

PROCEDIMENTOS DE AJUSTE DA FUNÇÃO WEIBULL PARA PROGNÓSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

Renato Vinicius Oliveira Castro¹; Josiane Silva Bruzanga^{2*}; Fabrícia Conceição Menez Mota³; Glauce Taís de Oliveira Sousa Azevedo⁴; Gileno Brito de Azevedo⁴; Hélio Garcia Leite⁵; Antonilmar Araujo Lopes da Silva⁷

SAP 15035 Data envio: 31/08/2016 Data do aceite: 18/09/2017

Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 528-534, 2017

RESUMO - Este trabalho avaliou a prognose da distribuição diamétrica de povoamentos de *Eucalyptus* spp., utilizando a função de densidade de probabilidade Weibull, com dois e três parâmetros e dois sistemas de equações para a prognose florestal (Sistemas I e II), sendo o Sistema I composto por um maior número de variáveis do povoamento. Foram utilizados dados de 791 parcelas permanentes, mensuradas em idades de 25 a 122 meses. A função de dois parâmetros foi ajustada pelos métodos da máxima verossimilhança e aproximação linear e a de três parâmetros apenas pelo método da máxima verossimilhança. A qualidade dos ajustes das funções Weibull foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,01$). Para o ajuste dos sistemas de equações selecionou-se aleatoriamente 551 parcelas e para a validação dos dados, as 240 parcelas restantes. A qualidade dos ajustes das equações dos sistemas foi avaliada a partir de gráficos de distribuição dos resíduos, coeficiente de correlação (r), raiz quadrada do erro médio (RQEM), média das diferenças percentuais (MDP) e bias. A f.d.p. de Weibull de três parâmetros ajustada pelo método da máxima verossimilhança fazendo uso do sistema II, é o procedimento mais indicado para a prognose de povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* não desbastados.

Palavras-chave: Função de densidade de probabilidade, métodos de ajuste, modelagem da produção florestal.

WEIBULL FUNCTION ADJUSTMENT PROCEDURES FOR PROGNOSING DIAMETER DISTRIBUTION OF EUCALYPTUS PLANTATIONS

ABSTRACT - This study evaluated the prognosis of the diameter distribution of forest stands of *Eucalyptus* spp., using the Weibull probability density function, with two and three parameters and two systems of equations for forest prognosis (Systems I and II), the System I made by a larger number of stand variables. We used data of 791 permanent plots measured at ages 25-122 months. The two-parameter function was fitted by maximum likelihood methods and linear approach and the three parameters only by the maximum likelihood method. The quality of the settings of the Weibull function was assessed using the Kolmogorov-Smirnov test ($\alpha = 0.01$). To adjust the equation systems were randomly selected 551 plots and to validate the data, the 240 remaining installments. The quality of the adjustments of system equations was evaluated from the distribution of residuals charts, correlation coefficient (r), square root of the mean error (RQEM), average percentage differences (MDP) and bias. The f.d.p. Weibull three parameters set by the maximum likelihood method making use of System II is the most suitable procedure for the prognosis of clonal stands of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* unthinned.

Key words: probability density function, adjustment methods, modeling of forest production.

INTRODUÇÃO

Os modelos de crescimento e produção florestal são importantes para descrever a estrutura e o comportamento da floresta, bem como realizar a prognose da produtividade. Esses modelos podem ser classificados em modelos em nível de povoamento total, de classe diamétrica e de árvores individuais (SANQUETTA, 1996;

ABREU et al., 2002; CASTRO et al., 2013). A modelagem de distribuição diamétrica (MDD) permite obter a probabilidade das árvores ocorrerem dentro de determinados intervalos de diâmetros (MACHADO et al., 2010).

Segundo Schneider et al. (2008), no manejo florestal, é imprescindível dominar uma metodologia que

¹Universidade Federal de São João Del-Rei, UFSJ, Departamento de Ciências Agrárias, CEP 35701-970, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: castrorvo@ymail.com

²Serviço Florestal Brasileiro, CEP 70.818-900, Edifício Sede do IBAMA, SCEN, Av. L4 Norte, trecho 2, bloco A, Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: bruzinganet@yahoo.com.br. *Autor para correspondência

³Dra. em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília, UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: fabriciacmm@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, campus de Chapadão do Sul, CEP 79560-000, Zona Rural, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: gilenoba@hotmail.com; gtosousa@gmail.com

⁵Universidade Federal de Viçosa, UFV, Departamento de Engenharia Florestal, CEP 35760-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: hgleite@ufv.br

⁶Dr. em Engenharia Florestal, Cenibra, BR 381 Km, 172 s/n, CEP 35195-000, Belo Oriente, Minas Gerais, Brasil. E-mail: antonilmar.silva@cenibra.com.br

estime com precisão esses intervalos, para fins de determinação de sortimentos de madeira, estoque, prognose e avaliação econômica. A caracterização da produção por classe diamétrica permite ainda avaliar o comportamento do povoamento em função da aplicação das prescrições de manejo.

A MDD é processada empregando-se uma função densidade de probabilidade (f.d.p.). De acordo Binoti et al. (2013), a precisão das estimativas por classe diamétrica é influenciada pela escolha da f.d.p. que melhor descreva os dados observados e seus parâmetros em idades futuras. A f.d.p. deve apresentar boa aderência à estrutura diamétrica, e correlação significativa com os parâmetros do povoamento (BINOTI et al., 2015). Devido à sua flexibilidade e grau de associação entre seus parâmetros e atributos dos povoamentos, a f.d.p. de Weibull é a mais utilizada no setor florestal (MIGUEL et al., 2010; CAMPOS; LEITE, 2013).

O ajuste da função Weibull pode ser realizado por diferentes métodos, dentre os quais se destacam o método da máxima verossimilhança, percentis, momentos e aproximação linear (CAMPOS; LEITE, 2013). Segundo Finger (1982), o ajuste pelo método da máxima verossimilhança se adéqua melhor às estimativas e com menor tendenciosidade, quando comparados aos demais métodos, porém, para Leite et al. (2010), o ajuste pelo método da aproximação linear é mais simples e didático.

Para estimar os parâmetros da f.d.p nas idades futuras podem ser empregados diferentes sistemas de equação, os quais relacionam os parâmetros da função aos atributos do povoamento. A escolha da f.d.p, do método de ajuste e do sistema de equação pode ser determinante na precisão da prognose dos atributos do povoamento florestal. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a prognose da distribuição diamétrica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp., considerando diferentes métodos de ajuste da função densidade de probabilidade de Weibull com dois e três parâmetros, e dois Sistemas de equações.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos de inventário florestal contínuo de clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* não desbastados, realizado entre os anos de 2001 e 2006. O povoamento possui 4.162 ha, está inserido na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, no município de Santa Bárbara, e possui espaçamento médio de 3,0 x 3,0 m. A produtividade média de madeira considerando um diâmetro mínimo de 4 cm com casca aos 7 anos varia entre 27 e 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Os solos predominantes são do tipo LATOSSOLO, temperaturas mínima e máxima são de 17 e 27 °C (média

anual de 22 °C), respectivamente, com umidade relativa média de 65% e precipitação média anual de 1.440 mm.

Foram utilizados dados de 791 parcelas permanentes com dimensão média de 295 m², as quais foram mensuradas em idades de 25 a 122 meses, sendo cada parcela medida no mínimo em três ocasiões. Em cada ocasião foi obtido o diâmetro dos indivíduos a 1,30 m de altura (DAP), considerando o nível de inclusão de 4 cm.

As árvores, em cada parcela e em cada idade, foram agrupadas em classes com amplitude de 2,0 cm de diâmetro (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2010), sendo o limite inferior da primeira classe definido com base no diâmetro mínimo observado. O agrupamento resultou em 16 classes diamétricas, em que o centro de classe variou de 5 a 35 cm.

Com o objetivo de avaliar a dinâmica da distribuição diamétrica do povoamento foi ajustada a função densidade de probabilidade de Weibull com dois e três parâmetros, definidas por Bailey e Dell (1973):

- Função Weibull de dois parâmetros:

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

- Função Weibull de três parâmetros:

$$f(X) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{X - \alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{X - \alpha}{\beta}\right)^\gamma} \quad (2)$$

Em que: $f(X)$: frequência de árvores na classe de DAP X ; X : centro de classe de diâmetro, em cm; α : parâmetro de locação; β : parâmetro de escala; γ : parâmetro de forma.

A fim de verificar a influência dos métodos de ajuste nas diferentes formas da função densidade de probabilidade de Weibull, utilizou-se para o ajuste da função de dois parâmetros os métodos da máxima verossimilhança (GOVE; FAIRWHEATER, 1989) e aproximação linear (CAMPOS; LEITE, 2013) e para a função de três parâmetros, o método da máxima verossimilhança, resultando em três métodos de ajustes da função.

Os métodos foram aplicados a 70% das parcelas (551), selecionadas ao acaso. Sendo três ajustes para cada parcela em cada ano de medição, totalizando 6.969 ajustes. A aderência dos dados às distribuições de Weibull foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,01$). E para projeção dos parâmetros foram avaliados dois Sistemas de equações (NOGUEIRA et al., 2005; BINOTI et al., 2010), resultando em seis procedimentos (Tabela1).

TABELA 1. Procedimentos de ajuste da função Weibull e sistemas de prognose da distribuição diamétrica de um povoamento de *Eucalyptus* spp.

Procedimento	Forma da função Weibull	Método de Ajuste	Sistemas de equação
1	Dois parâmetros	Aprox. Linear	I
2	Dois parâmetros	Aprox. Linear	II
3	Dois parâmetros	Max. Verossimilhança	I
4	Dois parâmetros	Max. Verossimilhança	II
5	Três parâmetros	Max. Verossimilhança	I
6	Três parâmetros	Max. Verossimilhança	II

Os Sistemas de equações utilizados são definidos por:

- Sistema I (BINOTI et al., 2010):

$$d \max_2 = d \max_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) q \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) d \min_2 \quad (4)$$

$$\ln \beta_2 = \ln \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) d \max_2 \quad (5)$$

$$\ln \gamma_2 = \left(c_4 \cdot e^{-(c_5)(I_2^{c_6} - I_1^{c_6})} \right) + c_7 \beta_2 + c_8 \ln \gamma_1 \quad (6)$$

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-(c_9)(I_2^{c_{10}} - I_1^{c_{10}})} \quad (7)$$

- Sistema II (NOGUEIRA et al., 2005):

$$d \max_2 = d \max_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 \quad (8)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot e^{-(c_2)(I_2^{c_3} - I_1^{c_3})} \quad (9)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) d \max_2 \quad (10)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 \cdot e^{-(c_5)(I_2^{c_6} - I_1^{c_6})} \quad (11)$$

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-(c_7)(I_2^{c_8} - I_1^{c_8})} \quad (12)$$

Em que: $d \max_1$ e $d \max_2$: diâmetros máximos nas idades atual e futura, em cm; I_1 e I_2 : idades atual e futura, em meses; q é o diâmetro médio quadrático; α_1 e α_2 : parâmetros de locação da função nas idades atual e futura; $d \min_2$: diâmetro mínimo na idade futura; β_1 e β_2 : parâmetros de escala da função nas idades atual e futura; γ_1 e γ_2 : parâmetros de forma da função nas idades atual e futura; N_1 e N_2 : são as frequências de árvores por hectare nas idades atual e futura; e c_i = coeficientes das equações.

O ajuste das equações foi realizado no software Statistica 8.0 (STATSOFT INC, 2008), utilizando o algoritmo Quasi-Newton com 1.000 iterações. Para identificar possíveis tendências nas estimativas das variáveis, além da distribuição gráfica dos resíduos, foram obtidas as estatísticas: coeficiente de correlação (r), raiz quadrada do erro médio (RQEM), média das diferenças percentuais (MDP) (MURPHY; STERNITZKE, 1979) e bias (SIIPILEHTO, 2000), definidos por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})^2 \right)}} \quad (13)$$

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (14)$$

$$MDP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) 100 \quad (15)$$

$$MDP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right) 100 \quad (16)$$

Em que: n : número de observações; Y_i : valores observados para as variáveis; \hat{Y}_i : valores estimados para as variáveis.

Para validar a precisão da prognose (número de indivíduos por classe diamétrica em idades futuras) foram utilizados os 30% restantes das parcelas (240) não incluídas nos ajustes. E para simular o número de indivíduos por hectare em cada classe diamétrica foi utilizado a função em sua forma acumulativa considerando o limite inferior e superior de cada classe diamétrica, de acordo com Campos e Leite (2013). Em seguida, os valores estimados foram comparados com os valores observados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,01$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes da função Weibull obtiveram boa aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,01$). A maior aderência foi observada para a função de três

parâmetros, ajustadas pelo método da máxima verossimilhança, com 96% dos valores não significativos, o que demonstra a aderência da função aos dados observados. Já a função de dois parâmetros ajustada pelo método da máxima verossimilhança foi observada a menor aderência aos dados, com 76% dos valores não significativos.

Campos e Leite (2013) mencionam que em testes realizados com diversas bases de dados de povoamentos

clonais de eucalipto, de *Tectona grandis* e de *Pinus* sp., com diferentes arranjos espaciais e idades, com e sem a aplicação de desbaste, o ajuste por aproximação linear sempre resultou em menor exatidão quando comparado aos ajustes pelo método da máxima verossimilhança. Neste estudo, o ajuste da função de dois parâmetros por aproximação linear foi mais precisa que o ajuste pelo método da máxima verossimilhança (Tabela 2), com 83% dos valores não significativos.

TABELA 2. Estatísticas de precisão para as equações dos sistemas de equação da distribuição diamétrica, para os seis procedimentos analisados.

Procedimentos	Variável estimada	r	RQEM	MDP	BIAS
1	$dmax_2$	0,9455	1,1133	0,4604	0,1304
	β_2	0,8291	1,6741	-0,4980	-0,1063
	γ_2	0,8959	1,4315	-1,9419	0,1357
2	$dmax_2$	0,9339	1,2368	0,6774	0,1777
	β_2	0,8777	1,1227	-0,2993	-0,0037
	γ_2	0,8925	1,4226	-1,3078	0,0824
3	$dmax_2$	0,9455	1,1133	0,4604	0,1304
	β_2	0,8643	1,3634	-1,0839	0,0008
	γ_2	0,8673	0,4571	0,2088	0,0722
4	$dmax_2$	0,9269	1,5117	1,4924	0,2765
	β_2	0,8608	1,7096	10,1843	1,1315
	γ_2	0,8623	0,4604	-0,5378	0,0276
5	$dmax_2$	0,9455	1,1133	0,4604	0,1304
	α_2	0,9217	1,0570	-5,3857	-0,1065
	β_2	0,8676	1,3816	-0,9901	0,0010
6	γ_2	0,7468	0,3763	0,1166	0,0353
	$dmax_2$	0,9312	1,4826	1,4205	0,2558
	α_2	0,8898	1,2503	-1,8326	0,0743
1, 2, 3, 4, 5 e 6	β_2	0,8715	1,2568	-2,3790	0,0123
	γ_2	0,7442	0,3737	-0,0884	0,0324
	N_2	0,9675	73,3460	-0,1417	1,9740

Em que: r: coeficiente de correlação; RQEM: raiz quadrada do erro médio; MDP: média das diferenças percentuais.

De forma geral, todas as equações e procedimentos de ajuste proporcionaram boas estatísticas de precisão (Tabela 2), o que, segundo Nogueira et al. (2005), é recomendável, pois indica que as variáveis independentes utilizadas nas equações têm grande influência nas variáveis dependentes. O coeficiente de correlação variou de 0,7442 a 0,9675, sendo este verificado para a variável N_2 , que é comum a todos os procedimentos. Para as demais variáveis, em todos os procedimentos analisados, os maiores valores de correlação foram observados para a variável $dmax_2$, e os

menores para variável β_2 , exceto para os procedimentos 5 e 6, únicos estimados pela f.d.p. de Weibull com três parâmetros.

De acordo com a distribuição gráfica dos resíduos apresentados na Figura 1, verificou-se uma distribuição aceitável para os seis procedimentos analisados. Em geral, houve um bom grau de ajustamento das equações às variáveis independentes dos modelos que compuseram os Sistemas, sendo que para os procedimentos 5 e 6 (com três parâmetros) as estimativas das variáveis apresentaram maior consistência e precisão.

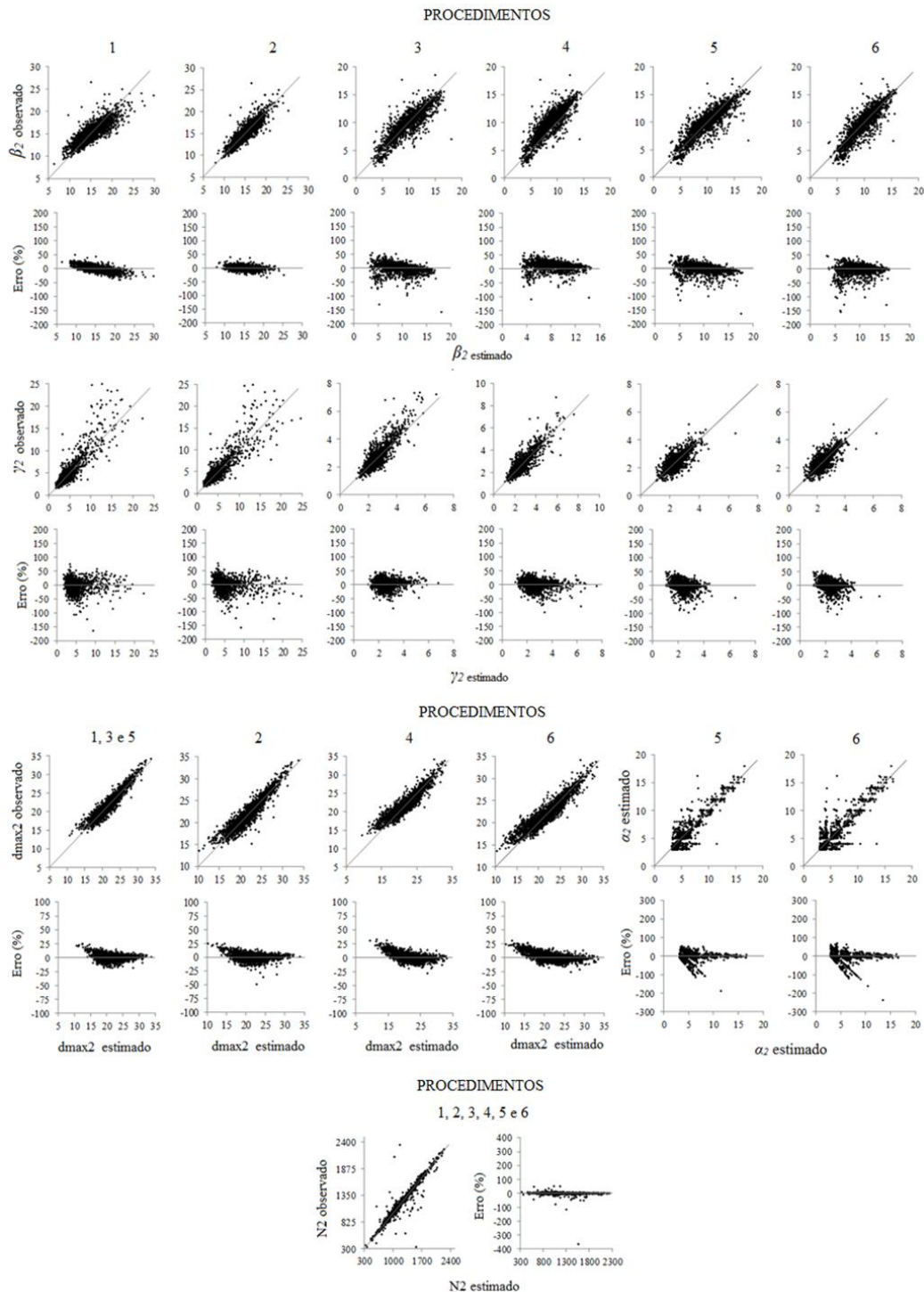


FIGURA 1 - Distribuição gráfica dos resíduos para as equações que compõe cada procedimento.

Binoti et al. (2010) também verificaram que as estimativas foram precisas e consistentes ao utilizar a função Weibull de três parâmetros para povoamentos de eucalipto submetidos ao desbaste. Mota et al. (2015) ao empregar a função Weibull obtiveram melhor eficiência na modelagem em *E. urophylla*. Essa função, novamente mostrou-se mais precisa quando comparado com as f.d.p. Beta e Sb Johnson, para a prognose do volume por classe diamétrica *E. grandis* (ABREU et al. 2002).

As prognoses foram feitas a partir da primeira medição de cada parcela selecionada para a validação nas

idades futuras que foram remeidas. É possível verificar que prognoses para até cinco períodos (5 anos) apresentam alta precisão pelos procedimentos 1, 2, 5 e 6, com alta frequência de parcelas que não apresentaram diferença significativa em relação às distribuições observadas (Figura 2). Já nos procedimentos 3 e 4, tal frequência foi sempre menor que nos demais procedimentos em todas as simulações, sendo inclusive menor que 50% no procedimento 4.

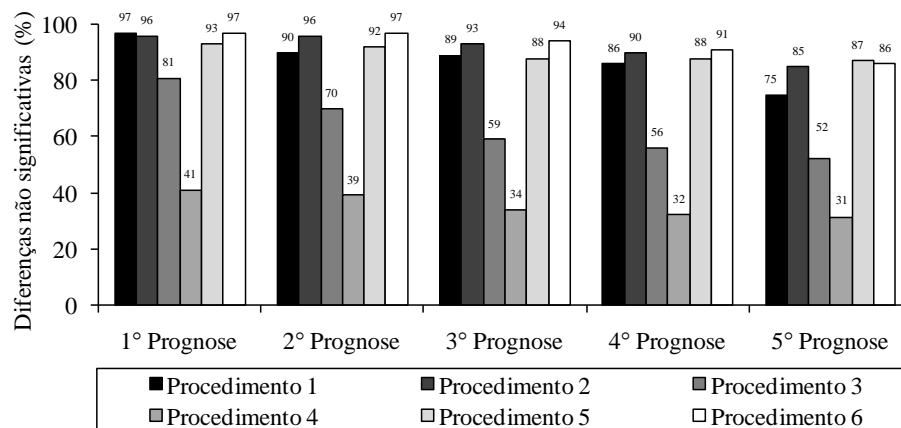


FIGURA 2 - Porcentagem de parcelas em que a projeção não diferiu significativamente dos valores observados, para cinco períodos de projeção (5 anos), para cada procedimento de modelagem.

Para os procedimentos 1, 2, 5 e 6, apesar da pequena variação existente entre a frequência de estimativas com diferenças não significativas entre os valores observados e estimados, a f.d.p. de Weibull se ajustou adequadamente aos dados observados e os Sistemas foram eficientes para realização da prognose.

Já para os procedimentos 3 e 4, foram verificadas estimativas inconsistentes e imprecisas em todas as classes de idade, com forte tendência em superestimar as frequências em classes de diâmetros inferiores e subestimar as frequências em classes de diâmetros superiores. A função Weibull se mostra sensível às características do tipo de povoamento.

Machado et al. (2009), ao avaliarem diferentes f.d.p. para a distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia*, verificaram que a função de Weibull com dois parâmetros apresentou um dos piores desempenhos nas estimativas do número de árvores por classe de diâmetro. Porém, Arce (2004) concluiu que essa função é flexível e caracterizada por apresentar excelentes estatísticas de ajuste para estimar as distribuições diamétricas de clones de *Populus deltoides* do primeiro ao nono ano de idade, o que não foi observado neste estudo para povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Ponderando os resultados obtidos nas estatísticas de precisão, distribuição gráfica dos resíduos e a aderência dos dados estimados aos observados na validação, para as condições em que foi realizado este estudo, recomenda-se para a prognose da distribuição diamétrica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp., a utilização do procedimento 6. Este procedimento consiste em utilizar a f.d.p. de Weibull de três parâmetros ajustado pelo método da máxima verossimilhança, considerando Sistema II para a obtenção dos parâmetros da função. O Sistema selecionado para esse procedimento com as equações ajustadas foi:

$$d \max_2 = d \max_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,338102 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 \quad r = 0,9312 \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot e^{(-98,997884)(I_2^{-1,742316} - I_1^{-1,742316})} \quad r = 0,8898 \quad (18)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 0,626373 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) d \max_2 \quad r = 0,8715 \quad (19)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 \cdot e^{(-1,03150)(I_2^{0,151815} - I_1^{0,151815})} \quad r = 0,7442 \quad (20)$$

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-(0,000129)(I_2^{1,262689} - I_1^{1,262689})} \quad r = 0,9675 \quad (21)$$

A prognose obtida por meio do procedimento 6 para uma das parcelas da validação selecionada ao acaso é apresentada na Figura 3. É possível observar que as curvas de distribuição diamétrica variaram de forma com o aumento da idade, se tornando mais achatada e com maior escala, o que indica que as árvores apresentaram incremento em diâmetro e migraram de classe, o que resultou em novas classes diamétricas contempladas. As classes de diâmetro inferiores quase não variaram quanto ao número de indivíduos por classe, uma vez que estas permaneceram nas classes menores, pois o incremento em diâmetro não é significativo para mudarem de classe, pelo fato de serem suprimidas ou dominadas pelas demais.

De acordo com Soares (2006), devido às florestas equiâneas tenderem a apresentar distribuições assimétricas a direita, em razão das maiores árvores apresentarem maiores taxas de crescimento do que as menores em consequência do efeito de competição, gera uma configuração que coincide com as condições ideais para o ajuste da função de Weibull.

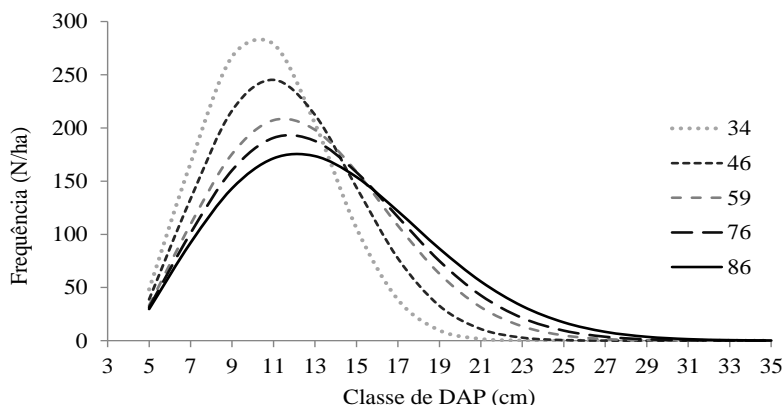


FIGURA 3 - Simulação do crescimento médio em nível de distribuição diamétrica estimados pelo procedimento 6.

CONCLUSÕES

A f.d.p. de Weibull de três parâmetros ajustada pelo método da máxima verossimilhança fazendo uso do Sistema II, é o procedimento mais indicado para a prognose de povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* não desbastados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, E.C.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; KANEGAE JÚNIOR, H. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.61, p.86-102, 2002.
- ARAÚJO JÚNIOR, A.C.; NOGUEIRA, G.S.; OLIVEIRA, M.L.R.; MIRANDA, R.O.V.; CASTRO, R.V.O.; PELLI, E. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.11, p.1275-1281, 2010.
- ARCE, J.E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p.149-164, 2004.
- BAILEY, R.; DELL, T. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, New Orleans, v.19, n.2, p.97-104, 1973.
- BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.S.; LEITE, H.G. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos de eucalipto utilizando a função logística generalizada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.4, p.707-711, 2015.
- BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.S.; LEITE, H.G.; SILVA, A. Modelos de distribuição de diâmetros utilizando a função log gama. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.73, p.103-107, 2013.
- BINOTI, D.H.B.; LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; SILVA, M.L.M.; GARCIA, S.L.R.; CRUZ, J.P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.1, p.147-156, 2010.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e respostas**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.
- CASTRO, R.V.O.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, F.B.; LEITE, H.G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, p.287-295, 2013.
- FINGER, C.A.G. **Distribuição de diâmetros em Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) em diferentes povoamentos e idades**. 1982. 235p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.
- GOVE, J.H.; FAIRWEATHER, S.E. Maximum likelihood estimation of Weibull function parameters using a general interactive optimizer and grouped data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.28, n.1, p.61-99, jul. 1989.
- LEITE, H.G.; BINOTI, D.J.B.; GUIMARÃES, D.P.; SILVA, M.L.M.; GARCIA, S.L.R. Avaliação do ajuste das funções Weibull e Hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.305-311, mar./abr. 2010.
- MACHADO, S.doA.; AUGSTYNCZIK, A.L.; NASCIMENTO, R.G.M.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R.; MIGUEL, E.P.; TEO, S.J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktz. em um fragmento de floresta Ombrófila Mista. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.2, p.103-110, 2009.
- MACHADO, S.doA.; SANTOS, A.A.Pdos.; NASCIMENTO, R.G.Mdo.; AUGSTYNCZIK, A.L.; ZAMIM, 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.
- MIGUEL, E.P.; MACHADO, S.A.; FILHO, A.F.; ARCE, J.E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* stands. **Revista Cerne**, Lavras, v.16, n.1, p.94-104, jan./mar. 2010.
- MOTA, F.C.M.; IMAÑA-ENCINAS, J.M.; PEREIRA, R.S.; REZENDE, A.V.; MIGUEL, E.P. Modelaje de la distribución diamétrica de *Eucalyptus urophylla* a través de las funciones normal, Weibull y Sb Johnson en la región de Brasília, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21, p.2015-1325, 2015.
- MURPHY, P.A.; STERNITZKE, H.S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. New Orleans: US Department of Agriculture, 1979. 8p. (Research paper, 154).
- NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; CARVALHO, A.F.; SOUZA, A.L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.4, p.579-589, jul./ago. 2005.
- NOGUEIRA, G.S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003. 132p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- SANQUETTA, C.R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUFPEF, 1996. 49p.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; BERNETT, L.G.; SCHNEIDER, P.S.P.; FLEIG, F.D. Estimativa dos parâmetros da função de densidade probabilística de Weibull por regressão aninhada em povoamento desbastado de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.3, p.375-385, jul./set. 2008.
- SOARES, T.S. **Avaliação de modelos de distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto não desbastados**. 2006. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- SIIPILEHTO, J.A. Comparison of two parameter prediction methods for stand structure in Finland. **Silva Fennica**, Finland, v.34, n.4, p.331-349, 2000.
- STATSOFT INC. **Statistica data analysis system version 8.0**. Tulsa, 2008.