Modelagem da distribuição dos incrementos em diâmetro de remanescentes de *Araucaria angustifolia* em área manejadaModeling the distribution of diameter increment in remnants of *Araucaria angustifolia* in managed areasMyrcia Minatti¹, Jonathan William Trautenmüller^{2*}, Sylvio Péllico Netto², Ana Paula Dalla Corte², Rafaelo Balbinot³ e Fernanda Raquel Lambrecht⁴**Resumo**

Informações sobre o crescimento das árvores é essencial para prever a produção e potencializar planos de manejo florestal, já que o crescimento pode variar dentro da mesma espécie, principalmente em áreas de florestas naturais. A intensidade da intervenção e o período entre as intervenções (ciclo de corte) tem a finalidade de contribuir com a dinâmica da estrutura da floresta, taxas de crescimento, regeneração e produção e, assim, propiciar a perpetuação das espécies. Com isso, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do desbaste seletivo na distribuição dos incrementos em diâmetros de árvores de *Araucaria angustifolia* nos períodos pré e pós desbaste. Uma amostragem sistemática com 31 parcelas foi efetuada, nas quais foram selecionados 62 indivíduos de araucária, cobrindo toda a variação diamétrica da espécie. Os ajustes foram efetuados com as funções densidade de probabilidade: Beta, Burr 3P, Gamma 2P, Gamma 3P, LogNormal, Weibull 2P e Weibull 3P. Os resultados mostraram que a função Gamma 3P foi a que melhor aderiu aos dados do pré e pós desbaste. O desbaste e aumento da idade das árvores resultou em diminuição da média e amplitude dos incrementos em diâmetros, devido as retiradas terem sido efetuadas das árvores com diâmetros acima da média diamétrica, causando assimetria positiva à distribuição pós desbaste. O manejo da araucária deve ser conduzido de forma sustentável, de tal maneira que garanta o ingresso de árvores em todas as classes, para assegurar um novo ciclo de corte, mantendo-se o potencial de crescimento e sustentabilidade da espécie.

Palavras-chave: Distribuições diamétricas; Desbaste; Manejo florestal.

Abstract

Information about tree growth is essential to predict production and potentiate forest management plans, as growth can vary within the same species mainly in natural forest. The intensity of the intervention and the period between the interventions (cutting cycle) is intended to contribute to the dynamics of the forest structure, growth rates, regeneration and production, allowing, this way, to perpetuate the species. The objective of this work was to evaluate the influence of the selective thinning on the distribution of the diameter increments of trees of *Araucaria angustifolia* in the pre and post thinning periods. A systematic sampling with 31 plots was carried out, in which 62 trees of araucaria were selected in each plot, covering all the diameter variation of the species. The fittings were made using the following probability density functions: Beta, Burr 3P, Gamma 2P, Gamma 3P, LogNormal, Weibull 2P, and Weibull 3P. The results showed that the Gamma 3P function was the one that best fitted to the pre and post thinning data. The thinning and the increase of the age of the trees resulted in a decrease in the mean and amplitude of the diameter increments due to the withdrawals of trees with diameters above the diametric mean, which caused a positive asymmetry to the post thinning distribution. In order to have a new cutting cycle and without losing the growth potential and sustainability of the species, the management of araucaria should be done in a sustainable way and necessary measures need to be taken to allow the entry of trees in all classes, to ensure a new cutting cycle, maintaining the growth potential and sustainability of the species.

Keywords: Diameter distributions; thinning; forest management.

1. Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Florianópolis, SC, Brasil.

2. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, PR, Brasil.

3. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Frederico Westphalen, RS, Brasil.

4. Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, MG, Brasil.

* Autor correspondente: jwtraute@gmail.com

INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos florestais brasileiros foi por muito tempo efetuada sem critérios técnicos, principalmente quando se refere ao manejo de florestas nativas. Historicamente, as espécies de elevado valor econômico foram exploradas de forma predatória e, no Sul do Brasil, cabe destacar a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, conhecida como Araucária ou Pinheiro do Paraná.

A *Araucaria angustifolia* apresenta alto potencial madeireiro, boa forma de tronco e madeira de alta qualidade. Por isso, é importante o aprofundamento sobre o comportamento dessa espécie, antes e após ter sido realizado um desbaste na floresta, principalmente concernente ao diâmetro, variável influenciada por esse trato silvicultural (LOUREIRO et al. 2013).

O Brasil, na década de 60, vivenciou a expansão industrial, o que permitiu o desenvolvimento de diversos setores, entre eles o setor florestal. Nesse contexto, fortes explorações com pouco embasamento científico foram realizadas, assim os estoques de florestas naturais de araucária apresentam, nos dias atuais, redução do número de indivíduos jovens (ZANON, 2007).

O crítico cenário em que se encontrava a espécie obrigou o poder público a criar mecanismos legais para conter a exploração da araucária, sendo que hoje os remanescentes florestais encontram-se amparados pela Portaria N° 37-N, de 1992 (IBAMA), resolução CONAMA n° 278 de 2001 e a lei n° 11.428/2006, que proíbe seu corte e sua supressão. Por força de lei, a espécie teve sua exploração fortemente reduzida, contudo o manejo florestal da espécie não tem sido realizado, estando os remanescentes naturais de araucária hoje em situação de abandono (BRASIL, 2006).

No entanto, a legislação proibitiva não garante sua preservação, porque sem intervenção humana não se propicia variabilidade genética (STEFENON et al., 2008). A não supressão de árvores mais velhas inibe o crescimento e o cruzamento com indivíduos novos, o que acaba prejudicando o potencial evolutivo da espécie por não lhe favorecer adaptação às alterações ambientais. A falta de intervenção na floresta contribui para a estagnação de crescimento das árvores que, juntamente com a proibição de manejo florestal, provocam a falta de interesse social na sua manutenção.

Em se tratando de planos de manejo florestal em regime sustentado, o conhecimento de sua estrutura horizontal e vertical torna-se fundamental. Esse consiste na distribuição de espécies e dimensões das árvores em uma unidade de área, resultado dos hábitos de crescimento das espécies, das condições ambientais e práticas de manejo. Atualmente, o estudo das distribuições diamétricas está amplamente difundido e aplicado em toda a Europa e Estados Unidos e, no Brasil, já é bastante utilizado como subsídio para o manejo de florestas, constituindo um procedimento simples e eficaz para descrever as características de um povoamento (BARTOSZECK et al., 2004).

Scolforo (2006) comenta que em florestas plantadas a distribuição diamétrica é importante para programar a predição da produção florestal. Em florestas nativas, que não tem idade definida, ela permite explicitar a amplitude dos diâmetros e a densidade de indivíduos por classe diamétrica. Scolforo (2006) ressalta ainda que, em nível operacional, a distribuição diamétrica possibilita a implementação da técnica para remover árvores por classes de diâmetro, desde que seja utilizado o conceito de floresta balanceada descrito por De Liocourt (1898) e Meyer (1952).

A prática do manejo em fragmentos florestais com araucária pode propiciar o aumento ou a diminuição do incremento médio dos diâmetros nos remanescentes florestais de *Araucaria angustifolia*. Neste trabalho, o objetivo foi avaliar a influência do desbaste seletivo na distribuição dos incrementos diamétricos das árvores de *Araucaria angustifolia*, em um intervalo de 22 anos após manejo florestal em regime sustentado.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado em um fragmento florestal nativo ecótono, cuja área se caracteriza por uma transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Decidual, em estágio secundário avançado de regeneração. O fragmento apresenta cerca de 50 ha, localizado no município de Erval Seco, Rio Grande do Sul, Brasil, centrado nas coordenadas 27°36'49,60" Sul e 53°29'23,05" Oeste (Figura 1). Em 1993 foi realizado uma única intervenção de manejo, que removeu 55,83 m³ ha⁻¹ (VENDRUSCOLO, 2015), aproximadamente 26% do estoque de madeira

Figura 1. Fragmento florestal, pertencente ao ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, localizado no município de Erval Seco - RS.

Figure 1. Forest fragment belonging to ecotone between the Mixed Tropical Forest and Deciduous Tropical Forest located in the municipality of Erval Seco - RS.

(210,83 m³ ha⁻¹ encontrados no inventário realizado em 1992). As árvores foram selecionadas de espécies de maior ocorrência e diâmetro mínimo de corte de 40 cm.

O clima local, de acordo com a classificação Köppen, é subtropical úmido (Cfa) com verões quentes (ALVARES et al., 2013), com regime de chuvas equilibrado, cuja média anual situa-se entre 1.700 e 1.900 mm e temperatura média entre 20° e 23° C (ROSSATO, 2014). Os solos no município de Erval Seco são classificados como Latossolos Vermelhos Alumino-Férricos (SANTOS et al., 2013).

Coleta de dados

O inventário florestal foi efetuado em 31 parcelas de 20 m x 50 m, distribuídas em um grid sistemático, com equidistância de 125 m x 125 m no ano de 2015. Nessas parcelas foram amostradas todas as árvores, com um total de 62 árvores de araucária para compor a máxima variação diamétrica dessa espécie na área amostrada.

Em cada parcela foram mensuradas a variável diâmetro à altura do peito (*d* - coleta 1,3 m do solo) das árvores selecionadas, bem como coletadas duas amostras não destrutivas (rolo de incremento) em cada árvore. A primeira amostra não destrutiva foi retirada em um ponto aleatório na altura *d*, e a segunda a 90° da primeira.

Os rolos de incremento foram beneficiados e analisados na Embrapa Florestas de Colombo, Paraná. Com o auxílio de um microscópio estereoscópio foi realizada a marcação dos anéis de crescimento e depois medidos os incrementos em diâmetro, utilizando uma mesa de mensuração com precisão de 0,01 mm (LINTAB 6.0 – Frank Rinn Distributors, Alemanha), acoplado ao computador (LINTAB, 2002). Os dados de incremento foram registrados pelo Software TSAP (Time Series Analysis Program, da empresa Rinntech®) e a datação foi realizada por análise visual dos dados e gráficos com auxílio da ferramenta Solver do programa Action, integrado ao Excel 2014.

Análise de dados

Uma análise descritiva dos diâmetros e dos incrementos foi efetuada nos dados amostrados. Também foram testadas sete funções densidade de probabilidade (*fdp*) (Tabela 1) para a obtenção das distribuições dos incrementos de *Araucaria angustifolia* no povoamento. Cada uma das distribuições ajustadas foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com o propósito de selecionar a de melhor desempenho para descrever o conjunto de dados pré e pós desbaste na floresta estudada. Para obter a melhor aderência entre as *fdfs* foi efetuado o ranqueamento, em que a distribuição de melhor aderência recebeu nota um e a *fdp* com menor aderência nota sete. A distribuição que atingiu o menor somatório das notas para os períodos pré e pós foi selecionada para representar as distribuições em incrementos diamétricos para ambos os períodos.

Tabela 1. Funções densidade de probabilidade testadas e ajustadas para os dados de incrementos diamétricos em remanescentes de *Araucaria angustifolia* em um ecótono de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, localizado em Erval Seco - RS.

Table 1. Probability density functions fitted for diameter increment of *Araucaria angustifolia* remnants in ecotone of Mixed Tropical Forest and Decidual Tropical Forest, located in Erval Seco - RS.

Denominação	<i>fdp</i>	Condições
Beta	$f(x) = \frac{1}{\beta(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$	$\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, a < b$ $a \leq x \leq b$
Burr 3P	$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right)^{k+1}}$	$k > 0$ $\alpha > 0$ $\beta > 0$ $\gamma \leq x \leq +\infty$
Gamma 2P	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
Gamma 3P	$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} e^{-(x-\gamma)/\beta}$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$ $\gamma \geq 0$
Log Normal	$f(x) = \frac{e^{-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$	$\sigma > 0$ $\gamma < x < +\infty$
Weibull 2P	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}}$	$\alpha > 0$ $\beta > 0$
Weibull 3P	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}$	$\alpha > 0, \beta > 0$ $\gamma \leq x \leq +\infty$

Em que: *fdp* é a função densidade de probabilidade da variável *x*; *k*, *a*, *b*, α , β , γ são os parâmetros dos modelos; *x* é o valor da variável aleatória (centro de classe); π é a constante *pi* (3,1416...); *e* é a constante de Euler (2,7182...); μ é a média aritmética; σ é o desvio padrão; *ln* é o logaritmo neperiano; Γ é a função Gamma.

Where: *fdp* is the probability density function of the variable *x*; *k*, *a*, *b*, α , β , γ are the parameters of the models; *x* is the value of the random variable (class center); π is the constant *pi* (3.1416...); *e* is Euler's constant (2.7182...); μ is the arithmetic mean; σ is the standard deviation; *ln* is the Neperian logarithm; Γ is the Gamma function.

Segundo Machado et al. (2010), a melhor maneira de representar a estrutura diamétrica de uma floresta ou de uma espécie se dá por meio de *fdfs*, as quais permitem avaliar a probabilidade das árvores ocorrerem em intervalos especificados, ou classe de diâmetro. Os modelos de *fdp* devem ser devidamente ajustados, avaliados e selecionados para melhor descrever o comportamento diamétrico do povoamento.

Para definir o número de classes do incremento utilizou-se o método de Sturges (STURGES, 1926), ou seja:

$$K = 1 + 3,33 (\log n)$$

Em que: k é o número de classes; n é o número de dados amostrais.

A qualidade do ajuste das funções foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) para verificar a aderência ou não da f_{dp} ajustada à distribuição dos dados:

$$D_{cal} = \frac{\text{máximo}[Fo(x) - Fe(x)]}{n}$$

Em que: $Fo(x)$ é a frequência observada acumulada; $Fe(x)$ é a frequência esperada acumulada; n é o número de observações; D_{calc} é o valor de D calculado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi aplicado para a frequência acumulada estimada dos incrementos em diâmetro de *Araucaria angustifolia*. Para verificar se o teste foi significativo, analisou-se a relação entre o D_{cal} e o D_{tab} . Se o $D_{cal} \leq D_{tab}$, então se aceita o ajuste, sendo que o D_{tab} é um valor tabelado a 95% de probabilidade, cujas hipóteses testadas são:

H_0 : há aderência das funções ajustadas aos dados de incrementos diamétricos.

H_1 : não há aderência das funções ajustadas aos dados de incrementos diamétricos.

O cálculo do D_{tab} , efetuado a 95% de probabilidade de confiança, é dado por:

$$D_{tab} = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$$

Em que: D_{tab} é o valor de Kolmogorov-Smirnov tabelado; n é o número de dados.

A partir dos valores do teste Kolmogorov-Smirnov foi gerada uma tabela, na qual as funções foram analisadas e classificadas em ordem decrescente de bondade de ajuste. Análises similares foram propostas por Carvalho et al. (2010) e Mendonça et al. (2007).

O efeito do desbaste sobre as curvas dos incrementos foi avaliado utilizando-se as medidas de assimetria e curtose, além da média e dos valores mínimos e máximos. A assimetria foi avaliada quanto aos seguintes aspectos, segundo Sanquetta et al. (2014):

- Simétrica: moda = mediana = média aritmética.
- Assimetria negativa se: moda < mediana < média aritmética.
- Assimetria positiva se: moda > mediana > média aritmética.

Se o coeficiente de assimetria, em módulo, estiver entre 0,15 e 1 essa é considerada moderada e se for maior de que 1 ela é considerada forte.

Já a curtose é o grau de achatamento ou elevação relativa de uma distribuição, considerada usualmente em relação à distribuição normal. Pearson (1905) definiu três tipos de curvas em relação à curtose:

- Leptocúrtica: curva que tem um pico relativamente alto, com excesso negativo, ou seja, coeficiente de curtose < 0,263.
- Platicúrtica: curva que apresenta um topo mais achatado, com excesso positivo, isto é, coeficiente de curtose > 0,263.
- Mesocúrtica: curva intermediária, ou seja, o coeficiente de curtose = 0,263.

O teste t de Student foi utilizado para a comparação das médias de incremento pré e pós desbaste em cada classe de diâmetro dos indivíduos avaliados a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entre as distribuições testadas, o teste de KS demonstrou que as f_{dps} Beta, Burr 3P, Gamma, Gamma 3P e LogNormal foram flexíveis o suficiente para representar as distribuições dos incrementos em diâmetro, tanto para o pré e pós desbaste (Tabela 2). Para essas funções o KS não foi significativo a 95% de probabilidade. Isso indica que as frequências estimadas e observadas não diferem estatisticamente em aspectos essenciais, conforme especificado na hipótese de nulidade. Por outro

Tabela 2. Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) para as distribuições de incremento em diâmetro de *Araucaria angustifolia*.

Table 2. Kolmogorov-Smirnov test (KS) for diameter increment distributions of *Araucaria angustifolia*.

Condição	Função Densidade de Probabilidade	KS tabelado		KS calculado	Ranque
		1%	5%		
Pré desbaste	Beta	0,04102	0,03422	0,01762	2
	Burr 3P			0,02514	4
	Gamma			0,02503	3
	Gamma 3P			0,01685	1
	LogNormal			0,03383	5
	Weibull			0,06010	7
Pós desbaste	Weibull 3P			0,03417	6
	Beta	0,04226	0,03526	0,02918	4
	Burr 3P			0,02739	2
	Gamma			0,03459	5
	Gamma 3P			0,02865	3
	LogNormal			0,01811	1
	Weibull			0,06389	7
	Weibull 3P			0,04393	6

lado, valores significantes podem indicar estimativas inadequadas da frequência do incremento, devido à sensibilidade do teste (CAO, 2004; SANQUETTA et al., 2014).

Para a seleção da função de melhor desempenho no teste KS, atribuiu-se pesos a esses valores, tendo-se dado a nota 1 para a distribuição que resultou em melhor ajuste e os demais em uma classificação ordinal crescente. Dessa forma, a distribuição que apresentou melhor ajuste no caso pré desbaste foi a Gamma 3P, tendo ela também apresentado bom ajuste para pós desbaste. Dessa maneira, decidiu-se utilizar essa distribuição para as duas condições (Tabela 2), como demonstrado na figura 2 (A e B). Os coeficientes estimados de cada distribuição estão apresentados na tabela 3.

Figura 2. Frequência observada e *pdfs* testadas para os incrementos em diâmetro de *Araucaria angustifolia* no pré (A) e pós desbaste (B), em Erval Seco, RS.

Figure 2. Observed frequency and *pdfs* fitted to diameter increments of *Araucaria angustifolia* pre (A) and post thinning (B), in Erval Seco, RS.

Tabela 3. Coeficientes ajustados das *fdps* para os incrementos em diâmetro de *Araucaria angustifolia* no pré e pós desbaste, em Erval Seco, RS.

Table 3. Fitted coefficients of the adjusted *pdfs* for diameter increments of *Araucaria angustifolia* pre and post thinning, in Erval Seco, RS.

<i>fdps</i>	Coeficientes							
	α	β	γ	k	σ	μ	a	b
Pré Desbaste								
Beta	2,6853	190,460	-	-	-	-	0,07638	49,133
Burr 3P	2,5756	0,98947	-	2,1213	-	-	-	-
Gamma	3,381	0,22432	-	-	-	-	-	-
Gamma 3P	2,7393	0,24964	0,07459	-	-	-	-	-
LogNormal	-	-	-	-	0,5621	-0,40321	-	-
Weibull	2,04003	0,82646	-	-	-	-	-	-
Weibull 3P	1,6793	0,74236	0,09698	-	-	-	-	-
Pós Desbaste								
Beta	1,9791	6,5205E+6	-	-	-	-	0,05629	2,1199E+6
Burr 3P	2,2356	0,79212	-	1,6809	-	-	-	-
Gamma	2,2731	0,30722	-	-	-	-	-	-
Gamma 3P	1,9972	0,32164	0,05596	-	-	-	-	-
LogNormal	-	-	-	-	0,6296	-0,61552	-	-
Weibull	1,8250	0,685725	-	-	-	-	-	-
Weibull 3P	1,4525	0,70769	0,05936	-	-	-	-	-

Em que: *fdps* são as funções densidade de probabilidade; k , a , b , α , β , γ são os coeficientes dos modelos; μ é média aritmética; σ é o desvio padrão.

Where: *pdfs* are the probability density functions; k , a , b , α , β , γ are the coefficients of the models; μ is arithmetic mean; σ is the standard deviation.

Schikowski et al. (2015), analisando a estrutura diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista com a espécie *Araucaria angustifolia* em São João do Triunfo, PR, obtiveram a melhor aderência aos seus dados com a distribuição SB Johnson, bem como com as distribuições LogNormal e Dagum para os períodos finais do estudo. Orellana et al. (2014), avaliando a estrutura diamétrica da *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Irati, PR, obtiveram o melhor ajuste para a distribuição Beta. Machado et al. (2009), estudando a distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Curitiba, PR, também obtiveram bons resultados com a distribuição Gamma 3P.

A análise descritiva demonstrou a diminuição da média, máximo e mínimo do incremento em diâmetros após o desbaste (Tabela 4). Pode-se observar que, com o desbaste, a amplitude total dos incrementos diminuiu, ocasionando assimetria positiva. Quanto à curtose, a função densidade de probabilidade Gamma 3P pode ser considerada platicúrtica (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros da distribuição Gamma 3P para os incrementos diamétricos de *Araucaria angustifolia*.

Table 4. Parameters of the Gamma 3P distribution for the diameter increments of *Araucaria angustifolia*.

Estatística	Variáveis	
	Incrementos diamétricos (cm)	
	Pré desbaste	Pós desbaste
Mínimo	0,10	0,06
Média	0,76	0,63
Máximo	2,89	2,57
Curtose	1,66	1,74
Assimetria	1,14	1,19
Variância	0,17	0,14
Desvio Padrão	0,41	0,38
Erro Padrão	0,01	0,01

De acordo com Machado et al. (2009), que avaliaram a distribuição de diâmetros de *Araucaria angustifolia* em um fragmento urbano de Floresta Ombrófila Mista em Curitiba, PR, obtiveram distribuições com curvas platicúrticas, no entanto simétricas. Em contrapartida, outros autores obtiveram distribuições menos achatadas e com coeficiente de curtose menor que 0,263, ou seja, curtose leptocúrtica (COSTA NETO, 2002; MACHADO et al., 2006; SCHIKOWSKI et al., 2015).

Para avaliar a evolução da distribuição dos incrementos diamétricos em floresta de *Araucaria angustifolia* e a influência do desbaste na curva estimada pela função Gamma 3P, foram traçadas curvas para os incrementos em diâmetro pré e pós desbaste (Figura 3).

Figura 3. Frequências dos incrementos em diâmetro de *Araucaria angustifolia* pré e pós desbaste gerados pela distribuição Gamma 3P, em Erval Seco, RS.

Figure 3. Frequencies of the pre and post thinning increments in diameter of *Araucaria angustifolia* generated by the Gamma 3P distribution, in Erval Seco, RS.

Os desbastes têm como objetivo remover algumas árvores para favorecer o crescimento das remanescentes, as quais modificam condições edafoclimáticas (luminosidade, temperatura, recursos hídricos e nutrientes disponíveis) e posterior competição por esse espaço entre as árvores remanescentes (BAUHUS, 2009; MINATTI, 2015; PRETZSCH et al., 2014a, b). Assim, essa competição estimula as árvores remanescentes a ocuparem os espaços mais rapidamente que seus vizinhos competidores e, dessa forma, aumenta seu crescimento em diâmetro e, conseqüentemente, o incremento (MINATTI, 2015; SULLIVAN; SULLIVAN, 2016).

Neste estudo, verificou-se a diminuição das médias de incremento após o desbaste, quando comparadas com o pré desbaste (Figura 4). A diminuição da média dos incrementos pode estar relacionada à genética dos indivíduos e/ou aos tratos silviculturais referentes ao desbaste. Geneticamente, árvores com grandes dimensões e idade avançada apresentam incrementos menores em diâmetro, fato resultante de sua perda potencial de crescimento (MINATTI, 2015), conseqüentemente árvores mais jovens devem apresentar maior potencial de crescimento que as mais velhas.

Figura 4. Médias dos incrementos diamétricos de *Araucaria angustifolia* entre 1950 e 2015 e a linha vertical contínua representa o único desbaste realizado na área de estudo, em Erval Seco, RS.

Figure 4. Means of the diametric increments of *Araucaria angustifolia* between 1950 and 2015 and the continuous vertical line represents the only thinning performed in the study area, in Erval Seco, RS.

O aumento das médias dos incrementos nos anos 60 e 70 evidenciou a exploração seletiva da araucária na área de estudo. Essa fácil e rápida intervenção nas florestas pode estar associada à Revolução Verde que permitiu o desmatamento desordenado para a expansão agrícola e extração seletiva de árvores em fragmentos conservados durante os governos militares. Nos anos 80, a fiscalização e a proibição total do corte em Florestas de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) resultaram na diminuição das taxas médias de incremento, aumentando a competição entre as árvores do povoamento (Figura 4).

Com a intervenção via manejo sustentável de maneira favorável no ano de 1993 e a abertura de novas clareiras resultou em leve aumento dos incrementos entre os anos de 1998 e 2004. Após esse período, ocorreram a diminuição e estabilização das taxas médias de incremento em torno de 0,5 cm.ano⁻¹, resultante novamente da competição entre indivíduos. Os incrementos menores foram diretamente afetados pelas árvores das classes de diâmetro de até 31 cm, com médias abaixo de 0,51 cm.ano⁻¹ (Tabela 5).

Tabela 5. Médias dos incrementos para cada classe de diâmetro nos períodos pré e pós desbaste para *Araucaria angustifolia*.

Table 5. Mean of the increments for each diameter class in pre and post thinning periods for *Araucaria angustifolia*.

Classes de diâmetro (cm)	Número de árvores remanescentes pós desbaste	Período	
		Pré desbaste	Pós desbaste
10-17	4	0,56 A	0,33 B
17-24	8	0,54 A	0,51 A
24-31	8	0,73 A	0,45 B
31-38	18	0,73 A	0,72 A
38-45	16	0,81 A	0,72 B
45-52	6	0,82 A	0,64 B
52-59	2	0,93 A	0,88 A

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste t a 95% de probabilidade.

Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the t test at 95% probability.

Quando realizado desbaste em florestas nativas de *Araucaria angustifolia* deve-se ter grande cuidado para não danificar a área de copas das árvores jovens, para que essas mantenham todo o seu potencial de crescimento. Em caso contrário, a perda de área foliar pela desrama artificial diminui a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (TAIZ et al., 2017), reduzindo a produção de fotoassimilados e, consequentemente, resultando em menores incrementos em diâmetro e perda do potencial de crescimento. Para o presente estudo, não se tem informações se esses cuidados foram tomados quando o desbaste foi realizado próximos às araucárias, principalmente das mais jovens e com menores alturas.

A tendência de diminuição do número de árvores nas classes de menor diâmetro pode ser explicada, pelo fato de *Araucaria angustifolia* ser uma espécie pouco tolerante à sombra, especialmente na fase juvenil, apresentando regeneração fraca em ambientes pouco perturbados. Esse fato pode justificar o manejo racional da floresta como uma tática para perpetuar certas espécies em seu habitat, que precisam de luz para a germinação e desenvolvimento inicial (SANQUETTA; MATTEI, 2006). Isso comprova que o manejo das florestas com *Araucaria angustifolia* deve ser prática indispensável para a perpetuação dessa espécie, porém deve-se tomar muito cuidado com sua execução, para que esses não ocasionem danos severos às árvores remanescentes, para que elas mantenham seu potencial de crescimento.

A partir de 2010 recomenda-se o manejo na área amostrada para favorecer a retomada de maiores incrementos nas árvores remanescentes e aumentar o ingresso da regeneração. Para a utilização perpétua da araucária como fonte madeireira na área avaliada, outras pesquisas sobre a sua regeneração natural devem ser efetuadas, pois remanesceu reduzido número de árvores nas menores classes diamétricas.

CONCLUSÕES

A maioria das distribuições (Gamma 2P e 3P, Beta, Burr 3P e LogNormal) foi flexível para representar os incrementos em diâmetro de *Araucaria angustifolia* em pré e pós desbaste.

A função densidade de probabilidade selecionada para os dados pré e pós desbaste foi a Gamma 3P, possibilitando identificar que: (i) a amplitude dos incrementos diamétricos foi maior antes do desbaste, ocasionando, assim, assimetria negativa à sua distribuição e (ii) todas as distribuições apresentaram curtose platicúrtica.

A média, mediana e moda calculadas para a distribuição Gamma 3P foram menores para os incrementos pós desbaste, devido tais estimadores terem sido influenciados pelas medições efetuadas em árvores remanescentes com menor diâmetro.

A redução da média em incremento com o aumento da idade das árvores mostra a necessidade de intervenções silviculturais. Nas condições atuais dessa floresta, sem a aplicação de manejo florestal, é possível ocorrer baixo ingresso de regeneração natural, resultando diminuição contínua do número de árvores nas menores classes de diâmetro. As práticas de manejo devem propiciar o aumento de plantas jovens e continuo ingresso delas nas classes de diâmetro subsequentes. Uma alternativa para essa técnica de manejo é o enriquecimento da floresta com mudas de araucária de diferentes procedências, visando aumentar a sua variabilidade genética.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTHELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; OLIVEIRA, E. B. A distribuição diamétrica para bracingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 305-323, 2004.
- BAUHUS, J. Rooting patterns of old-growth forests: is aboveground structural and functional diversity mirrored belowground? In: WIRTH, C.; GLEIXNER, G.; HEIMANN, M. (Eds.), **Oldgrowth Forests**. Amsterdam: Springer, 2009. p. 211-229.
- BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006** – dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 30 jul. 2018.
- CAO, Q. V. Predicting Parameters of a Weibull Function for Modeling Diameter Distribution. **Forest Science**, v. 50, p. 682-685, 2004.
- CARVALHO, S. P. C.; MENDONÇA, A. R.; LIMA, M. P.; CALEGARIO, N. Different strategies to estimate the commercial volume of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 399-406, 2010.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 2.ed. São Paulo: Editora Blücher, 2002. 258 p.
- DE LIOCOURT, F. De l'amenagement dessa pinieres. **Bulletin trimestriel**, Besançon, p. 396-409, 1898.
- LINTAB. **Tree-ring measurement station**. Rimmtech: Heidelberg. Germany, 2000.
- LOUREIRO, G. H.; CURTO, R. A. DE; PÉLICO NETTO, S.; ROSOT, N. C.; MARANGON, G. P. Ajuste de funções de distribuição diamétrica para um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze antes e após desbaste. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p. 56-68, 2013.
- MACHADO, S. A.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÊO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.
- MACHADO, S. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDOFILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.
- MACHADO, S. A.; SANTOS, A. A. P.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; ZAMIN, N. T. Modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies de *Lauraceae* em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 12, n. 1, p. 91-105, 2010.
- MENDONÇA, A. R.; FERNANDES DA SILVA, G.; SILVA OLIVEIRA, J. T.; SARAIVA NOGUEIRA, G.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, Lavras, v.13, n. 1, p. 71-82, 2007.

MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forest. **Journal of Forestry**. Bethesda, v. 50, n. 2, p. 85-92, 1952.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do planalto serrano, SC**. 2015. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; DIAS, A. N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.

PEARSON, K. R. Skew variation, a Rejoinder. **Biometrika**, London, v. 4, p. 169-212, 1905.

PRETZSCH, H.; BIBER, P.; SCHUTZE, G.; UHL, E.; ROTZER, T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. **Nature Communications**. v. 5, p. 4967, 2014a.

PRETZSCH, H.; HEYM, M.; PINNA, S.; SCHNEIDER, R., Effect of variable retention cutting on the relationship between growth of coarse roots and stem of *Picea mariana*. **Scandinavian Journal of Forest**, v. 29, p. 222-233, 2014b.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; PELISSARI, A. L.; CORTE, A. P. D.; PÉLLICO NETTO, S.; SIMON, A. A. Probabilistic distributions for *Acacia mearnsii* de Wild total height and the influence of environmental factors. **Journal of Applied Mathematics and Physics**, v. 2, p. 1-10, 2014.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: FUPEF, 2006. 250p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. Á.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, EMBRAPA, 2013. 353 p.

SCHIKOWSKI, A. B.; MARTINS, A. P. M.; SCHIAVO, B. N. V.; STANG, M. B.; CORTE, A. P. D.; PÉLLICO NETTO, S.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica da distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta ombrófila mista no Paraná. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 163-182, 2016.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

STEFENON, V. M.; GAILING, O. Y.; FINKELDEY, R. Genetic structure and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). **Forest Ecology and Management**, n. 255, p. 2718-2725, 2008.

STURGES, H. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

SULLIVAN T. P.; SULLIVAN, D. S. Acceleration of old-growth structural attributes in lodgepole pine forest: Tree growth and stand structure 25 years after thinning. **Forest Ecology and Management**, n. 365, p. 96-106, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VENDRUSCOLO, R. **Dinâmica fitossociológica e de crescimento de um fragmento florestal manejado em 1993, no noroeste do RS**. 2015. 77 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2015.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioiccia**. 2007. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

Recebido em: 15/05/2018

Aceito em: 16/04/2019