

Distribuição diamétrica de espécies da Floresta Ombrófila Densa no Sul do Estado do Rio de Janeiro

Vinicius Costa Cysneiros^{1*}, Thiago de Azevedo Amorim², Joaquim de Oliveira Mendonça Júnior², Tatiana Dias Gai², Juan Carlos Resende de Moraes², Denise Monte Braz², Sebastião do Amaral Machado¹

¹Universidade Federal do Paraná, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465 Km 7, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

***Autor correspondente:**

vecysneiros.floresta@gmail.com

Termos para indexação:

Floresta Atlântica
Funções densidade de probabilidade
Modelagem

Index terms:

Atlantic Forest
Density probability functions
Modeling

Histórico do artigo:

Recebido em 06/10/2015
Aprovado em 03/03/2017
Publicado em 31/03/2017

doi: 10.4336/2017.pfb.37.89.1070

Resumo - O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho e selecionar funções densidade de probabilidade que descrevam a distribuição diamétrica da comunidade florestal e das três principais espécies da Floresta Ombrófila Densa no sul do estado do Rio de Janeiro. Foram testadas as funções Normal, Log Normal, Beta, Gama, Sb de Johnson e Weibull. Os ajustes foram realizados com auxílio da ferramenta Solver (MSExcél®), que utiliza o algoritmo linear de gradiente reduzido para otimização dos parâmetros das funções. Para a seleção do melhor modelo foram avaliados o valor D de Kolmogorov – Smirnov e o erro padrão da estimativa (Syx %). De maneira geral, as funções Sb de Johnson e Weibull apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e maior precisão nas estimativas. Mesmo representando melhor a realidade da distribuição, os menores intervalos de classe não forneceram os melhores ajustes, sendo as estimativas mais precisas propiciadas pelos maiores intervalos e menores números de classes.

Diametric distribution of species in a tropical rain forest in southern of Rio de Janeiro State, Brazil

Abstract - The goal of this study was to evaluate the performance and select probability density functions to describe the diametric distributions of the forest community and the main three species in a tropical rain forest in southern of Rio de Janeiro State. We tested the functions: Normal, Normal Log, Beta, Gamma, Sb Johnson and Weibull. Adjustments were carried out using Solver tool (MSExcél®) which uses the reduced linear gradient algorithm, optimizing the functions parameters. Value D Kolmogorov–Smirnov and estimation of standard error (Syx%) were evaluate to select the best model. In general, Sb Johnson and Weibull functions presented better statistics adjustment and greater precision in the estimates. Even representing the reality of the distribution, the smaller class intervals did not provide better adjustments, more precise estimates being provided by the larger ranges and smaller classes.

Introdução

As florestas tropicais são caracterizadas pela alta densidade de plantas e pela grande diversidade de espécies, cujos ritmos de crescimento são, em geral, diferentes (Rangel et al., 2006; Puig, 2008). Em resposta aos ritmos distintos de crescimento e à grande variação

de idade das árvores, a estrutura diamétrica apresenta configuração diferenciada entre tipologias florestais, estágios sucessionais e para espécies ou grupos de espécies quando analisadas individualmente.

O estudo das distribuições de diâmetros teve início em 1898, quando François De Liocourt estabeleceu seu conceito para florestas naturais multiâneas (Barros et

al., 1979), afirmando que a frequência de indivíduos decresce em uma progressão geométrica, conforme o aumento de classes. Meyer (1933) criou o termo floresta balanceada para este tipo de distribuição, caracterizando as florestas em que o decréscimo entre classes era constante. A partir de então, diversos estudos foram focados nessa área, evidenciando a importância do conhecimento da estrutura diamétrica de comunidades florestais.

Na ciência florestal, o estudo de distribuições diamétricas apresenta diversas aplicações, servindo como um indicador do estoque em crescimento (Machado et al., 2009) e da estrutura florestal, permitindo a distinção de tipologias florestais e fornecendo subsídios para identificação da intensidade de regeneração natural da floresta ou de espécies (Scolforo, 2006; Machado et al., 2010). Para Orellana et al. (2014), o conhecimento da distribuição de diâmetros pode ser utilizado para avaliar a regeneração natural e definir critérios de exploração, tendo como objetivo o manejo sustentável da floresta e de espécies individuais.

Vários autores citam a forma de J-invertido ou exponencial negativa como característica estrutural típica de florestas naturais multiânneas (Meyer, 1952; Lamprecht, 1990; Soares et al., 2007; Campos & Leite, 2013), podendo evidenciar uma regeneração natural em fluxo contínuo (Meyer, 1952; Canalez et al., 2006). No entanto, quando se analisam populações de uma única espécie ou grupos de espécies, podem ser encontradas distribuições unimodais (Scolforo, 2006), evidenciando que a regeneração ocorre em ciclos.

Atualmente, muitos modelos matemáticos são utilizados para descrever a distribuição diamétrica de florestas e povoamentos florestais, sendo as funções densidade de probabilidade (fdp's) as mais conhecidas e difundidas na ciência florestal (Machado et al., 1997). Scolforo (2006) enfatiza que na biometria florestal, uma das maiores aplicações de fdp's é a de descrever a estrutura diamétrica de populações florestais, pois permitem obter a probabilidade de árvores ocorrerem dentro de um intervalo de diâmetro.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivos ajustar e selecionar funções densidade de probabilidade que descrevam a distribuição diamétrica da comunidade florestal e das três principais espécies de um fragmento da Floresta Ombrófila Densa Submontana e verificar qual intervalo de classe fornece as melhores estatísticas de ajuste.

Material e métodos

Localizado na porção Sul do estado do Rio de Janeiro, o Parque Natural Municipal do Curió (PNM Curió) está situado no Município de Paracambi. O PNM Curió possui uma área total de 913 ha, com altitude variando de 53 a 672 m a.n.m. (Cysneiros et al., 2015). Sua cobertura vegetal é representada predominantemente pela Floresta Ombrófila Densa Submontana (IBGE, 2012), com predomínio de formações secundárias, em diferentes estágios de regeneração. O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, está enquadrado como *Aw* (Pell et al., 2007). O parque está inserido na formação geomorfológica Serras e Morros altos na suíte da Serra das Araras, onde predominam solos pouco espessos, como Cambissolos, e mais espessos, como Latossolos e Argissolos (Dantas, 2001).

Os dados para ajuste dos modelos, foram obtidos por meio de levantamento fitossociológico de 70 unidades amostrais de 100 m² cada, onde foram coletados o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e a altura total (HT) de 1387 fustes. Foram escolhidas para a análise as três espécies mais abundantes e frequentes na estrutura da comunidade, sendo elas *Actinostemon verticillatus* (Klotzsch) Baill., *Senefeldera verticilata* (Vell.) Croizat e *Cupania racemosa* (Vell.) Radlk. (Cysneiros et al., 2015), comparando-as com a distribuição da comunidade florestal, caracterizada pelo conjunto de todas as espécies amostradas no levantamento fitossociológico.

Para o ajuste dos modelos foram testadas as funções densidade de probabilidade: Normal, Log Normal, Gama, Beta, Sb de Johnson e Weibull (Tabela 1). A aderência dos modelos ao conjunto de dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Segundo Orellana et al. (2014), esse teste de aderência é bastante empregado na avaliação de fdp's para o estudo de distribuições diamétricas.

De acordo com Machado et al. (2009), o valor D de Kolmogorov-Smirnov (equação 1) representa o ponto de maior divergência entre as distribuições observadas e estimadas. Outros critérios estatísticos, como erro padrão da estimativa (Syx%) e a soma dos quadrados dos resíduos (SQRes), foram utilizados para avaliar o ajuste e precisão dos modelos.

$$D_{calc} = \text{máximo}/F_{obs}(x) - F_{est}(x) \quad (1)$$

Em que: D_{calc} = módulo de desvio máximo observado ao nível de probabilidade $\alpha = 0,05$; $F_{obs}(x)$ = frequência observada acumulada; $F_{est}(x)$ = frequência estimada acumulada.

Foram calculados os coeficientes de assimetria e curtose, que representam, respectivamente, o grau de afastamento da simetria e o grau de achatamento da

distribuição, em relação à distribuição Normal. Segundo Machado et al. (2006), essas medidas são úteis para a descrição da forma e evolução das curvas de distribuição.

Tabela 1. Funções densidade de probabilidade testadas para o ajuste das distribuições diamétricas.

Nome	Função densidade de probabilidade	Condições
Weibull 3P	$F(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]}$	$x \geq 0$ $a, b, c > 0$
Normal	$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$\sigma > 0$ $-\infty < X < +\infty$ $-\infty < \mu < +\infty$
Log- Normal	$F(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma^2}$	$x \geq x_{\min}$ $\sigma > 0$ $-\infty < x < +\infty$ $-\infty < \mu < +\infty$
Gama	$F(x) = \frac{(x-x_{\min})^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{(x-x_{\min})}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$	$x \geq x_{\min}$ $\alpha, \beta > 0$ $-\infty < x_{\min} < +\infty$
Beta	$F(x) = \frac{\tau(\alpha+\beta)}{\tau(\alpha)\tau(\beta)} \cdot \frac{1}{(x_{\max}-x_{\min})^{\alpha+\beta-1}} \cdot (x-x_{\min})^{\alpha-1} \cdot (x_{\max}-x)^{\beta-1}$	$x_{\min} < X < x_{\max}$ $\alpha, \beta > 0$ $-\infty < x_{\min} < x_{\max} < +\infty$
Sb de Johnson	$F(x, \varepsilon, \lambda, \delta, \gamma) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\lambda}{(x-\varepsilon)(\lambda+\varepsilon-x)} \cdot \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda+\varepsilon-x}\right) \right]^2$	$\varepsilon < X < +\lambda$ $-\infty < \gamma < +\infty$ $\sigma > 0$ $\lambda > 0$

Em que: $F(x)$: função densidade de probabilidade da variável x ; x : variável aleatória; μ : média dos valores de x ; σ : desvio padrão de x ; x_{\min} : valor mínimo de x ; x_{\max} : valor máximo de x ; π : 3,14159...; e : constante de Euler (2,71828...); $a, b, c, d, \alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \lambda, \delta$: parâmetros a serem estimados.

Santos et al. (2013) descrevem as tendências das distribuições de frequência em: positiva ou assimétrica a direita, negativa ou assimétrica a esquerda e nula ou simétrica, de acordo com medidas de tendência central como média aritmética (\bar{X}) e moda (M_0), podendo ser classificada da seguinte maneira: $X - M_0 = 0$ (simétrica ou nula); $X - M_0 < 0$ (assimétrica à esquerda ou negativa); $X - M_0 > 0$ (assimétrica à direita ou positiva).

Avaliou-se ainda o desempenho de cada função para o intervalo empírico de 5 cm, amplamente utilizado e recomendado para estudo de florestas tropicais e

o intervalo definido por meio da fórmula de Sturges (equação 2), com objetivo de verificar qual intervalo de classes propiciou as melhores estatísticas de ajuste.

$$K = 1 + 3,322 \cdot \text{Ln}(n) \quad (2)$$

Em que: K = número de classes; n = número de indivíduos amostrados.

O ajuste das funções foi realizado pelo método dos momentos, devido à aplicabilidade e eficiência. Em seguida, foi aplicada programação não linear (PNL) em todas as funções ajustadas, com intuito de minimizar o valor D máximo do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Todos os cálculos foram realizados com o auxílio de planilha eletrônica e por meio da ferramenta Solver (MSExcels[®]), que utiliza o algoritmo linear de gradiente reduzido para otimização dos parâmetros das funções (Orellana et al., 2014).

Resultados e discussão

Assimetria e curtose

Os coeficientes de assimetria e curtose obtidos para a distribuição diamétrica de algumas espécies e da comunidade florestal (Tabela 2), evidenciaram que todas apresentaram distribuição assimétrica positiva e configuração leptocúrtica, com dados concentrados próximos a moda. A assimetria positiva encontrada no presente estudo, também denominada de “J-invertido”, é um padrão característico de espécies e florestas tropicais inequidâneas, onde há uma maior concentração de indivíduos nas menores classes, com redução progressiva da frequência conforme o aumento de classe (Assmann, 1970; Harper, 1990; Lamprecht, 1990), demonstrando boa regeneração e estoque de populações jovens (Meyer, 1952; Dalla Lana et al., 2013). Este padrão é citado de forma frequente em estudos sobre florestas e espécies tropicais (Carvalho & Nascimento, 2009; Dalla Lana et al., 2013; Santos et al., 2013; Orellana et al., 2014; Téó et al., 2015).

Machado et al. (2010), em estudo de modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies da família Lauraceae em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista, citam a ocorrência de distribuição assimétrica positiva para *Ocotea nutans*, *O. bicolor* e *Nectandra lanceolata*. Para *O. puberula* os autores encontraram assimetria negativa, mencionando que a regeneração dessa espécie está sendo afetada por algum fator. Alguns autores relacionam a ocorrência de distribuições diferentes do J-invertido a problemas na regeneração ou a ocorrência de ações antrópicas sobre as comunidades. No entanto, segundo Scolforo (2006) e Machado et al. (2010) a distribuição unimodal é esperada quando se avalia a população de uma espécie individualmente, podendo evidenciar a ocorrência de ciclos de regeneração.

Tabela 2. Estatísticas descritivas do diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) das principais espécies e da comunidade florestal em um trecho da Floresta Ombrófila Densa Submontana.

Estatística	Floresta	Espécies		
		<i>Actinostemon verticilatus</i>	<i>Senefeldera verticilata</i>	<i>Cupania racemosa</i>
N	1981	163	163	87
Média	13,25	7,98	10,21	11,24
Mediana	9,55	7,24	8,59	8,91
Moda	5,73	6,05	6,37	5,09
DAP _{min}	5,03	5,03	5,09	5,09
DAP _{max}	112,68	16,87	25,15	39,79
Amplitude	107,65	11,84	20,05	34,70
σ^2	111,70	6,35	22,44	50,54
σ	10,57	2,52	4,74	7,11
CV	79,78	31,60	46,40	63,23
Assimetria	0,7113	0,7650	0,8114	0,8650
Curtose	0,3125	0,3846	0,3846	0,3846
IC Sturges	9,5	1,5	2,6	5,0

N: número de indivíduos (ind.ha⁻¹); σ : desvio padrão (cm); σ^2 : variância (cm)²; CV: coeficiente de variação (%); IC: intervalo entre classes (cm); DAP: diâmetro a 1,3 m do solo (cm).

Ajuste e seleção dos modelos

Nas tabelas 3 a 6 estão apresentados os coeficientes estimados, as estatísticas de ajuste e o ranqueamento de desempenho de todas as funções de densidade testadas, respectivamente para a comunidade florestal e para as espécies *Actinostemon verticilatus*, *Senefeldera verticilata* e *Cupania racemosa*, nos intervalos de classe de 5 cm e no obtido pela fórmula de Sturges.

A função Sb de Johnson apresentou o melhor ajuste para a comunidade florestal (Tabela 3), gerando estimativas muito próximas do valor real, seguida da função Weibull 3P e Ln-Normal. Téó et al. (2015) encontraram a mesma função como a mais eficiente para descrição da distribuição diamétrica considerando todas as espécies de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. Os mesmos autores citam ainda as mesmas funções dentre as quatro melhores para descrever a distribuição diamétrica de uma comunidade florestal. A função Weibull é amplamente empregada na área florestal, sendo apontada como uma das mais flexíveis e versáteis para a descrição de distribuições de diâmetro (Wendling et al., 2011; Orellana et al., 2014), sendo foco de importantes estudos florestais (Batista, 1989; Nascimento et al., 2012).

A abordagem individual da população de *A. verticilatus* evidenciou as melhores estatísticas de ajuste fornecidas pela função Gama (Tabela 4), estimando uma distribuição quase idêntica ao real em termos de frequência. Ao analisarem a modelagem da distribuição diamétrica de 7 espécies, Téó et al. (2015) concluíram que a função Gama adaptada foi a mais eficiente para a descrição diamétrica de *O. porosa* e *Araucaria angustifolia*. Esta função em sua forma original apresenta os coeficientes do denominador vinculados ao numerador, tornando-a inflexível, mas a substituição do denominador a torna flexível a diferentes distribuições (Machado et al., 2010). Utilizando a função em sua forma original, Machado et al. (2009) citam como uma das piores funções para a estimativa da frequência por classe diamétrica de *A. angustifolia*. Santos et al. (2013) não recomendam o uso da função Gama em sua forma original para a descrição da estrutura diamétrica de *Virola surinamensis*, devido a inconsistências na estimativa. Um fato inesperado

no ajuste da distribuição diamétrica de *A. verticilatus*, foram os piores desempenhos das funções clássicas Sb de Johnson e Weibull (Tabela 4), citadas como as melhores para descrição da distribuição diamétrica de diversas espécies (Dalla Lana et al., 2013; Téó et al., 2015).

Quanto ao ajuste da distribuição dos diâmetros da população de *Senefeldera verticilata*, o melhor desempenho foi observado com as funções clássicas Sb de Johnson, Beta e Weibull, respectivamente (Tabela 4). A acurácia dessas funções é amplamente citada na literatura florestal (Wendling et al., 2011; Dalla Lana et al., 2013; Orellana et al., 2014; Téó et al., 2015), devido à flexibilidade de descrever curvas de distribuição de diferentes formas e conformações (Batista, 1989). A função Beta é citada dentre as mais eficazes em estudos do mesmo cunho. Orellana et al. (2014) avaliaram o desempenho de funções densidade de probabilidade para o estudo de 20 espécies, e concluíram que a função de Beta foi melhor em 50% dos ajustes.

Tabela 3. Parâmetros e estatísticas de ajuste estimados das funções de distribuição diamétricas para a comunidade florestal com uso de programação não linear.

Função	Ranq.	Classe 5 cm				Classe Sturges (9,5 cm)					
		Parâmetros	Syx(%)	Dcal	Função	Ranq.	Parâmetros	Syx(%)	Dcal		
Normal	6	μ	7,91	40,99	0,0374**	Normal	6	μ	3,43	12,51	0,0151**
		σ^2	170,20					σ^2	319,08		
		σ	13,05					σ	17,86		
Ln-Normal	3	μ	2,23	11,40	0,0112*	Ln-Normal	3	μ	2,19	2,52	0,00356*
		σ^2	0,59					σ^2	0,65		
		σ	0,77					σ	0,81		
Gama	4	α	0,63	13,32	0,0126*	Gama	5	α	0,57	7,38	0,0135*
		β	12,50					β	13,54		
Beta	5	α	0,56	17,33	0,0161*	Beta	4	α	0,45	4,22	0,0052*
		β	7,26					β	6,06		
Sb-de-Johnson	1	ε	4,91	5,04	0,0035*	Sb-de-Johnson	1	ε	5,00	2,04	0,0021*
		λ	120					λ	112,68		
		μ	0,0960					μ	0,0960		
		S(dx)	0,0944					S(dx)	0,0960		
		δ	0,79					δ	0,7849		
		γ	2,54					γ	2,47569		
Weibull	2	a	6,23	5,15	0,0044*	Weibull	2	a	5,64	2,42	0,0029*
		b	5,62					b	6,18		
		c	0,69					c	0,72		

Syx%: erro padrão da estimativa em porcentagem; Dcal = valor calculado do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S); Ranq. = ranqueamento; *houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S; ** não houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S.

Tabela 4. Parâmetros e estatísticas de ajuste estimados das funções de distribuição diamétricas para *Actinostemon verticilatus* e *Senefeldera verticilata* com uso de programação não linear.

<i>Actinostemon verticilatus</i>											
Classe 5 cm					Classe Sturges (1,5 cm)						
Função	Ranq.	Parâmetros		Syx(%)	Dcal	Função	Ranq.	Parâmetros		Syx(%)	Dcal
Normal	2	μ	6,54	1,13	0,0306*	Normal	6	μ	7,52	32,54	0,0343**
		σ^2	16,42					σ^2	7,64		
		σ	4,05					σ	2,76		
Ln-Normal	3	μ	2,02	1,21	0,0015*	Ln-Normal	5	μ	2,01	17,89	0,0178*
		σ^2	0,11					σ^2	0,11		
		σ	0,33					σ	0,32		
Gama	1	α	6,74	1,15	0,0010*	Gama	1	α	1,54	14,12	0,0121*
		β	1,13					β	2,07		
Beta	4	α	0,48	4,55	0,00001*	Beta	3	α	1,30	14,34	0,0137*
		β	1,67					β	24,47		
Sb-de-Johnson	5	ε	2,489	5,73	0,0123*	Sb-de-Johnson	4	ε	4,48	14,37	0,0130*
		λ	16,995					λ	21,56		
		μ	0,322					μ	0,322		
		S(dx)	0,148					S(dx)	0,148		
		δ	1,338					δ	1,129		
		γ	1,167					γ	2,109		
		a	3,04					a	5,12		
Weibull	6	b	6,38	8,26	0,0184*	Weibull	2	b	3,09	14,35	0,0128*
		c	5,57					c	1,16		
<i>Senefeldera verticilata</i>											
Classe 5 cm					Classe Sturges (2,6 cm)						
Função	Ranq.	Parâmetros		Syx(%)	Dcal	Função	Ranq.	Parâmetros		Syx(%)	Dcal
Normal	6	μ	7,83	12,31	0,0150*	Normal	6	μ	8,91	36,97	0,0458*
		σ^2	52,41					σ^2	35,42		
		σ	7,24					σ	5,95		
Ln-Normal	4	μ	2,15	7,34	0,0126*	Ln-Normal	5	μ	2,18	20,28	0,0217*
		σ^2	0,28					σ^2	0,26		
		σ	0,53					σ	0,51		
Gama	5	α	1,18	8,96	0,0156*	Gama	4	α	1,30	20,11	0,0345*
		β	4,30					β	4,32		
Beta	2	α	0,77	6,79	0,0078*	Beta	2	α	0,68	18,21	0,0198*
		β	5,34					β	2,06		
Sb-de-Johnson	1	ε	5,09	6,62	0,0090*	Sb-de-Johnson	1	ε	4,82	15,46	0,0164*
		λ	25,15					λ	25,15		
		μ	0,3059					μ	0,3059		
		S(dx)	0,1880					S(dx)	0,1880		
		δ	0,7404					δ	0,7709		
		γ	1,3411					γ	1,3032		
		a	2,40					a	4,17		
Weibull	3	b	7,88	7,42	0,0090*	Weibull	3	b	6,33	19,35	0,0208*
		c	1,34					c	1,19		

Syx%: erro padrão da estimativa em porcentagem; Dcal: valor calculado do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S); Ranq. = ranqueamento; *houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S; ** não houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S.

Para o conjunto de dados da população de *Cupania racemosa* (Tabela 5), as funções Sb de Johnson e Weibull também foram as que apresentaram melhores ajustes, sendo as mais indicadas para a estimativa da frequência por classe diamétrica. Nesta espécie, o intervalo entre classes gerado pela fórmula de Sturges foi igual a 5 cm, logo, não foi realizada a comparação da eficiência de ajuste entre os intervalos.

A análise gráfica do histograma de valores observados sobre os valores estimados pelo modelo de melhor ajuste (Figuras 1 e 2), evidencia os padrões citados

anteriormente para a comunidade e para as espécies analisadas, com maior concentração de indivíduos nas menores classes diamétricas e diminuição gradual conforme o aumento da classe, configurando boa regeneração natural das espécies. É possível observar certa irregularidade e interrupções entre classes nas distribuições de *A. verticilatus* e *C. racemosa*, sugerindo a ocorrência de problemas na regeneração natural das populações. Porém, esses problemas podem estar associados a características autoecológicas das espécies e não à exploração pretérita, pois as mesmas possuem madeiras de baixa qualidade e sem valor comercial.

Tabela 5. Parâmetros e estatísticas de ajuste estimados das funções de distribuição diamétricas para *Cupania racemosa* com uso de programação não linear.

<i>Cupania racemosa</i>					
Classe 5 cm / Sturges (5 cm)					
Função	Ranq.	Parâmetros	Syx(%)	Dcal	
Normal	6	μ	9,09	33,57	0,0484*
		σ^2	43,36		
		σ	6,59		
Ln-Normal	3	μ	2,23	26,87	0,0357*
		σ^2	0,28		
		σ	0,53		
Gama	5	α	1,13	26,96	0,0375*
		β	5,27		
Beta	4	α	1,11	26,97	0,0373*
		β	10233,86		
		ϵ	5,0		
Sb-de-Johnson	1	λ	12423,8	20,53	0,0271*
		μ	0,2186		
		S(dx)	0,1777		
		δ	1,1703		
Weibull	2	γ	9,2752	20,82	0,0269*
		a	7,50		
		b	3,41		
		c	0,71		

Syx%: erro padrão da estimativa em porcentagem; Dcal: valor calculado do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S); Ranq. = ranqueamento; *houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S; ** não houve aderência em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste de K-S.

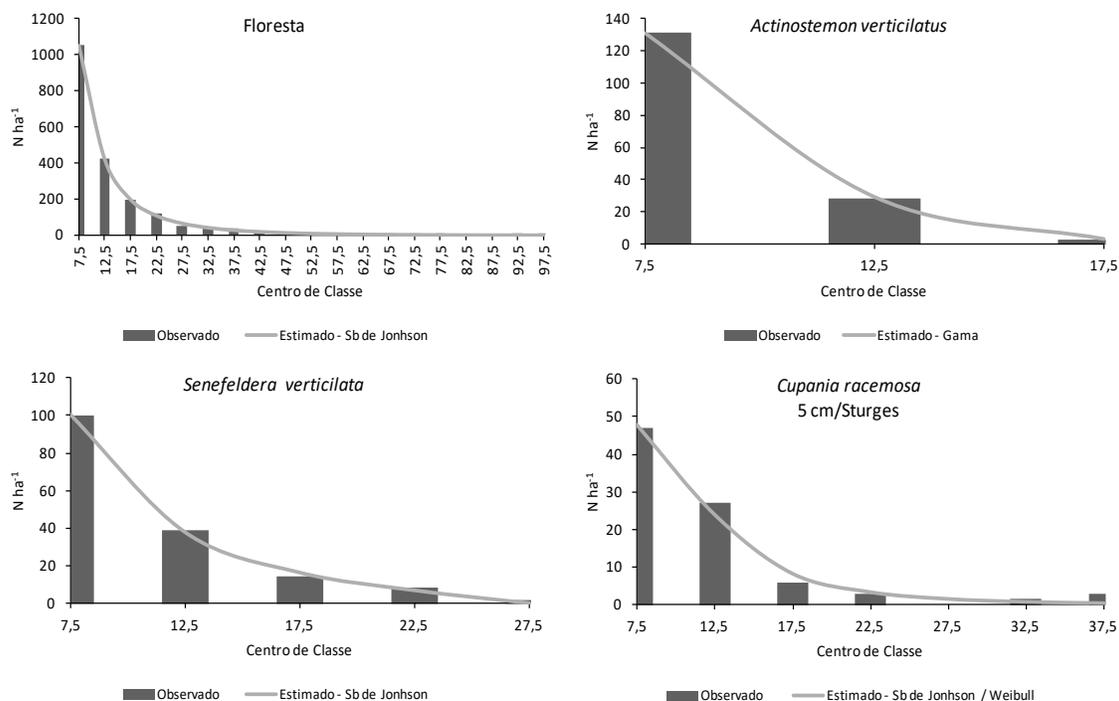


Figura 1. Curva de distribuição diamétrica estimada sobre o histograma de frequência observada para a função de melhor desempenho, utilizando intervalo de 5 cm entre classes.

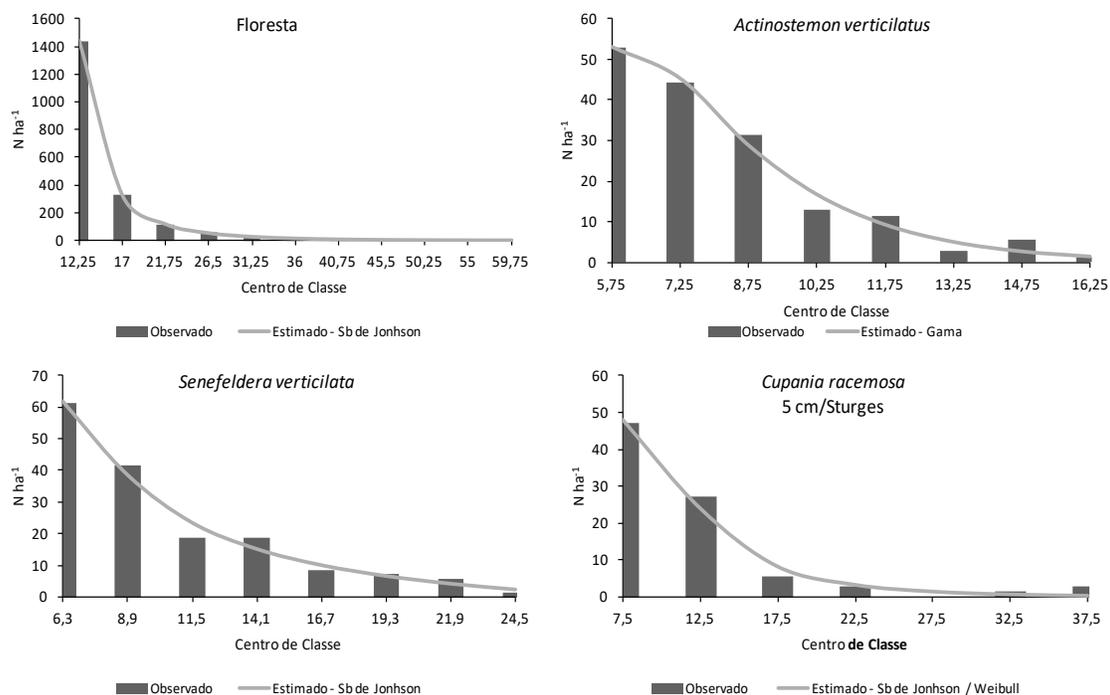


Figura 2. Curva de distribuição diamétrica estimada sobre o histograma de frequência observada para a função de melhor desempenho, utilizando intervalo de classes obtido pela fórmula de Sturges.

Fatores que parecem influenciar diretamente a distribuição diamétrica de espécies tropicais são o porte e o grupo ecológico da espécie, associados ao estágio sucessional predominante no mosaico florestal em que estão inseridas. Espécies de pequeno ou médio porte, características do sub-bosque, como é o caso de *A. verticilatus* e *S. verticilata*, tendem a não apresentar indivíduos nas classes superiores a 25 cm. Orellana et al. (2014) observaram menores densidades nas maiores classes diamétricas e relacionam à dinâmica natural da floresta, onde poucos indivíduos atingem grandes dimensões, devido à intensa competição por recursos com outras espécies. Quanto à ecologia das espécies, alguns padrões são conhecidos. De acordo com Lamprecht (1990), espécies tropicais pioneiras de ciclo longo, em florestas em estágio avançado de sucessão, habitualmente não apresentam indivíduos regenerantes nas menores classes de diâmetro, indicando uma possível substituição conforme a evolução da floresta. Carvalho (1981) cita a ausência de indivíduos nas primeiras classes diamétricas de *Goupia glabra*, uma espécie heliófita de grande porte da Amazônia, devido a menor incidência luminosa no interior da floresta, o que dificulta seu recrutamento.

Os grupos ecológicos de espécies em florestas tropicais se dividem de acordo com características inerentes ao ciclo de vida, reprodução, propagação, ritmo de crescimento, capacidade fotossintética, regeneração, dentre outros (Whitmore, 1990), explicitando sua influência sobre a estrutura diamétrica das espécies tropicais e subtropicais. Rollet (1978) enfatiza que a distribuição diamétrica de uma espécie pode gerar informações preliminares sobre sua tolerância luminosa, permitindo inferir sobre seu caráter ecológico.

A aplicação da programação não linear (PNL) melhorou os ajustes em todas os casos testados neste estudo, ao contrário do constatado por Orellana et al. (2014). Estes autores encontraram maior aderência aos dados com uso de PNL em apenas oito espécies avaliadas, mas afirmaram que essa ferramenta é versátil a diferentes distribuições e pode promover a melhoria de funções probabilísticas que se ajustem a distribuições diamétricas de espécies florestais nativas. O uso da PNL no ajuste de fdp's pode gerar valores não usuais dos parâmetros das funções, tendo em vista que esses valores são fornecidos pelo algoritmo matemático utilizado nessa programação

por resultar em menor soma dos quadrados dos resíduos (Téo et al., 2015).

Intervalos entre classe

Foi possível observar que os maiores intervalos entre classes testados forneceram os melhores resultados, sendo o intervalo de 9,5 cm gerado pela fórmula de Sturges o melhor para a floresta e os intervalos empíricos de 5 cm os melhores para as espécies individualmente. Testando intervalos entre classe no ajuste da distribuição diamétrica de *A. angustifolia*, Machado et al. (2009) constataram que para essa espécie os melhores ajustes também foram fornecidos pelos maiores intervalos; os autores ainda ressaltaram que a precisão dos modelos decresce conforme diminui o intervalo entre classes. No entanto, esses autores mencionam que, mesmo não apresentando os melhores ajustes, os menores intervalos representam melhor a realidade.

Conclusões

A distribuição diamétrica da comunidade florestal do fragmento de Floresta Ombrófila Densa estudado apresenta-se em forma exponencial negativa, indicando que a regeneração natural ocorre em fluxo contínuo.

De maneira geral, as funções Sb de Johnson e Weibull apresentaram os melhores desempenhos na descrição da estrutura diamétrica da comunidade e das espécies individualmente. A função Sb de Johnson apresentou as melhores estatísticas de ajuste e maior aderência ao conjunto de dados da comunidade florestal, de *Senefeldera verticilata* e *Cupania racemosa*. Para *Actinostemon verticilatus* a função de melhor ajuste e desempenho foi a Gama, gerando os menores erros de estimativa. Por outro lado, a função Normal propiciou os piores desempenhos dentre as funções de distribuição de diâmetro testadas.

Mesmo representando melhor a realidade da distribuição, os menores intervalos de classe não forneceram os melhores ajustes, sendo que as distribuições com os menores números de classes e, conseqüentemente, maiores intervalos, foram as mais precisas.

Referências

Assmann, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

- Barros, P. L. C. et al. Comparação de modelos descritivos da distribuição diamétrica em uma Floresta Tropical. **Floresta**, v. 10, n. 2, p. 19-32, 1979.
- Batista, J. L. F. **A função Weibull como modelo para a distribuição de diâmetros de espécies arbóreas tropicais**. 1989. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Campos, J. C. C. & Leite, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa, MG, Ed. da UFV, 2013. 470 p.
- Canalez, G. G. et al. Dinâmica da estrutura da comunidade de Lauráceas no período 1995-2004 em uma floresta de araucária no sul do estado do Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 357-367, 2006.
- Carvalho, F. A. & Nascimento, M. T. Estrutura diamétrica da comunidade e das principais populações arbóreas de um remanescente de Floresta Atlântica Submontana (Silva Jardim-RJ, Brasil). **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 327-337, 2009. DOI: 10.1590/S0100-67622009000200014.
- Carvalho, J. O. P. **Distribuição diamétrica de espécies comerciais e potenciais em floresta tropical úmida natural na Amazônia**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1981. 34 p.
- Cysneiros, V. C. et al. Diversity, community structure and conservation status of an Atlantic Forest fragment in Rio de Janeiro State, Brazil. **Biota Neotrópica**, v. 15, n. 2, p. 1– 15, 2015. DOI: 10.1590/1676-060320150132.
- Dalla Lana, M. et al. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa - Igarassu, PE. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 59-68, 2013. DOI: 10.5380/rf.v43i1.25252.
- Dantas, M. E. **Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: CPRM, 2001. 63 p.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.
- Harper, J. L. **Population biology plants**. London: Academic, 1990. 892 p.
- Lamprecht, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.
- Machado, S. A. et al. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000500009.
- Machado, S. A. et al. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009. DOI: 10.5380/rsa.v10i2.13575.
- Machado, S. A. et al. Estudo da estrutura diamétrica para *Araucaria angustifolia* em florestas naturais nos estados da região sul do Brasil. **Floresta**, v. 26, n. 1, p. 59-70, 1997.
- Machado, S. A. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies de Lauraceae em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 1, 2010.
- Meyer, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, n. 52, v. 2, p. 85-92, 1952.
- Meyer, W. H. Approach of abnormally stocked forest stands of Douglas fir to normal condition. **Journal of Forestry**, v. 31, p. 400-406, 1933.
- Nascimento, R. G. et al. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 209-219, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.70.93.
- Orellana, E. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000200010.
- Peel, M. C. et al. Updated world map of the Köppen- Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007.
- Puig, H. **Floresta tropical úmida**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008. 496 p.
- Rangel, M. S. et al. Melhoria na prescrição do manejo para floresta natural. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 145-156, 2006.
- Rollet, B. **Arquitetura e crescimento das florestas tropicais**. Belém, PA: SUDAM, 1978. 22 p.
- Santos, E. S. et al. Distribuição diamétrica para *Virola surinamensis* (Rol.) na Floresta Estadual do Amapá – FLOTA/AP. **Biologia e Ciências da Terra**, v. 13, n. 1, p. 34-47, 2013.
- Scolforo, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.
- Soares, C. P. B. et al. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. 276 p.
- Téo, S. J. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de um fragmento de floresta ombrófila mista em Leblon Régis, SC. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 337-348, 2015. DOI: 10.5380/rf.v45i2.34733.
- Wendling, W. T. et al. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 205-220, 2011. DOI: 10.5380/rf.v41i2.21869.
- Whitmore, T. C. Tropical Rain Forest dynamics and its implications for management. In: Gomes-Pompa, A. et al. **Rain forest regeneration and management**. Paris: UNESCO & The Part Eeonon Publishing Group, 1990. p. 67-89.