19,93	0,65	30,81	0,43	64,12
108	0,11	10,81	-	3,12	0,35	20,28	0,30	31,11	0,17	64,29
116	0,06	10,87	-	3,12	0,23	20,51	0,10	31,21	0,09	64,38
124	0,05	10,92	-	3,12	0,14	20,65	0,13	31,34	-	64,38
132	0,01	10,93	-	3,12	0,03	20,68	0,02	31,36	-	64,38
140	0,00	10,93	-	3,12	0,02	20,70	0,03	31,39	-	64,38
148	-	10,93	-	3,12	0,01	20,71	-	31,39	-	64,38
156	-	10,93	-	3,12	0,01	20,72	0,02	31,41	0,03	64,41

Fonte: Autores (2024)

Tabela 4 – Estatísticas e parâmetros das funções densidade de probabilidade para as cinco espécies com maior valor comercial na FLONA Altamira (PA), das UPAs 1 das UMF II, UMF III e UMF IV, utilizando a aderência de *Kolmogorov-Smirnov* a 99%

	Normal	Weibull 3P	Weibull 2P	Gamma	Beta	Dtab.
<i>Cedrela odorata</i>						
Dcalc.	0,1076	0,0205	0,1188	0,0765	0,0935	0,4927
	$\mu= 60,82$	$\mu= 63,64$	$\mu= 59,67$	$\mu= 62,57$	$\mu= 63,41$	
	$\sigma= 13,92$	$\sigma= 14,33$	$\sigma= 14,36$	$\sigma= 14,18$	$\sigma= 45,94$	
	-	$a= 35,99$				
Parâmetros	-	$b= 31,20$	$b= 65,19$	$\alpha= 19,45$	$\alpha= 3,24$	
	-	$c= 2,01$	$c= 4,73$	$\beta= 3,21$	$\beta= 7,48$	
<i>Cordia bicolor</i>						
Dcalc.	0,0878	0,0303	0,1258	0,0590	0,0495	0,9225
	$\mu= 53,05$	$\mu= 54,80$	$\mu= 51,63$	$\mu= 54,18$	$\mu= 56,01$	
	$\sigma= 9,88$	$\sigma= 9,53$	$\sigma= 10,06$	$\sigma= 9,95$	$\sigma= 49,15$	
	-	$a= 34,59$				
Parâmetros	-	$b= 22,82$	$b= 55,67$	$\alpha= 29,64$	$\alpha= 1,89$	
	-	$c= 2,24$	$c= 5,95$	$\beta= 1,82$	$\beta= 4,74$	

Continua ...

Tabela 4 – Conclusão

	Normal	Weibull 3P	Weibull 2P	Gamma	Beta	Dtab.
<i>Handroanthus impetiginosus</i>						
Dcalc.	0,0552	0,0226	0,0773	0,0237	0,0633	0,3581
	$\mu = 65,13$	$\mu = 68,82$	$\mu = 63,87$	$\mu = 67,35$	$\mu = 69,71$	
	$\sigma = 15,90$	$\sigma = 15,62$	$\sigma = 16,22$	$\sigma = 15,93$	$\sigma = 56,41$	
	-	$a = 39,29$				
Parâmetros	-	$b = 33,31$	$b = 70,02$	$\alpha = 17,86$	$\alpha = 2,21$	
	-	$c = 1,97$	$c = 4,46$	$\beta = 3,76$	$\beta = 6,73$	
<i>Handroanthus serratifolius</i>						
Dcalc.	0,0861	0,0614	0,1026	0,0624	0,0402	0,2908
	$\mu = 62,12$	$\mu = 63,89$	$\mu = 60,53$	$\mu = 63,63$	$\mu = 64,13$	
	$\sigma = 12,30$	$\sigma = 12,41$	$\sigma = 12,50$	$\sigma = 12,67$	$\sigma = 44,47$	
	-	$a = 35,99$				
Parâmetros	-	$b = 31,47$	$b = 65,50$	$\alpha = 25,18$	$\alpha = 4,72$	
	-	$c = 2,39$	$c = 5,59$	$\beta = 2,52$	$\beta = 14,08$	
<i>Handroanthus sp.</i>						
Dcalc.	0,0668	0,0125	0,0996	0,0366	0,0644	0,2031
	$\mu = 58,21$	$\mu = 60,67$	$\mu = 56,76$	$\mu = 59,77$	$\mu = 62,41$	
	$\sigma = 12,36$	$\sigma = 11,97$	$\sigma = 12,72$	$\sigma = 12,41$	$\sigma = 53,38$	
	-	$a = 36,37$				
Parâmetros	-	$b = 27,43$	$b = 61,73$	$\alpha = 23,19$	$\alpha = 2,09$	
	-	$c = 2,13$	$c = 5,12$	$\beta = 2,57$	$\beta = 9,11$	

Fonte: Autores (2024)

Em que: $D_{calc.}$ = máxima diferença absoluta entre a função densidade de probabilidade ajustada e os valores observados em campo para cada método; $D_{tab.}$ = é o valor de Kolmogorov-Smirnov (α : 0,01); μ = média (cm); σ = desvio padrão (cm).

A função *Weibull 3P* obteve a melhor aderência para a representação das distribuições diamétricas das espécies *Cedrela odorata* ($D_{tab.} = 0,4927 > D_{calc.} = 0,0205$), *Cordia bicolor* ($D_{tab.} = 0,9225 > D_{calc.} = 0,0303$), *H. impetiginosus* ($D_{tab.} = 0,3581 > D_{calc.} = 0,0226$), e *H. sp.* ($D_{tab.} = 0,2031 > D_{calc.} = 0,0125$). Além disso, para a espécie *H. serratifolius*, o modelo com melhor aderência para representar a estrutura diamétrica foi a função Beta ($D_{tab.} = 0,0402 > D_{calc.} = 0,2908$).

Os parâmetros c da função *Weibull* indicaram a forma da assimetria da distribuição, nesse sentido, os modelos acima obtiveram valores equivalentes a uma

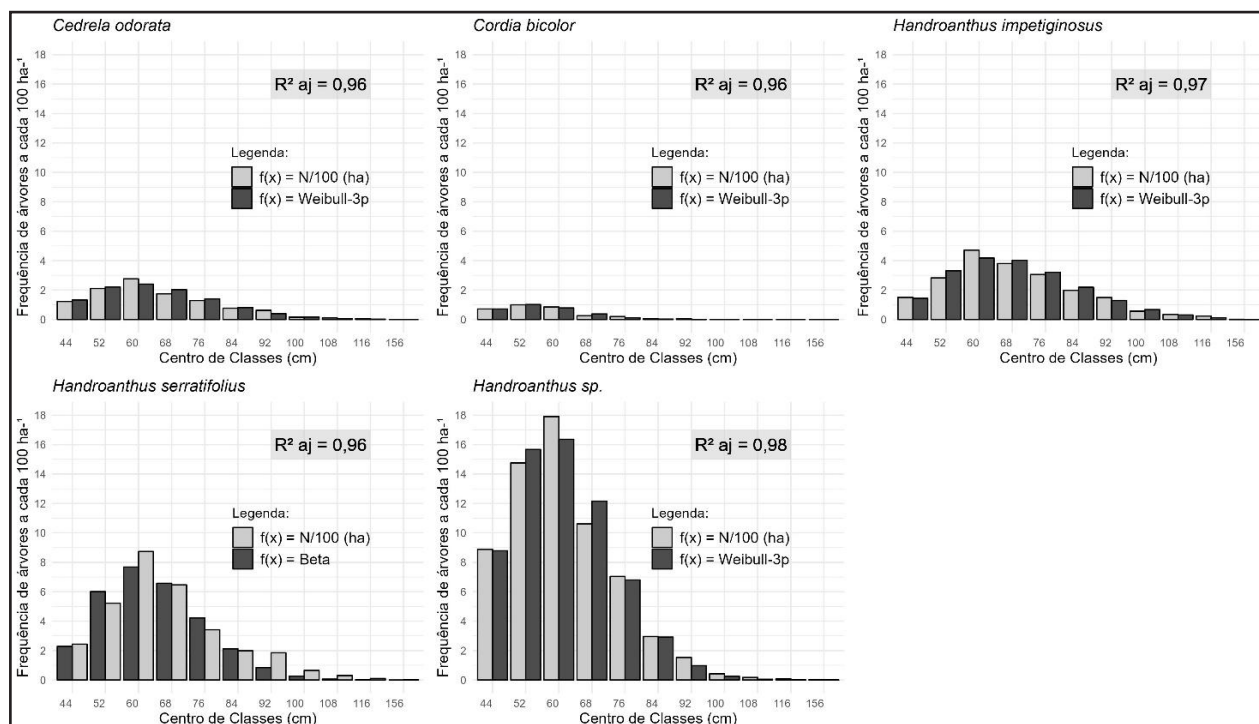
distribuição unimodal com assimetria positiva ($c_{min} = 1,97$ e $c_{max} = 2,24$), ou seja, a frequência de indivíduos diminui conforme os maiores centros de classe diamétrica (Figura 2). Nesse sentido, observamos na literatura que alguns autores obtiveram resultados positivos quanto a utilização da função *Weibull 3P* para representar a estrutura diamétrica de espécies nativas (Ribeiro et al. 2014) e espécies amazônicas (Cruz, Nakajima, Silva, Hosokawa, Jardim, Corte, 2021; Silva Santos; Stepka; Hess, 2023; Silva Santos e Stepka, 2021; Vieira; Gomes; Santos; Oliveira; Gama; Mendonça; Lafetá; Moura; Figueiredo, 2021; Vieira; Oliveira; Gama; Figueiredo; Lafetá, 2021).

A partir dos melhores modelos de aderência pelo teste *Kolmogorov-Smirnov*, foram calculados o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj), e gerados os gráficos da modelagem diamétrica para as espécies analisadas nas três áreas de estudo da FLONA Altamira (Figura 2). Podemos observar que todas as funções apresentaram coeficientes (R^2 aj) acima de 0,96 para as cinco espécies avaliadas, corroborando a capacidade dos modelos selecionados.

As modelagens diamétricas demonstraram um padrão unimodal com uma tendência exponencial negativa, corroborando os dados de assimetria e curtose. Os modelos apresentaram uma diminuição na frequência de indivíduos a partir das classes de 52 e 60 cm de diâmetro. Essas classes estão próximas ao Diâmetro Mínimo de Corte - DMC de 50 cm, próprio para planos de manejo florestal. Esse comportamento de poucos indivíduos presentes nas maiores classes diamétricas é uma característica comum de florestas nativas ecologicamente equilibradas.

Em relação à frequência de indivíduos por classes de diâmetro (Figura 2), constatou-se que as espécies *Handroanthus* sp., *Handroanthus serratifolius* e *Handroanthus impetiginosus* apresentaram as maiores frequências, e seus valores se enquadram ao requisito mínimo de três indivíduos a cada 100 hectares, estabelecidas pela Instrução Normativa Nº 5/2006, que dispõe sobre os procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de planos de manejo florestal sustentável (PMFS) na Amazônia Legal (Brasil, 2006).

Figura 2 – Funções densidade de probabilidade ajustadas através do teste de *Kolmogorov-Smirnov* para as espécies com maior valor comercial na FLONA Altamira nas UPAs 1 das UMF II, UMF III e UMF IV, no estado do Pará (PA), Brasil



Fonte: Autores (2024)

Em contrapartida, no que se refere às espécies *Cedrela odorata* e *Cordia Bicolor*, percebe-se que ambas apresentaram as menores frequências de indivíduos por classe de diâmetro, com os seus valores estando próximos do requisito mínimo de três indivíduos a cada 100 hectares (Tabela 3), estabelecido na norma de execução do IBAMA nº1/2007 (Brasil, 2007). No caso específico da *Cedrela odorata*, a baixa frequência de indivíduos com base nos diâmetros comerciais pode indicar uma alteração da floresta, o que pode ser um alerta pois trata-se de uma espécie em situação de vulnerabilidade (Brasil, 2021). Segundo o Artigo 2 da Portaria do MMA Nº 443, de 17 de dezembro de 2014, às espécies enquadradas nessa situação devem ser protegidas de modo integral, sendo proibida sua coleta, corte, transporte, armazenamento, manejo, beneficiamento

e comercialização (MMA, 2014).

No caso do *Handroanthus serratifolius* e *Handroanthus impetiginosus*, apesar de apresentarem elevadas frequências de indivíduos, estas também se enquadram em algum nível de vulnerabilidade e ou ameaça, conforme a “Lista Vermelha” do Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora, 2023). Pesquisas apontam que a utilização dos ciclos de corte (CCs), atualmente entre 25 a 35 anos (Brasil, 2007), e a intensidade de corte praticada na região amazônica estão associadas a reduções dos recursos madeireiros (Brienen; Zuidema, 2006). Contudo, intensidades de exploração mais baixas e ciclos de extração mais longos podem causar menos danos a floresta, o que ajudaria a garantir colheitas de madeira sustentáveis no futuro próximo (DeArmond; Emmert; Pinto; Lima; Higuchi, 2023).

Devido à complexidade da estrutura florestal encontrada no bioma amazônico, tem-se dificuldade na elaboração de modelos precisos para a estimação da taxa de crescimento das árvores tropicais (Andrade; do Amaral Machado; Figueiredo Filho; Botosso; Miranda; Schöngart, 2019; Conde, 2022). Portanto, existe o risco de que as mesmas sofram declínio populacional, caso não haja seleção mais criteriosa em relação ao manejo aos quais elas são submetidas.

Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de conduzir estudos mais abrangentes antes e após manejo florestal, visando aprofundar a investigação sobre os métodos de manejo seletivos implementados atualmente dentro do bioma Amazônico. É de suma importância o cumprimento das diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes, a fim de garantir a conservação adequada dos recursos naturais, promovendo a regeneração das florestas e a manutenção do equilíbrio ecossistêmico local.

4 CONCLUSÕES

A função *Weibull 3P* obteve a melhor aderência para a representação das distribuições diamétricas das espécies *Cedrela odorata*, *Cordia bicolor*, *Handroanthus*

impetiginosus e *Handroanthus* sp. Por sua vez, a função Beta obteve a melhor aderência para representar a estrutura diamétrica para a espécie *Handroanthus serratifolius*.

As espécies *Cedrela odorata* e *Cordia bicolor* apresentaram valores próximos do requisito mínimo de três indivíduos a cada 100 hectares, destacando a importância do monitoramento dessas espécies, visto que elas estão expostas ao risco de vulnerabilidade local. Observou-se o quanto as funções densidade de probabilidade podem auxiliar como mais uma ferramenta para análise do manejo florestal sustentável na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. H. F.; DO AMARAL MACHADO, S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; BOTOSSO, P. C.; MIRANDA, B. P.; SCHÖNGART, J. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 215-223, 2019.

BILA, J. M.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; FREITAS, L. J. M. Efeitos dos tratamentos silviculturais na dinâmica da distribuição diamétrica em uma área de floresta tropical amazônica com o uso da função Weibull. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1684-1697, 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Altera as Diretrizes para o Manejo Florestal em escala empresarial na Amazônia. **Diário Oficial da União**, n. 238, p. 155-159, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Espécies ameaçadas**. 2021. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/especies-ameacadas>. Acesso em: 06 nov. 2023.

BRASIL. Norma Administrativa nº 1, de 24 de abril de 2007. Institui as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS de que trata o art. 19 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Diário Oficial da União**, n. 1, 2007.

BRIENEN, R. J.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1-3, p. 256-267, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2017.

CNCFlora – CENTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA FLORA. **Lista vermelha**. 2023. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha>. Acesso em: 17 out 2023.

CONDE, M. **Avaliação do Potencial de Manejo de Espécies Madeireiras em Florestas de Igapó de Água-Clara da Amazônia por meio de Modelos De Crescimento**. 2022. 51 p.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2022.

CRUZ, L. L.; NAKAJIMA, N. Y.; SILVA, R. M. D.; HOSOKAWA, R. T.; JARDIM, F. C. D. S.; CORTE, A. P. D. Distribuição diamétrica de três espécies de *Lecythidaceae* após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 171-190, 2021.

DALLA LANA, M.; LINS, C. F.; BRANDÃO, S.; NETTO, S. P.; MARANGON, L. C.; RETSLAFF, F. A. S. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa-Igarassu, PE. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 59-68, 2013.

DEARMOND, D.; EMMERT, F.; PINTO, A.C.M.; LIMA, A.J.N.; HIGUCHI, N. A systematic review of logging impacts in the Amazon Biome. **Forests**, v.14, n.1, p.81, 2023.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Altamira, localizada no Estado do Pará**. 2012. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/flona-de-altamira/pm_flona_altamira_planejamentoII.pdf. Acesso em: 08 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24 maio 2024.

KENDALL, M. G.; STUART, A. **The advanced theory of statistics London**. England: Griffin, 1976.

LIMEIRA, M. M. C.; GREGÓRIO, W. M.; SILVA, M. V. C.; RAMOS, Y. A.; SANTANA, T. T. C.; ANDRADE, T. G.; SANTOS, A. F. Ajuste da distribuição diamétrica e similaridade florística para áreas ciliares através do uso de funções de densidade de probabilidade. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: **1809-8215**. v. 16, n. 4, p. 1-16, 2020.

LOHMANN, L.G. *Handroanthus* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2023a. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117466>. Acesso em: 27 nov. 2023.

LOHMANN, L.G. *Handroanthus* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2023b. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB114086>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014**. Reconhece como Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção. 2014.

OLIVEIRA, M. F. **Modelagem do Crescimento e da Estrutura Diamétrica para Determinação do Ciclo e do Diâmetro Mínimo de Corte de Espécies Madeireiras da Floresta Amazônica**. 2020. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

RIBEIRO, A., FERRAZ FILHO, A. C., SCOLFORO, J. R. S., NETTO, S. P., MACHADO, S. D. A. Estrutura da distribuição diamétrica em plantio experimental de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Ciência Florestal**, v. 24, p. 1055-1065, 2014.

SILVA SANTOS, D. W.; STEPKA, T. F. Modelagem da distribuição diamétrica de cinco espécies comerciais nativas da Amazônia, no Estado do Pará. **Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza**, p. 259-268, 2021.

SILVA SANTOS, D. W.; STEPKA, T. F.; HESS, A. F. Modelagem da distribuição diamétrica e hipsométrica de espécies comerciais nativas da Amazônia brasileira. **Scientia Forestalis**, 51, e3947, 2023.

SISFLORA - SISTEMA DE COMERCIALIZAÇÃO E TRANSPORTE DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Extração e Comércio de Toras de Madeira Nativa por Essência**. 2016. Disponível em: <http://monitoramento.semas.pa.gov.br/sisflora/relatorios.html>. Acesso em: 01 de jun. 2023.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the american statistical association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

UCB - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL. **Floresta Nacional de Altamira**. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1328>. Acesso em: 08 ago. 2023.

VIEIRA, D. S.; GOMES, K. M. A.; SANTOS, L. E.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; MENDONÇA, E. L. M.; LAFETÁ, B. O.; MOURA, C. C.; FIGUEIREDO, A. E. S. Estrutura diamétrica e espacial de espécies madeireiras de importância econômica na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, 2021.

VIEIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO, A. E. S.; LAFETÁ, B. O. Estrutura diamétrica e distribuição espacial de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. no oeste do estado do Pará, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, 2021.

Contribuição de Autoria

1 Matheus Moraes Ziembowicz

Engenheiro Florestal, Mestrado em Engenharia Florestal, Doutorando

<https://orcid.org/0000-0002-8884-4536> • mmziembowicz@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Disponibilização de ferramentas; Desenvolvimento, implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

2 Veraldo Liesenberg

Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Engenharia Florestal, Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0564-7818> • veraldo.liesenberg@udesc.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Desenvolvimento, implementação e teste de software; Supervisão; Validação de dados

e experimentos; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

3 Jorge Antonio de Farias

Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Engenharia Florestal, Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7494-4176> • fariasufsm@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Metodologia; Supervisão; Escrita – revisão e edição

4 Fabiano de Oliveira Fortes

Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Engenharia Florestal, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8716-8839> • fabianofortes@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Supervisão; Escrita – revisão e edição

5 Max Vinícios Reis de Sousa

Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-3509-6394> • max.sousa@acad.ufsm.br

Contribuição: Desenvolvimento, implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

6 Vinícius Richter

Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0009-0002-3339-3093> • vinicius.richter@acad.ufsm.br

Contribuição: Desenvolvimento, implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

7 Thiago Floriani Stepka

Engenheiro Florestal, Mestre e Doutor em Engenharia Florestal, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-9835-4936> • thiago.stepka@udesc.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Metodologia; Supervisão; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

8 Daniele Bernardy

Engenheira Florestal, Mestrado em Engenharia Florestal, Doutoranda

<https://orcid.org/0000-0001-6058-3584> • bernardydaniele@gmail.com

Contribuição: Desenvolvimento; implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

ZIEMBOWICZ, M. M.; LIESENBERG, V.; FARIAS, J. A.; FORTES, F. O.; SOUSA, M. V. R.; RICHTER, V.; STEPKA, T. F.; BERNARDY, D. Modelagem diamétrica de cinco espécies comerciais em área de concessão florestal na Floresta Nacional de Altamira no bioma Amazônia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 4, e86349, p. 1-19, 2024. DOI 10.5902/1980509886349. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509886349>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.