



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

STEPHANY DA SILVA GUILHERME

**ADERÊNCIA DE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE EM DIFERENTES
AMPLITUDES DE CLASSES DIAMÉTRICAS**

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
MAIO – 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

STEPHANY DA SILVA GUILHERME

**ADERÊNCIA DE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE EM DIFERENTES
AMPLITUDES DE CLASSES DIAMÉTRICAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
MAIO – 2018

**ADERÊNCIA DE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE EM DIFERENTES
AMPLITUDES DE CLASSES DIAMÉTRICAS**

STEPHANY DA SILVA GUILHERME

Monografia aprovada em 29 de maio de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Emanuel José Gomes de Araújo – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Marco Antonio Monte – UFRRJ
Membro

Eng. Florestal Pedro Vaz da Rocha – UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao Universo o início, o meio, o fim e o futuro dessa jornada.

À minha família por todo apoio e amor durante esses 24 anos. Especialmente à minha avó Thereza, senão fosse por sua esforçada ajuda, eu não estaria encerrando esse ciclo hoje.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela maravilhosa experiência, aprendizagem e amizades adquiridas durante esses 5 anos.

Ao professor Emanuel J. G. de Araújo, pela orientação, confiança, paciência e ensinamentos.

Aos membros da banca, Professor Marco Monte e Pedro Vaz, pela atenção e contribuição nesse trabalho.

Aos membros do LAMFLOR, que se tornaram grandes amigos e pelas ajudas.

À minha turma 2012-2, em especial ao Júnior, Tatico, Bia Griffó, Bia Rodrigues, Carol 77, Fagner, Carol Almeida, Iohann e Pedro, por me aturarem nesses 5 anos; pela amizade, ajudas, companhias de festas, trabalhos e nossos momentos nos arcos após o bandeijão.

À Tatiane, Natália, Tatico, por todos os momentos que passamos juntas e por todas as vezes que me salvou, obrigada por tudo!!

Às minhas amigas que a Eng. Florestal me presenteou, Bruna, Fernanda, Priscila, Aline.

Às amigas do F1-13, Thaís, Milena, Nadinni, Edinéia, Suelen e Raquel pelos momentos de distrações e risadas.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo comparar o efeito da amplitude de classe diamétrica no ajuste de funções de densidade de probabilidade em fragmento de floresta inequiânea, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, município de Seropédica, Rio de Janeiro. Foi realizado o censo dos indivíduos arbóreos com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) igual ou superior a 5,0 cm. As amplitudes de classe 1 a 10 cm foram determinadas arbitrariamente e a 15 cm obtido pelo método de Sturges. Foram ajustadas as funções Beta, Gamma, Log-normal, Sb Johnson e Weibull 3P, para cada amplitude de classe. Para seleção do melhor modelo utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Verificou-se que a amplitude de classe de diâmetro influencia no ajuste da função de densidade de probabilidade em florestas inequiâneas. A função Weibull 3P apresentou ótimos resultados, destacando-se como a melhor função. As funções Sb Johnson e Log-Normal melhoram seus resultados à medida a amplitude de classe aumenta, enquanto que a Beta tende a piorar a qualidade do ajuste, já a função Gamma não é aderente nenhuma das amplitudes de classes.

Palavras-chave: estrutura diamétrica, modelagem, sturges, floresta inequiânea

ABSTRACT

The objective of this work was to compare the effect of diametric class amplitude on the adjustment of probability density functions in unequal forest fragment, at the Forestry Institute of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, municipality of Seropédica, Rio de Janeiro. A census of tree individuals with a diameter of 1.30 m (DAP) equal to or greater than 5.0 cm was carried out. Class 1 to 10 cm amplitudes were determined arbitrarily and at 15 cm obtained by the Sturges method. Beta, Gamma, Log-normal, Sb Johnson and Weibull 3P functions were adjusted for each class amplitude. The Kolmogorov-Smirnov test (K-S) was used to select the best model. It was verified that the diameter class amplitude influences the adjustment of the probability density function in unequal forests. The Weibull 3P function presented excellent results, standing out as the best function. The functions Sb Johnson and Log-Normal improve their results as the class amplitude increases, whereas Beta tends to worsen the quality of the fit, since the Gamma function does not adhere to any of the class amplitudes.

Keywords: diametric structure, modeling, sturges, unequal forest

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Distribuição Diamétrica em Florestas Inequiâneas	2
2.2. Funções Densidade Probabilidade.....	2
2.2.1. Beta	3
2.2.2. Gamma	3
2.2.3. Log-Normal.....	3
2.2.4. Sb Johnson	4
2.2.5. Weibull 3 Parâmetros.....	4
2.3. Efeito da amplitude de classe no ajuste de funções densidade de probabilidade.....	4
2.4. Teste de Kolmogorov-Smirnov	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Área de estudo e coleta de dados.....	6
3.2. Classes de diâmetro	6
3.3. Funções densidade de probabilidade	7
a) Beta	7
b) Gamma.....	7
c) Log-Normal	8
d) Sb Johnson	8
e) Weibull 3 Parâmetros.....	8
3.4. Teste Kolmogorov-Smirnov	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
5. CONCLUSÃO	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise descritiva dos dados de diâmetros.	10
Tabela 2. Parâmetros das funções densidade de probabilidade para cada amplitude de classe.	10
Tabela 3. Teste de aderência (K-S) das funções densidade de probabilidade, ajustadas para cada amplitude de classe.	11

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição de frequência por classe de diâmetro em povoamentos inequiâneos. ...	2
Figura 2. Localização da área de estudo no Instituto de Florestas, Seropédica, RJ.	6
Figura 3. Número de árvores observadas e estimadas pelas funções densidade de probabilidade para cada amplitude de classe.....	12

1. INTRODUÇÃO

A distribuição diamétrica é importante para o conhecimento da estrutura da floresta, auxiliando no planejamento e realização de estratégias de conservação e manejo, porém está pode ser alterada de um povoamento para o outro em função de vários fatores, tais como o sítio, idade, densidade, espécie e amplitude de classe. Deste modo, qualquer influência destes fatores no diâmetro de um povoamento altera sua distribuição diamétrica (BARTOSZECK, 2000).

A forma da distribuição diamétrica é diretamente interferida pelo intervalo de classe utilizado para agrupar os dados, contudo não se possui um padrão de amplitude de classe adequada a ser utilizado. Apesar de representar melhor a floresta, menores amplitudes podem apresentar classes com poucas observações ou mesmo nenhuma, desse modo influenciando no ajuste de funções densidade de probabilidade (ORELLANA, 2014).

A amplitude de classe pode ser definida de forma estatística, como também pelo critério de exploração comercial, logo a definição da amplitude ideal é fundamental para o conhecimento da estrutura da floresta e para a modelagem do crescimento da floresta, afim de obter boa estimativa dos parâmetros e conseqüentemente estimativa da distribuição diamétrica mais precisa.

Uma maneira de representar esta distribuição é através das funções densidade de probabilidade, estas permitem conhecer a probabilidade de as árvores ocorrerem dentro de intervalos ou classes de diâmetro. Apresentando de forma mais clara, o comportamento estrutural da floresta e auxiliar na prognose de plantios florestais, dentre elas a função Beta, Gamma, Normal, Log-Normal, Sb Johnson, Weibull 2 e 3 parâmetros são amplamente utilizadas na Ciência Florestal.

Variações na amplitude de classes diamétricas influencia na estimativa dos parâmetros e conseqüentemente na aderência de funções densidade de probabilidade. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi comparar o efeito da amplitude de classe no ajuste de funções densidade de probabilidade em fragmento de floresta inequiânea.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Distribuição Diamétrica em Florestas Inequiâneas

A distribuição diamétrica é um histograma de frequência do diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos arbóreos podendo assumir grande variedade de formas, como exponencial negativa, unimodal, bimodal ou irregular, dependendo da estrutura da floresta (ROBINSON, 2004).

Em florestas inequiâneas a distribuição diamétrica segue uma tendência decrescente com o aumento dos diâmetros (Figura 1), onde observa-se maior quantidade de árvores nas primeiras classes de diâmetro. Ocorre também regeneração contínua das árvores, o que acarreta à ocorrência de árvores de diferentes idades e tamanhos. (CAMPOS & LEITE, 2009).

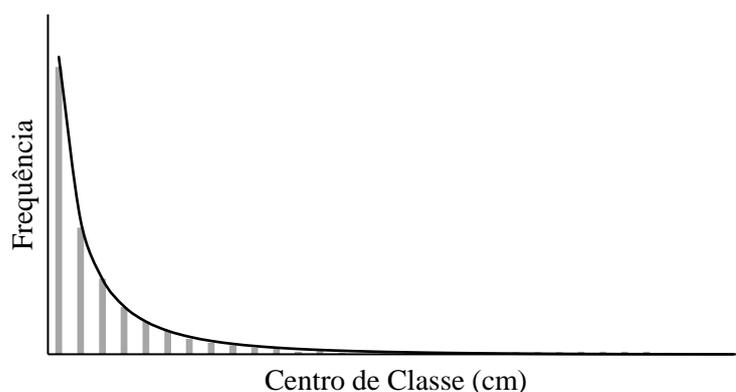


Figura 1. Distribuição de frequência por classe de diâmetro em povoamentos inequiâneos.

A determinação da distribuição diamétrica em florestas naturais, permite identificar a amplitude dos diâmetros, diferenciar os tipos de florestas, identificar a intensidade de regeneração natural a nível de espécies e da floresta como um todo, fornecer subsídios para tomada de decisões e de planejamento, além de ser considerada uma considerável medida de estoque e crescimento (SCOLFORO, 2006).

2.2. Funções Densidade Probabilidade

A descrição da distribuição diamétrica de uma floresta é definida através de funções densidade de probabilidade (fdp's), as quais possibilitam obter a probabilidade das árvores ocorrem dentro de intervalos ou classes de diâmetros. As funções Beta, Gamma, Log-normal, Normal, Sb de Johnson, Weibull 2P e 3P são as que se destacam na Ciência Florestal (SCOLFORO, 2006).

Uma função densidade de probabilidade $f(x)$ é efetivamente uma fdp se x satisfaz as condições referidas por Silva (2003):

- $f(x) \geq 0$ para todos os valores de x ; Não existe probabilidade negativa;
- $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$; A área sob o gráfico da função é igual a 1;
- $\int_b^a f(x) dx = P(a < X \leq b)$ $b > a$; A probabilidade em um determinado intervalo corresponde à área delimitada pela função.

2.2.1. Beta

A função Beta possui vasta aplicação no estudo de fenômenos biológicos em que a variável x é aleatória e contínua, devido sua grande flexibilidade de adaptação, atendendo a quase todos os casos de distribuições diamétricas em várias tipologias florestais (SILVA, 2003).

Afim de avaliar o ajuste da função Beta em fragmento de Floresta Ombrófila Mista, Gomes et al. (2017), concluíram que a função apresentou ajuste aceitável na estimativa do número de indivíduos em cada classe de diâmetro, porém o teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que as distribuições observadas e estimadas não apresentaram aderência a um nível de 1 % de probabilidade de erro.

2.2.2. Gamma

A Gamma em sua forma original é considerada mais rígida, devido o denominador estar relacionado ao numerador. Com finalidade de tornar a função mais flexível, Machado et al. (2009b) substituíram o denominador por outro coeficiente, que não tivesse relação com o numerador, objetivando melhores ajustes da função e aplicabilidade mais simples. Comprovando melhor desempenho da função adaptada, comparado ao modelo original, em seu estudo de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Paraná.

2.2.3. Log-Normal

Esta função é uma alternativa à distribuição normal, visto que o logaritmo dos diâmetros segue uma distribuição normal, ainda mais que somente os diâmetros (SCOLFORO, 2006).

Não apresenta vantagem quando comparada a outras funções, na área florestal, devido a sensibilidade ao tamanho da amostra. Sua curva varia conforme o tamanho amostral, ocorrendo o ajustamento na sua curva, quando há um tamanho amostral insuficiente e à medida que a amostra aumenta de tamanho, a curva se desloca para a esquerda, resultando na forma característica da função Log-normal (NETTO et al. 2008).

2.2.4. Sb Johnson

A função Sb é uma distribuição flexível desenvolvida por JOHNSON (1949), a qual é associada à função Normal através de transformações logarítmicas, porém descreve os diferentes graus de assimetria de acordo com seus parâmetros (BARTOSZECK, 2000).

Foi primeiramente utilizada no setor florestal por Hafley & Schreuder (1977). Eles estudaram a flexibilidade das distribuições Beta, SB de Johnson, Weibull, Lognormal, Normal, e Gama, observando sua assimetria e curtose e concluíram que a Sb Johnson e Beta foram as mais flexíveis.

Afim de comparar com a forma original da Sb de Johnson, Barra et al. (2011), testaram uma função otimizada e observaram que houve semelhança na qualidade de ajuste entre a aplicação da função otimizada com o método da moda, que segundo os mesmos autores foi o que apresentou pequena superioridade em relação aos outros métodos. Concluindo que a metodologia proposta possibilita o ajuste ótimo dos parâmetros da distribuição Sb de Johnson.

2.2.5. Weibull 3 Parâmetros

A função Weibull se apresenta de duas formas, Weibull de 2 parâmetros, quando o parâmetro "a" que controla a posição da curva sobre o eixo das abscissas assume o valor zero e a função Weibull de 3 parâmetros que apresenta um parâmetro a mais no modelo em relação à Weibull 2P, o parâmetro "a", que corresponde a um valor menor que o diâmetro mínimo encontrado para o conjunto de dados (BARTOSZECK, 2000).

É uma das mais utilizada, devido sua flexibilidade, permitindo diferentes tendências de distribuição, desde uma exponencial até uma distribuição normal, além da facilidade de ajuste e correlação entre seus parâmetros e os atributos do povoamento (CAMPOS & LEITE, 2009).

Esta função é uma das que apresentam melhores ajustes para florestas inequidêneas, como evidenciado no trabalho de Santos et al. (2016) que analisaram a distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá e concluíram que esta função foi superior as outras funções testadas, tanto para a floresta quanto para as espécies individualmente analisadas.

2.3. Efeito da amplitude de classe no ajuste de funções densidade de probabilidade

A amplitude de classe é um dos primeiros fatores a definir quando se estuda a distribuição diamétrica em florestas. A escolha da melhor amplitude de classes deve ser criteriosa afim de representar a distribuição diamétrica (ORELLANA, 2009).

Analisando a estrutura diamétrica de 3 grupos de espécies por qualidade de fuste na Floresta Tropical Amazônica no Estado do Pará, Cunha (1995) testou os modelos Weibull, Beta e Meyer contra 4 amplitudes diferentes de classes de DAP (6, 8, 10 e 12 cm), e concluiu que a amplitude 12 cm foi a mais indicada para 8 em 12 dos grupos, enquanto a amplitude 10 cm foi a melhor para apenas 4 em 12 dos grupos estudados.

No estudo das distribuições diamétrica de *Araucaria angustifolia*, Machado et al. (2009a) concluíram que os melhores ajustes foram aqueles que utilizaram a maior amplitude de classe 6,55 cm, sendo este determinado pela fórmula de Sturges, confirmando, que quanto maior a amplitude de classe maior a precisão do ajuste das funções densidade de probabilidade.

Em seu estudo Cysneiros et al. (2017) em fragmento de Floresta Ombrófila Densa observaram, que os maiores intervalos de classes avaliados resultaram nos melhores ajustes, sendo o intervalo de 9,5 cm gerado pela fórmula de Sturges o melhor para a floresta. Os autores concluíram, que intervalos de classe menores, apesar de representar melhor a realidade da floresta, não forneceram os melhores ajustes.

2.4. Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) é empregado na avaliação do desempenho de funções probabilísticas para descrever distribuições diamétricas. Ele compara a frequência observada acumulativa com a frequência estimada acumulativa pela função.

Seu uso deve ser preferível ao teste qui-quadrado e ao teste G, já que eles podem apresentar valores tendenciosos quando o número de observações por classe diamétrica for inferior a cinco (SCOLFORO, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e coleta de dados

Os dados foram coletados em fragmento de floresta ineqüiânea com 2,2 hectares, localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, com coordenadas centrais 22°45'27.70"S e 43°41'54.24"O (Figura 1) e altitude de 40 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com chuvas de verão (ALVARES et al., 2014). A temperatura média anual é de 23,7°C e a precipitação média anual é de 1.274 mm, com o período mais seco nos meses de junho, julho e agosto e excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro (SILVA & DEREZYNSKI, 2014).

Foi realizado o censo das árvores com valor de circunferência a 1,30 m do solo (CAP) igual ou superior a 15,7 cm. Esta variável foi mensurada com fita métrica e convertida para DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) por meio da relação $DAP = CAP/\pi$.

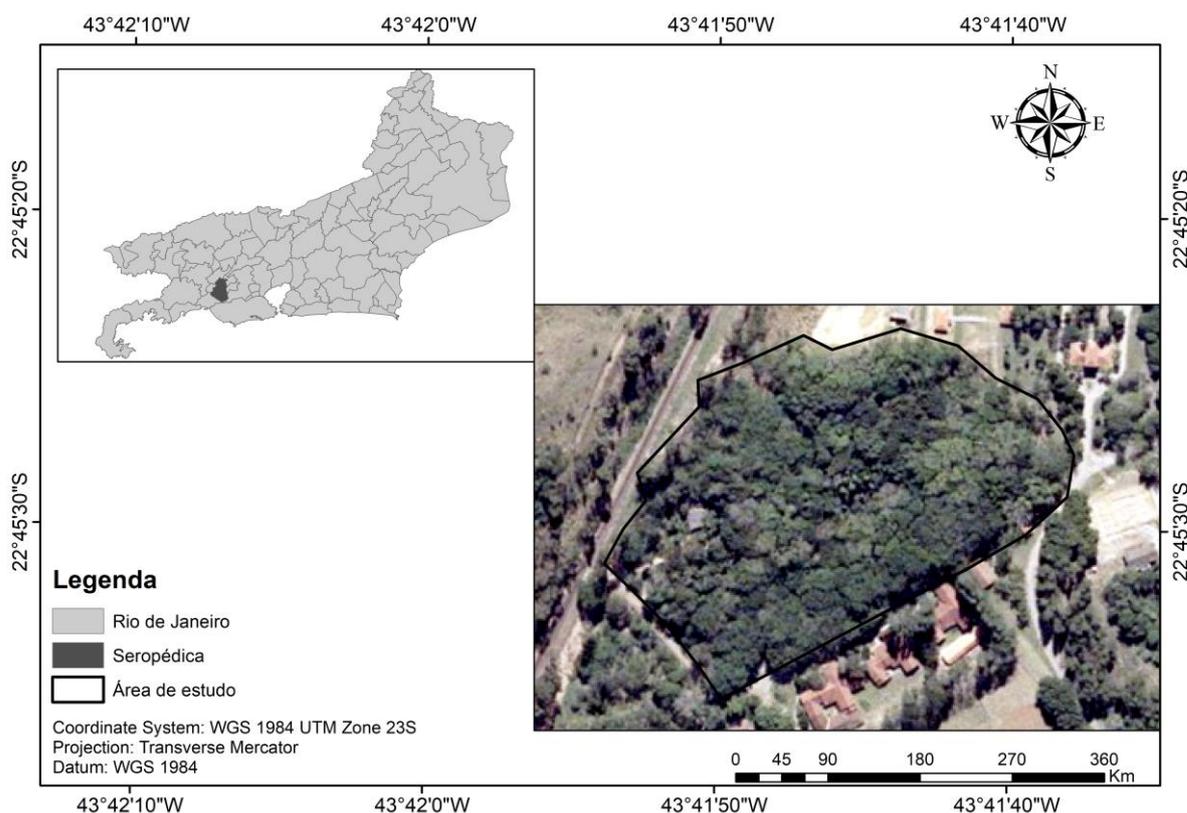


Figura 2. Localização da área de estudo no Instituto de Florestas, Seropédica, RJ.

3.2. Classes de diâmetro

As amplitudes de classes testadas foram de 1 a 10 cm definidas empiricamente, além da amplitude de classe determinada pelo método estatístico, com base no estimador de Sturges (STURGES, 1926). Este método estima o número de classes por meio da equação 1.

$$n_c = 1 + 3,3 \log(N) \quad (1)$$

em que:

n_c = número de classes;

N = número de indivíduos mensurados.

A amplitude de classe (A_c) igual a 15 cm foi determinada pela equação a seguir:

$$A_c = \text{máximo-mínimo}/(n_c-1) \quad (2)$$

em que:

máximo = maior diâmetro mensurado;

mínimo = menor diâmetro mensurado.

3.3. Funções densidade de probabilidade

As funções ajustadas foram: Beta, Gamma, Log-Normal, Sb Johnson e Weibull 3 parâmetros para cada amplitude de classe. Os coeficientes foram estimados pelo método da máxima verossimilhança, utilizando a versão de teste do software Table Curve 2D v5.01.

a) Beta

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a}\right)^{\beta-1} \frac{1}{b-a} \quad (3)$$

em que:

Γ = função gama;

α, β = parâmetros de forma a serem estimados > 0 ;

a = menor diâmetro mensurado;

b = maior diâmetro mensurado;

x = variável aleatória diâmetro.

b) Gamma

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \quad (4)$$

em que:

Γ = função gama;

α = parâmetro de escala a ser estimado > 0 ;

β = parâmetro de forma a ser estimado > 0 ;

e = exponencial;

x = variável aleatória diâmetro.

c) Log-Normal

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad (5)$$

em que:

σ = desvio padrão da variável aleatória diâmetro;

μ = média da variável aleatória diâmetro;

π = constante pi;

e = exponencial;

x = variável aleatória diâmetro.

d) Sb Johnson

$$f(x) = \frac{\delta \lambda}{\sqrt{2\pi} (x-\varepsilon)(\lambda+\varepsilon-x)} e^{-1/2 \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda+\varepsilon-x} \right) \right]^2} \quad (6)$$

em que:

ε = parâmetro de locação;

λ = parâmetro de escala;

δ = parâmetro de curtose;

γ = parâmetro de assimetria;

x = variável aleatória diâmetro.

e) Weibull 3 Parâmetros

$$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta} \right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^\gamma} \quad (7)$$

em que:

γ = parâmetro de forma;

β = parâmetro de escala;

α = parâmetro de locação;

x = variável aleatória diâmetro.

Os valores de $\gamma < 1$ definem forma decrescente da distribuição; $\gamma = 1$ forma exponencial; $\gamma = 2$ um caso especial de distribuição qui-quadrado; $\gamma \gg 3,6$ forma normal com assimetria negativa mostrando um acúmulo de diâmetro para as maiores dimensões e $1 < \gamma < 3,6$, forma normal com assimetria positiva (THIERSCH, 1997).

3.4. Teste Kolmogorov-Smirnov

Afim de verificar a aderência das funções aos dados observados aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), com 95% de significância. O valor calculado da estatística K-S é estimado pela equação (8) a qual representa o ponto de maior divergência entre a frequência estimada relativa acumulada com a frequência observada relativa acumulada.

$$K-S_{\text{calc}} = \text{Máximo} [F_o(x) - F_e(x)] / N \quad (8)$$

em que:

$F_o(x)$ = frequência observada relativa acumulada;

$F_e(x)$ = frequência estimada relativa acumulada;

N = frequência total.

O valor de K-S tabelado para uma população acima de 100 indivíduos e com 5% de significância, foi determinado pela equação (9), em que se aceita a hipótese nula, de que as frequências observadas e estimadas possuem aderência, caso o valor de $K-S_{\text{calc}}$ seja menor que o valor tabelado.

$$K-S_{\text{tab}} = 1,35 / \sqrt{N} \quad (9)$$

em que:

N = frequência total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de árvores com $DAP \geq 5$ cm mensuradas no fragmento foi de 1.541, sendo os dados de DAP (Tabela 1) submetidos à análise descritiva. A Tabela 2 apresenta os parâmetros das funções, para todas amplitudes de classes de diâmetro.

Tabela 1. Análise descritiva dos dados de diâmetros.

DAP (cm)	Somente DAP > 5 cm
Média	16,49
Mediana	11,01
Moda	5,41
Desvio padrão	14,64
Variância	214,45
CV%	88,80
Curtose	14,26
Assimetria	2,92
Intervalo	155,89
Mínimo	5,03
Máximo	160,92
Contagem	1541

Os valores dos parâmetros de forma e escala das funções, de maneira geral, tendem aumentar à medida que a amplitude de classe aumenta, exceto na função Weibull 3P que estes parâmetros diminuem com o aumento da amplitude, como exposto na Tabela 2. Os parâmetros de locação na função Log-Normal e Weibull 3P também aumentaram, na Sb Johnson este parâmetro não apresenta variação, por ser o menor diâmetro encontrado na população.

Tabela 2. Parâmetros das funções densidade de probabilidade para cada amplitude de classe.

Amplitude (cm)	Beta		Gamma		Log-Normal		Sb Johnson		Weibull 3P		
	α	β	α	β	μ	σ	γ	δ	α	β	γ
1	0,72	11,27	2,78	2,86	2,01	0,62	1,91	0,62	4,99	9,39	0,81
2	0,70	11,66	2,84	2,89	2,05	0,61	2,11	0,68	4,97	8,90	0,82
3	0,67	12,01	2,87	2,93	2,08	0,61	2,15	0,70	5,17	9,09	0,79
4	0,68	12,83	2,89	3,04	2,13	0,61	2,17	0,71	5,35	9,19	0,77
5	0,70	13,52	2,82	3,29	2,17	0,62	2,18	0,71	5,63	9,59	0,75
6	0,71	14,77	2,87	3,28	2,19	0,62	2,23	0,70	5,99	9,60	0,69
7	0,76	15,80	2,89	3,40	2,23	0,61	2,32	0,72	6,24	9,26	0,67
8	0,80	16,21	2,86	3,63	2,28	0,62	2,38	0,74	6,47	9,11	0,66
9	0,85	16,09	2,82	3,95	2,34	0,63	2,41	0,77	6,52	9,02	0,69
10	0,90	15,89	2,79	4,26	2,40	0,63	2,43	0,79	6,54	9,05	0,72
15	1,06	15,84	2,68	5,30	2,55	0,64	2,64	0,89	7,60	8,55	0,71

Em que: α, β = parâmetros de forma; α = parâmetro de escala; β = parâmetro de forma; μ = média; σ = desvio padrão; ϵ = parâmetro de locação; λ = parâmetro de escala; δ = parâmetro de curtose; γ = parâmetro de assimetria; γ = parâmetro de forma; β = parâmetro de escala; α = parâmetro de locação.

A Tabela 3 apresenta os valores do teste de aderência (K-S) das funções para cada amplitude de classe diamétrica. As funções mostram-se aderentes aos dados observados quando seu valor de $K-S_{\text{calc}}$ é inferior ao $K-S_{\text{tab}}$ de 0,0344.

Tabela 3. Teste de aderência (K-S) das funções densidade de probabilidade, ajustadas para cada amplitude de classe.

Amplitude (cm)	K-S calc				
	Beta	Gamma	Log-Normal	Sb Johnson	Weibull 3P
1	0,0247	0,3055*	0,2606*	0,0466*	0,0164
2	0,0435*	0,2869*	0,2374*	0,0304	0,0325
3	0,0719*	0,2718*	0,2200*	0,0350*	0,0200
4	0,0890*	0,2490*	0,1958*	0,0345*	0,0141
5	0,0992*	0,2286*	0,1757*	0,0258*	0,0045
6	0,1137*	0,2168*	0,1655*	0,0147	0,0163
7	0,1114*	0,1937*	0,1447*	0,0176*	0,0173
8	0,1071*	0,1733*	0,1241*	0,0197*	0,0167
9	0,0925*	0,1475*	0,1013*	0,0107	0,0108
10	0,0807*	0,1254*	0,0807*	0,0037	0,0047
15	0,0537*	0,0674*	0,0360*	0,0081*	0,0032

*Significativo, com 5 % de probabilidade, indicando não aderência da função aos dados observados.

O teste K-S demonstrou que as funções Gamma e Log-Normal não apresentaram aderência aos dados observados, em nenhuma das amplitudes de classe avaliadas. No estudo afim de selecionar fdp's que descrevessem a distribuição diamétrica das espécies *Poincianella bracteosa*, *Mimosa ophthalmocentra*, e *Manihot carthaginensis*, Marangon (2016) verificou que a função Gamma não apresentou aderência através do teste K-S e foi a que apresentou os piores resultados, com erros da estimativa elevados, sendo desta forma não indicada para representação diamétrica das espécies.

A função Beta mostrou aderência apenas na amplitude 1 cm, nas demais amplitudes testadas o número total estimado foi inferior ao número total observado, mostrando a falta de aderência desta função para amplitudes de classe superiores a 1 cm. Orellana (2009) verificou em seu estudo que esta função melhora suas estimativas com o uso da Programação Não-Linear, logo a utilização deste método, resultaria em melhores estimativas.

Os dados estimados pela função Sb Johnson apresentaram boa aderência nas amplitudes 2, 6, 9 e 10 cm evidenciado pelo teste K-S, devido sua estimativa ter se aproximado dos valores observados de diâmetros, tornando-a a segunda melhor função dentre as testadas. A função Sb Johnson apresentou maior aderência ao conjunto de dados da comunidade florestal, de *Senefeldera verticilata* e *Cupania racemosa* no estudo de Cysneiros et al. (2017), comprovando seu melhor bom desempenho e eficiência.

A Weibull 3P apresentou boa aderência em todas as amplitudes de classe, suas estimativas demonstram pequenas diferenças entre o número de árvores observadas e estimadas à medida que a amplitude de classe aumenta. Resultado observado também no trabalho de Nascimento et al. (2012) que confirmam a flexibilidade, precisão e correlação existente entre os coeficientes desta função e os atributos populacionais da floresta.

A Tabela 4 indica o ranking das funções densidade de probabilidade, a primeira colocação apresentou menor somatório de K-S até a última posição, que apresentou maior somatório de K-S.

Tabela 4. Ranking das funções densidade de probabilidade.

Ranking	Modelo	Σ K-S calc
1º	Weibull 3P	0,1566
2º	Sb Johnson	0,2469
3º	Beta	0,8873
4º	Log-Normal	1,7441
5º	Gamma	2,2659

Em que: Σ K-S calc = somatório dos valores de K-S calculados de todas as amplitudes.

A superioridade da função Weibull 3P, é evidenciada pelas curvas de frequências estimadas em relação as observadas, em todas as amplitudes de classe (Figura 3). As curvas da função Gamma (Figura 3), em todas as amplitudes, confirma sua inferioridade na aderência dos dados estimados aos observados, devido seus parâmetros resultarem em curvas mais “achatadas”, acarretando uma subestimativa do número de árvores.

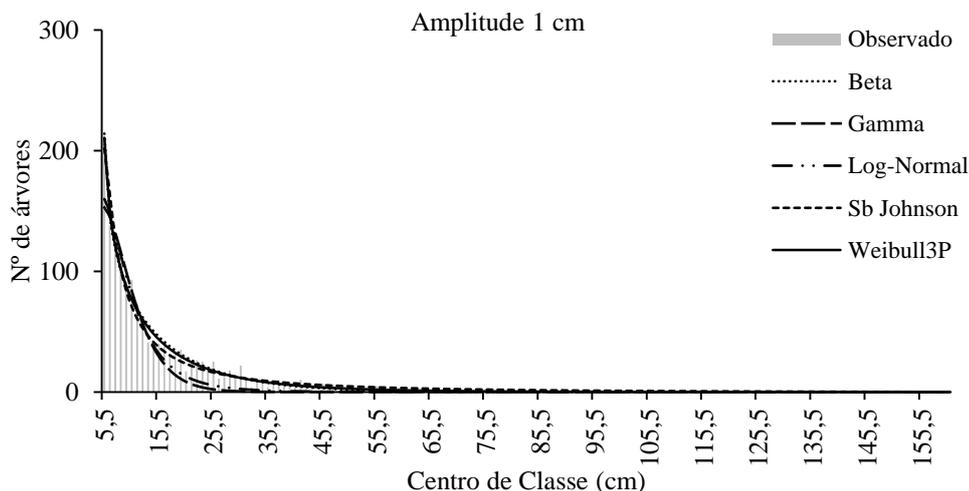


Figura 3. Número de árvores observadas e estimadas pelas funções densidade de probabilidade para cada amplitude de classe. Continua...

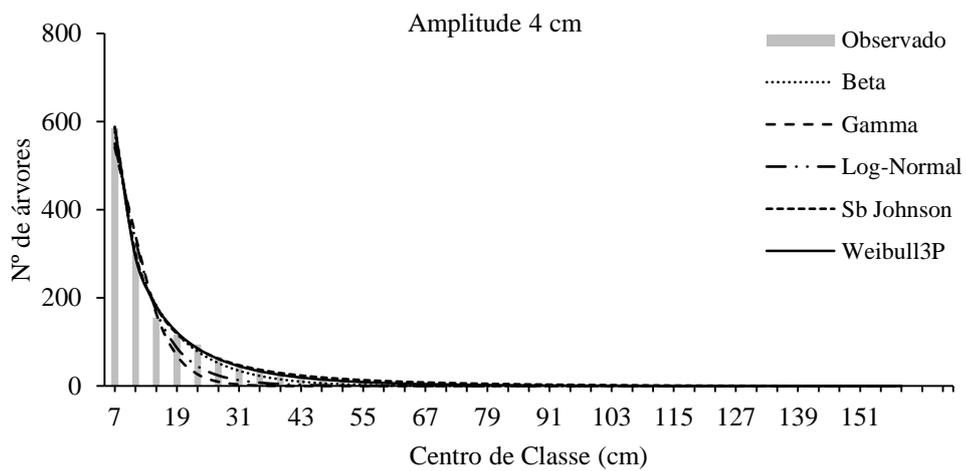
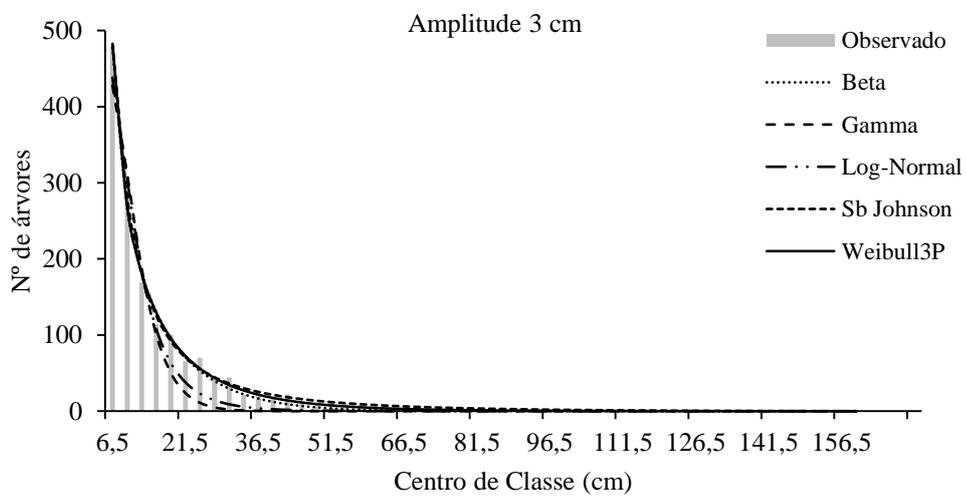
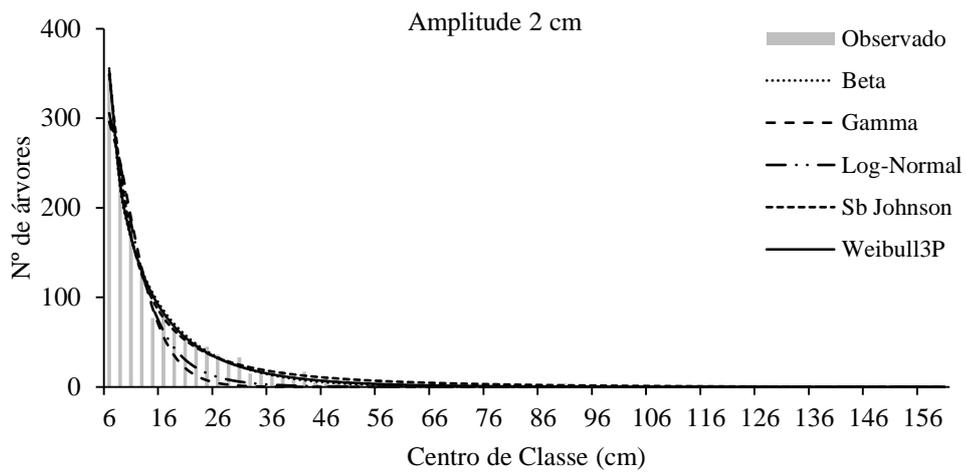


Figura 3. Continuação...

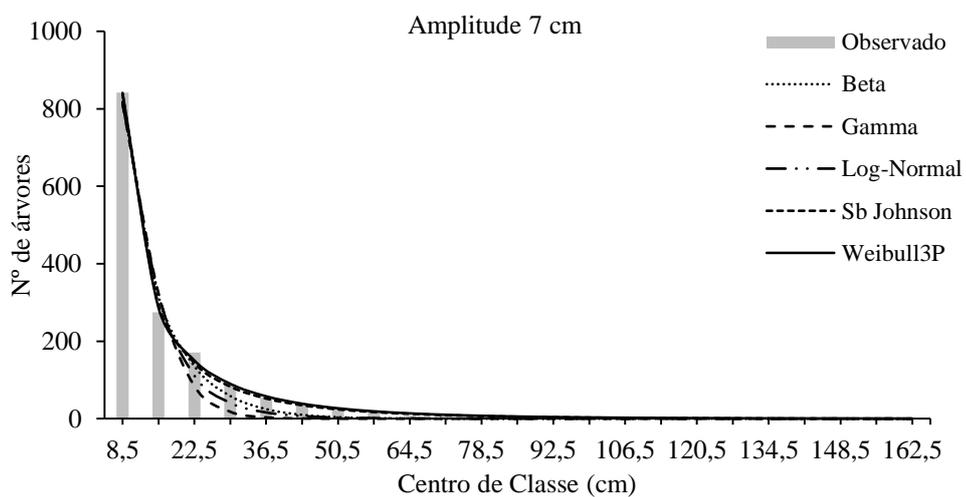
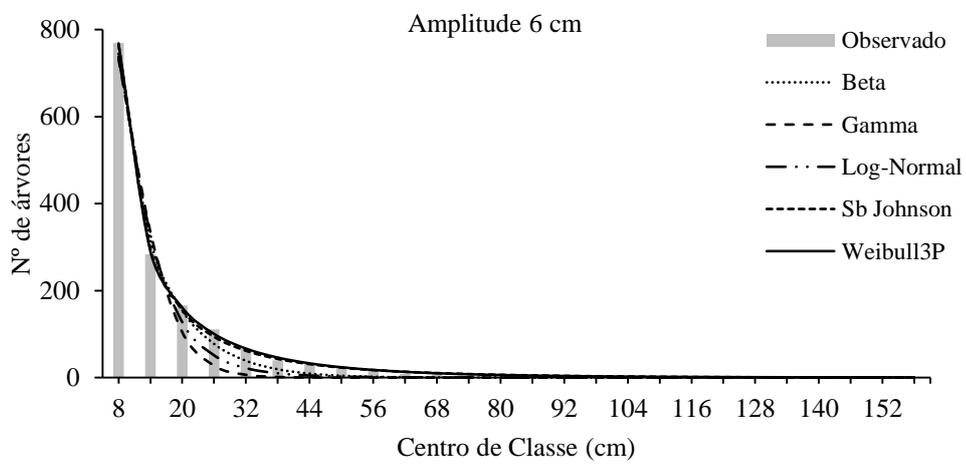
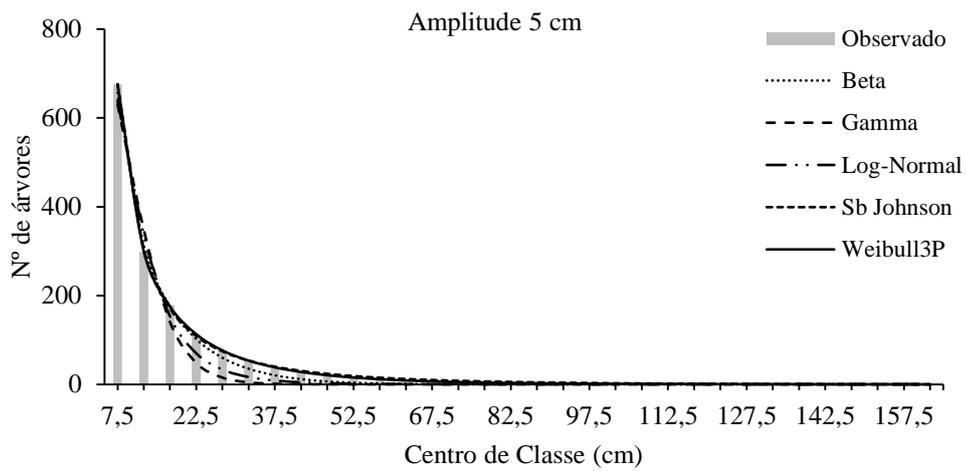


Figura 3. Continuação...

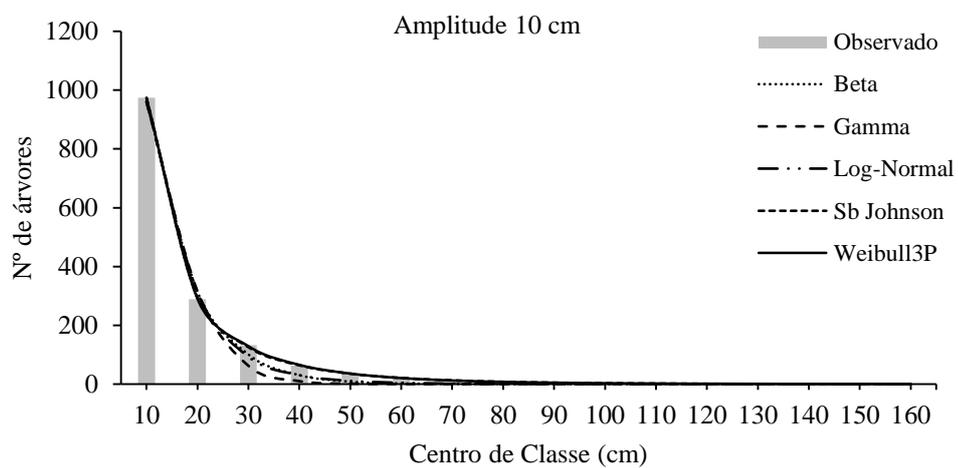
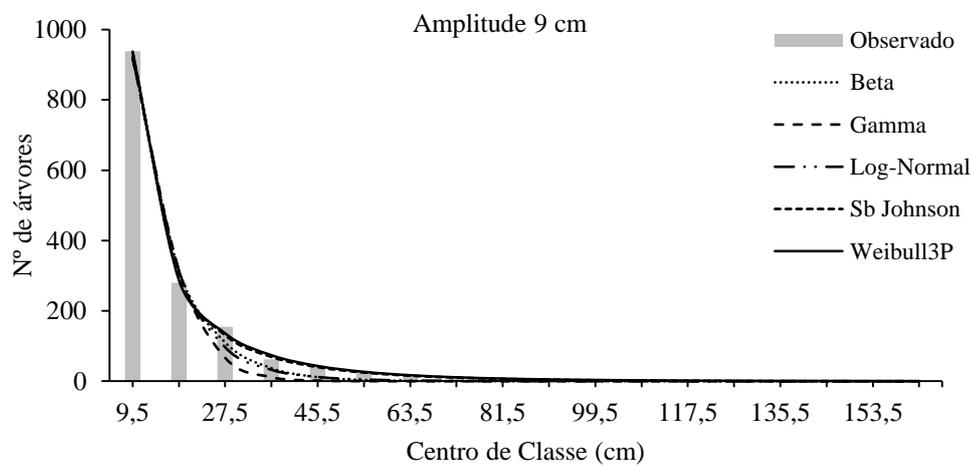
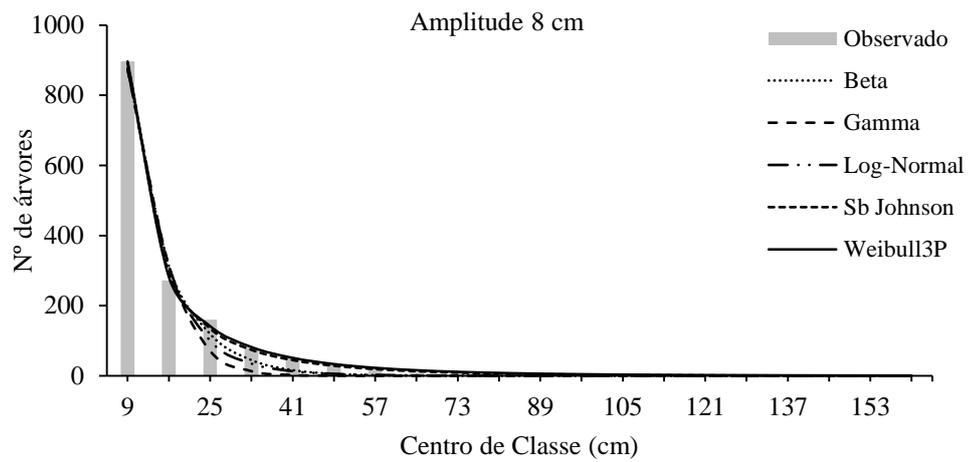
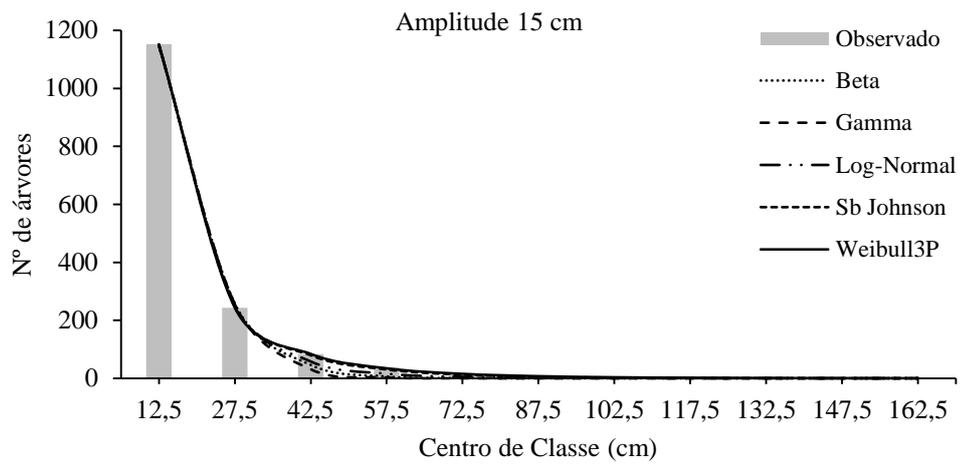


Figura 3. Continuação...



5. CONCLUSÃO

A amplitude de classe de diâmetro influencia na estimativa dos parâmetros das funções densidade de probabilidade, alterando a aderência aos dados observados.

A função densidade de probabilidade Weibull 3P deve ser preferencialmente utilizada, pois é flexível as variações de amplitude de classe, gerando estimativas exatas e com aderência aos dados observados.

De maneira geral, as funções Sb Johnson e Log-Normal melhoram seus resultados à medida que a amplitude de classe aumenta, enquanto que a função Beta tende a piorar a qualidade do ajuste. Já a função Gamma não foi aderente em nenhuma das amplitudes de classes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.
- BARRA, O.S.V.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A.; CORTE, A.P.D. Proposta metodológica para o ajuste ótimo da distribuição diamétrica Sb de Johnson. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.151-156, 2011.
- BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingas da região metropolitana de Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** Viçosa, MG: UFV, p.306, 2009.
- CUNHA, U.S. **Análise da Estrutura diamétrica de uma Floresta Tropical Úmida da Amazônia Brasileira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- CYSNEIROS, V.C.; AMORIM, T.A.; JÚNIOR, J.O.M.; GAUI, T.D.; MORAES, J.C.R.; BRAZ, D.M.; MACHADO, S.A. Distribuição diamétrica de espécies da floresta ombrófila densa no sul do estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 37, n. 89, p. 1-10, jan./mar. 2017.
- GOMES, M.S.; LANSSANOVA1, L.R.; LIMA, É.A.A.; DIAS, A.N.; FILHO, A.F. Ajuste da Função de Densidade de Probabilidade Beta para um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Anais I semana de Aperfeiçoamento Florestal**, UFPR, Paraná, 2017.
- HAFLEY, W. L; SCHREUDER, H. T. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of forest research*, Ottawa, v. 7, n. 3, p. 481-487, 1977.
- JOHNSON, N. L. Bivariate distributions based on simple translation systems. *Biometrika*, v. 36, n. 3/4, p. 297-304, 1949.
- LANA, M.D.; BRANDÃO, C.F.L.S.; NETTO, S.P.; MARANGON, L.C.; RETSLAFF, F.A.S. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em Fragmento de Floresta Ombrófila Densa - Igarassu, PE. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 43, n. 1, p. 59-68, jan./mar. 2013.
- MACHADO, S.A.; AUGUSTYNCZIK, A.L.D.; NASCIMENTO, R.G.M.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R.; MIGUEL, E.P.; TÉO, S.J. Distribuição diamétrica de *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. *Scientia Agraria*, Paraná, Brasil, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009a.
- MACHADO, S.A.; AUGUSTYNCZIK, A.L.D.; NASCIMENTO, R.G.M.; TÉO, S.J.; MIGUEL, E.P.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Rural*, Rio Grande do Sul, v. 39, n. 8, p. 2428-2434, 2009b.

- MARANGON, G.P.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A.; SCHNEIDER, P.R.; LOUREIRO, G.H. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies lenhosas da caatinga, semiárido pernambucano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 863-874, jul.-set., 2016.
- NASCIMENTO, R.G.M.; MACHADO, S.A.; FILHO, A.F.; HIGUCHI, N. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32. 9 p. 3-103, 2012.
- NETTO, C.C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de Pinus taeda L. em diferentes idades e espaçamentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- ORELLANA, H. **Funções densidade de probabilidade no ajuste da distribuição diamétrica de um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Centro-Oeste Unicentro –PR, Irati, 2009.
- ORELLANA, E.; FILHO, A.F.; NETTO, S.P.; DIAS, A.N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.
- ROBINSON, A. Preserving correlation while modelling diameter distributions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, Canadá, 2004.
- SANTOS, R.O.; ABREU, J.C.; LIMA, R.B.; APARÍCIO, P.S.; SOTTA, E.D.; LIMA, R.C. Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 6, n. 2, p. 24-31, 2016.
- SILVA, E.Q. **Nova função densidade de probabilidade aplicável à ciência florestal**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.
- SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.
- STURGES, H. A. The Choice of a Class Interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, mar. 1926.
- TÉO, S.J.; MARCON, F.; SCHNEIDER, C.R.; SANTOS, F.B.; CHIARELLO, K.M.A.; FIORENTIN, L.D. Modelagem da distribuição diamétrica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lebon Régis, SC. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 337-348, jun, 2015.
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de Eucalyptus camaldulensis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 1997.