

Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*

Modeling early prognosis of volume per diametric class of *Eucalyptus grandis*

Elizabeth Costa Rezende Abreu
José Roberto Soares Scolforo
Antônio Donizette de Oliveira
José Marcio de Mello
Honório Kanegae Júnior

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo modelar os atributos da floresta: sítio, sobrevivência, relação hipsométrica genérica, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros; ajustar e selecionar funções probabilísticas como Beta, Weibull e S_B , por diferentes métodos; e avaliar a veracidade das prognoses e a eficiência do modelo para realizá-las precocemente. O estudo foi desenvolvido com dados de *Eucalyptus grandis* provenientes da empresa Votorantim Celulose e Papel S/A – VCP, situada no município de Luiz Antônio, no Estado de São Paulo. O desenvolvimento do estudo foi composto por cinco fases. Na fase 1 foi feita a classificação de sítio, utilizando o método da diferença algébrica, avaliando o desempenho de modelos em suas formas anamórficas e polimórficas. A fase 2 constituiu-se no desenvolvimento e seleção de modelos dos atributos do povoamento, sendo que o critério de seleção da equação mais precisa foi através do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão residual (S_{yx}) e distribuição gráfica dos resíduos. Na fase 3 modelos hipsométricos e polinômios de potência fracionária e inteira foram ajustados e selecionados para estimativa da altura e volume, respectivamente. Na fase 4 obteve-se o ajuste e seleção das distribuições diamétricas (Beta, Weibull e S_B Johnson, através de diferentes métodos de ajuste); e na fase 5 obteve-se a prognose do crescimento e da produção do volume. Para a avaliação da precisão da prognose, utilizaram-se as informações de cada parcela em sua primeira medição e a partir destas, efetuou-se a prognose para as idades nas quais estas foram remedidas. Pôde-se então confrontá-las com os volumes de cada parcela obtidos por ocasião do processamento do inventário. Para identificar a partir de que idade é possível efetuar prognoses precisas das produções de povoamentos de *Eucalyptus grandis* foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial (com dois fatores), em que cada parcela foi denominada de bloco. O fator 1 foram os métodos para estimar volume, e o fator 2 foram as classes de idade formadas por cinco níveis. Os principais resultados encontrados foram: as equações selecionadas para os atributos do povoamento propiciaram estimativas precisas; a função de distribuição de Weibull, ajustada pelo método dos momentos mostrou-se a mais precisa; a prognose precoce do volume para o índice de sítio de 25,5m pode ser viabilizada da classe de idade de 26-33 meses para qualquer outra idade. Para o índice de sítio de 28,5m a prognose precoce é possível a partir da classe de

idades de 34 a 48 meses para as demais idades. Quando a idade de prognose estiver próxima da rotação, esta deverá ser viabilizada através das equações do povoamento; a prognose precoce, mostrou-se eficiente na estimativa de volume, propiciando erros médios de 2,39% e 4,82% nas estimativas do volume nos índices de sítio de 25,5m e 28,5m, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem da produção do volume, Prognose precoce do volume, Distribuição diamétrica

ABSTRACT: This study aimed at modelling the features of forest: site, survival, generic hypsometric ratio, minimum and maximum diameter, variance of diameters, basal area and arithmetic mean of diameters, adjusting and selecting probabilistic functions as Weibull, S_b and Beta by different methods and evaluating the veracity of the prognoses and the model potency to accomplish them at young ages. The study was developed using data of *Eucalyptus grandis* plantation belonging to Votorantim Celulose e Papel S/A - VCP, located in Luiz Antonio county, in São Paulo State. The study encompassed five phases. In phase 1 it was done the site classification by utilizing the method of the algebraic difference, evaluating the performance of the models in their anamorphic and polymorphic form. Phase 2 related to the development and selection of the models of the features of the stand. The most exact equation was selected through the determination coefficient (R^2), residual standard error (S_{yx}) and graphical distribution of residues. In phase 3, hypsometric models and fractional and integer potency polynomial were utilized for estimating height and volume, respectively. Phase 4 related to adjustment and selection of the diameter distributions (Beta, Weibull and S_b Johnson, (in the several adjustment forms). Phase 5 was the prognosis of the volume growth and yield. For evaluating the precision of the prognosis, data of its first mensuration were used, then the prognosis was made for the ages in which the stands were measured again. Therefore, the volumes obtained by the inventory were compared. To identify from wish age it is possible to make a precise prognosis it was used in random blocks experimental using in factorial scheme (with two factors). Each sample unit (plot) represented a block. The factor 1 went the methods to estimate volume, and the factor 2 were the classes of age formed by five levels. The main results found were: the selected equations allowed precise estimatives of the features of the stand; the Weibull distribution function, adjusted by the method of the moments showed more precise; the early prognosis of the volume for site index of 25,5m can be made from the class of 26-33 months for any other age. For site index of 28,5m the early prognosis is possible starting from 34 to 48 months age classes. Again, for prognosis near the rotation age, the stand equations should be used; the early prognosis showed efficient in estimating volume presenting average errors of 2,39% and 4,82% for the site indexes of 25,5 m and 28,5 m, respectively.

KEYWORDS: Volume production modeling, Early volume prognosis, Diametric distribution

INTRODUÇÃO

Diversos estudos, em todo o mundo estão sendo realizados utilizando a modelagem do crescimento e da produção, havendo duas grandes tendências: os modelos descritivos ou biométricos e os modelos baseados em processos ou mecanísticos.

Os modelos biométricos tentam representar indiretamente o efeito do ambiente e das práticas silviculturais no desenvolvimento das árvores de um povoamento florestal, utilizando

fontes de variação como o sítio, a área basal e a idade. Modelos com propriedades biológicas e amparados numa amostragem adequada, com informações precisas e remedições, propiciam prognoses do crescimento e da produção florestal com elevado grau de confiabilidade.

Estes modelos podem ser classificados em modelos para o povoamento, modelos por classe diamétrica e modelos para árvores individu-

ais. A partir deles pode-se prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem a qualidade do produto final como desbaste, rotação econômica ótima e planejamento da colheita. Com a prognose da produção é possível também viabilizar a adoção de um plano de suprimento através da otimização da produção ou ainda da minimização de custos.

Já os modelos baseados em processos são uma ciência em desenvolvimento crescente vinculada à fisiologia vegetal. Este ramo de conhecimento tem evoluído consideravelmente nos estudos de interação planta x solo x atmosfera, conferindo uma visão mais generalista e fisiologicamente embasada para estimativa de crescimento. Há também uma tendência de mesclar os modelos biométricos tradicionais com os modelos por processo (Reed, 1999; Kimmins et al., 1999; Burkhart, 1999), pois percebe-se que as duas filosofias de modelagem podem ser mutuamente complementares, se bem entendidas e analisadas.

Genericamente, a fase nos estudos ecofisiológicos é de pesquisa básica e os retornos de aplicação essencialmente práticas, são vislumbrados para horizontes mais distantes (Stape, 1999).

Os modelos descritivos reproduzem muito bem as situações do mundo real mas estritamente dentro da base de dados considerada na sua formulação (Burkhart, 1999).

Neste estudo procurou-se desenvolver um modelo biométrico baseado em distribuições diamétricas, assim como avaliar sua potencialidade para efetuar prognose precoce em plantios de *Eucalyptus grandis*, cujo ritmo de crescimento é acentuado na região noroeste do Estado de São Paulo. Os objetivos específicos foram: modelar os atributos da floresta: sítio, sobrevivência, relação hipsométrica genérica, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros, área basal e média

aritmética dos diâmetros; ajustar e selecionar funções probabilísticas como Beta, Weibull e S_B , por diferentes métodos; e avaliar a veracidade das prognoses e a eficiência do modelo para realizá-las precocemente.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com dados de *Eucalyptus grandis* provenientes da Votorantim Celulose e Papel S/A - VCP, situada no município de Luiz Antonio, no Estado de São Paulo.

A região apresenta precipitação média anual de 1450 mm, temperatura média anual de 22°C, altitude média de 700 m acima do nível do mar, nas coordenadas 21° 34'48" de latitude sul e 47° 35' 44" de longitude oeste.

Os dados deste estudo são provenientes de parcelas permanentes com forma retangular e área igual a 420 m². No total foram medidas 1320 parcelas, sendo que em 31 parcelas foi feita uma medição, em 434 parcelas foram feitas 2 medições, em 476 parcelas foram feitas 3 medições, em 300 parcelas foram feitas 4 medições e em 79 parcelas foram feitas 5 medições. A idade de medição variou de 19 meses a 103 meses.

Desenvolvimento dos modelos

Fase 1 - Classificação de sítio

A classificação de sítio foi possível após a seleção da equação que permitiu definir os limites inferior e superior de cada classe de sítio definidas para a idade de referência de 84 meses, que corresponde à idade de rotação adotada pelo empreendimento onde os dados foram obtidos. Os modelos avaliados neste estudo foram listados na Tabela 1. O método utilizado para construir as curvas de índice de sítio foi a diferença algébrica, utilizando-se pares, de altura média das árvores dominantes e idades sucessivas.

Tabela 1.

 Equações para expressar os índices de sítio
 (Site index equations)

Forma Geral	Anamórfica	Polimórfica
Schumacher (1)		
$H_d = \beta_0 e^{-\beta_1(1/l)}$	$H_2 = H_1 \exp\{\beta_1[(1/l_1) - (1/l_2)]\}$	$H_2 = \beta_0 (H_1/\beta_0)^{(l_1/l_2)}$
Schumacher (2)		
$\ln H_d = \beta_0 + \beta_1(1/l)^{\beta_2}$	$H_2 = H_1/e^{\beta_1(l_1^{-\beta_2} - l_2^{-\beta_2})}$	$H_2 = e^{\beta_0} (H_1/e^{\beta_0})^{(l_1/l_2)^{\beta_2}}$
Chapman-Richards		
$H_d = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 l}]^{\beta_2}$	$H_2 = H_1 [(1 - e^{\beta_1 l_2}) / (1 - e^{\beta_1 l_1})]^{\beta_2}$	$H_2 = \beta_0 (H_1/\beta_0)^{\ln[1 - \exp(-\beta_1 l_2)] / \ln[1 - \exp(-\beta_1 l_1)]}$
Bailey com três parâmetros (1980)		
$H_d = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 l^{\beta_2}}]$	$H_2 = H_1 [(1 - e^{\beta_1 l_2^{\beta_2}}) / (1 - e^{\beta_1 l_1^{\beta_2}})]$	$H_2 = \beta_0 \{1 - e^{\beta_1 [\ln(1 - (H_1/\beta_0))^{1/\beta_1}] (\ln l_2 / \ln l_1)}\}$
Bailey com quatro parâmetros (1980)		
$H_d = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 l^{\beta_2}}]^{\beta_3}$	$H_2 = H_1 [(1 - e^{\beta_1 l_2^{\beta_2}}) / (1 - e^{\beta_1 l_1^{\beta_2}})]^{\beta_3}$	$H_2 = \beta_0 (H_1/\beta_0)^{\ln(1 - e^{\beta_1 l_2^{\beta_2}}) / \ln(1 - e^{\beta_1 l_1^{\beta_2}})}$

Fonte: Scolforo (1997)

 H_d = média das alturas das árvores dominantes, em metros; l = idade do povoamento, em meses; e = base do logaritmo natural; β_0 , β_1 , β_2 e β_3 = parâmetros a serem estimados

Para a seleção da equação mais precisa, adotou-se a análise gráfica dos resíduos, o erro padrão da estimativa (Syx) e do coeficiente de determinação (R^2).

Adotou-se ainda o critério de verificar a estabilidade das médias das alturas das árvores dominantes das árvores de cada parcela, sujeita a várias medições entre os limites das curvas que expressam as classes de sítio. Para tal procedimento, foram utilizadas todas as parcelas envolvidas no estudo.

Fase 2 - Desenvolvimento ou seleção de modelos dos atributos do povoamento

Para estimar os atributos do povoamento, foram ajustados e selecionados modelos, dentre vários existentes na literatura florestal, para: sobrevivência de árvores, área basal, diâmetro máximo, média aritmética dos diâmetros, diâmetro mínimo e variância dos diâmetros. (Abreu, 2000; Campos, 1997; Cao, 1997; Cunha Neto, 1994; Guimarães, 1994; Leite, 1990;

Oliveira et al. (1998); Scolforo, 1990; Scolforo e Machado, 1996; Scolforo, 1998; Scolforo, 1999; Tabai, 1999; Thiersch, 1997; Zhou e McTague, 1996).

O diâmetro médio quadrático foi obtido, extraíndo-se a raiz quadrada da razão entre a área basal obtida da equação selecionada e o produto 0,0000785398 pelo número de árvores sobreviventes, também estimado por equação. Embora esta seja uma variável de fácil obtenção foi a partir dela que se obteve a compatibilidade entre a área basal do povoamento e a área basal do modelo por classe diamétrica.

O critério de seleção da equação mais precisa foi o coeficiente de determinação (R^2), erro padrão residual (Syx) e distribuição gráfica dos resíduos. Quando não se conseguiu ajustes satisfatórios para um atributo, foram desenvolvidos por "Stepwise" modelos para estimar a variável, como foi o caso do diâmetro mínimo, diâmetro máximo e variância dos diâmetros.

Fase 3 - Ajuste e seleção das distribuições diamétricas

As distribuições probabilísticas utilizadas para estimar a probabilidade de ocorrência do número de indivíduos em cada classe diamétrica, estão discriminadas na Tabela 2, com seus respectivos métodos de ajuste.

Para selecionar a distribuição que apresentou estimativas da frequência teórica semelhante ou não à frequência observada por classe diamétrica em cada parcela, foi utilizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 2.

Funções de densidade de probabilidade (fdp) testadas no estudo (Probability density functions (fdp) tested in the study)

Distribuições	
Beta	
Fdp	$\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \left(\frac{d-d_{\min}}{d_{\max}-d_{\min}} \right)^{a-1} \left(1 - \frac{d-d_{\min}}{d_{\max}-d_{\min}} \right)^{b-1} \left(\frac{1}{d_{\max}-d_{\min}} \right)$
Faixa	$d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$
Método de Estimativa - Momentos	
Estimativa de α ou de μ	$\frac{(\bar{d} - d_{\min})(d_{\max} - \bar{d})(\bar{d} - d_{\min}) - Sd^2}{Sd^2(d_{\max} - d_{\min})}$
Estimativa de β ou de σ^2	$\frac{(d_{\max} - \bar{d})(d_{\max} - \bar{d})(\bar{d} - d_{\min}) - Sd^2}{Sd^2(d_{\max} - d_{\min})}$
Parâmetros estimados na distribuição	$d_{\min}, d_{\max}, \hat{a}, \hat{\beta}$
Weibull	
Fdp	$f(x) = \left(\frac{c}{b} \right) \left(\frac{d-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{d-a}{b} \right)^c \right]$
Faixa	$a \leq d < \infty, a \geq 0, b > 0, c > 0$
Método de Estimativa - Momentos	
Estimativa de b ou de α	$\bar{d} = b G(1 + 1/c)$
Estimativa de c ou de β	$CV = \frac{Sd}{\bar{d}} = \frac{[\Gamma(1+2c) - \Gamma(1+1/c)]^{1/2}}{\Gamma(1+(1/c))}$
Parâmetros estimados da Distribuição	$\hat{a}, \hat{\beta}, \hat{g}$ além de ser vinculada ao d_{\min}
S_B Johnson	
Fdp	$\frac{d}{\sqrt{2p}} \frac{1}{(d-e)(l+e-d)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[g + \ln \left(\frac{d-e}{l+e-d} \right) \right]^2 \right\}$
Faixa	$\varepsilon < d < \varepsilon + \lambda \quad \lambda > 0$

Para Beta:

d = variável aleatória diâmetro; d_{\max} = valores de máximo da variável aleatória; d_{\min} = valores de mínimo da variável aleatória; S_d^2 = variância dos diâmetros; \bar{d} = média aritmética dos diâmetros; α, β = parâmetros a serem estimados, maiores que zero; Γ = função gama.

Para Weibull:

a = parâmetro de locação; b = parâmetro de escala; c = parâmetro de forma; Sd = desvio padrão da variável diâmetro; CV = coeficiente de variação; \bar{d}, d, Γ = já definidos anteriormente.

Tabela 2-Continuação.

 Funções de densidade de probabilidade (fdp) testadas no estudo
 (Probability density functions (fdp) tested in the study)

S_g Johnson	
Método de Estimativa - Máxima Verossilhança	
Estimativa de \hat{g}	$\hat{g} = -\bar{f}/Sf \therefore f_i = \ln[(d_i - e)/(e + I - d_i)] \quad i = 1, 2, \dots, m$
Estimativa de \hat{d}	$\hat{d} = 1/Sf \therefore \bar{f} = \frac{\sum f_i}{n} \therefore S^2f = \frac{1}{n} \sum (f_i - \bar{f})^2$
Método De Estimativa - Momentos	
Estimativa de \hat{g}	$\hat{g} = \ln\left[\frac{1-m}{m}\right] + \left[\frac{0,5-m}{d}\right] \therefore m = \frac{\bar{d}-e}{I}$
Estimativa de \hat{d}	$\hat{d} = \frac{m(1-m)}{Sd(x)} + \frac{Sd(x)}{4} \left[\frac{1}{m(1-m)} - 8 \right]$
Método de Estimativa - Knoebell-Burkhart	
Estimativa de \hat{g}	$\hat{g} = -d \ln\left[\frac{d_{50}-e}{e+I-d_{50}}\right] \therefore e = d_{\min} - 1,3$
Estimativa de \hat{d}	$\hat{d} = \frac{D_{95}}{\ln\left[\frac{d_{95}-e}{e+I-d_{95}}\right] - \ln\left[\frac{d_{50}-e}{e+I-d_{50}}\right]} \therefore I = d_{\max} - e + 3,8$
Método de Estimativa - Moda	
Estimativa de \hat{g}	$\hat{g} = 2d_m - 2e - I - d \ln\left[\frac{d_m - e}{I + e - d_m}\right]$
Estimativa de \hat{d}	$\hat{d} = \frac{I}{4s_x}$
Método de Estimativa - Regressão Linear	
Estimativa de \hat{g}	$\hat{g} = \bar{Z} + d\bar{f}$
Estimativa de \hat{d}	$\hat{d} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i Z_i - n\bar{f}\bar{Z}}{\sum_{i=1}^n f_i^2 - n\bar{f}^2}$
Parâmetros estimados da Distribuição	$d_{\min}, d_{\max}, \hat{g}, \hat{d}$

Para S_g Johnson:

ε = parâmetro de locação; λ = parâmetro de escala; δ = parâmetro que expressa a curtose; γ = parâmetro que expressa a assimetria; \bar{x} = média aritmética; \bar{f} = média aritmética da variável f_i ; f_i = transformação do diâmetro em cada árvore da parcela; d_i = diâmetro da árvore na parcela; S_f^2 = variância da variável f_i ; S_f = desvio padrão da variável f_i ; $S_d(x)$, s_x = desvio padrão dos diâmetros; d_{50} = diâmetro percentil 50; d_{95} = diâmetro percentil 95; d_m = é a moda de x ; \bar{Z} = média da variável normal padronizada; Z_i = variável normal padronizada; Z_{95} = variável normal percentil 95; \ln = logaritmo natural; n = número de árvores da parcela; \bar{d} , d , d_{\min} , d_{\max} = já definidos anteriormente

Especificamente para a distribuição S_B com ajuste pelo método dos momentos e da máxima verossimilhança, a obtenção do valor de “e” foi vinculada ao diâmetro mínimo da parcela. Para identificar qual a melhor relação percentual do diâmetro mínimo que explica “e” aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Foram testados os percentuais de 5 a 95% do d_{\min} em intervalo de 5%, valores estes que estão em conformidade com as propriedades da distribuição.

Para a distribuição Weibull com ajuste pelo método dos momentos, a obtenção do valor de “a” também foi vinculada ao diâmetro mínimo da parcela. Foram testados os valores percentuais de 0 a 100 do d_{\min} em intervalo de 5%, valores estes que estão em conformidade com as propriedades da distribuição.

A seleção do valor mais adequado para a estimativa do parâmetro “a” também foi feita através do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov.

Fase 4 - Modelos hipsométricos e as funções para estimativa do volume

Após estimada pela fdp selecionada, as classes diamétricas nas quais há probabilidade de ocorrência de árvores, é necessário estimar a média aritmética das alturas nos diferentes sítios, idades e níveis de densidade. Para tal foram ajustados os modelos hipsométricos disponíveis na literatura florestal conforme encontrado em Cao (1997), Cunha Neto (1994), Scolforo (1990), Scolforo (1998), Thiersch (1997), entre outros.

Foram também desenvolvidos modelos para estimar os múltiplos produtos da madeira. Foi utilizado para tal, o polinômio de potência fracionária e inteira, para o qual Hradetzki (1976) sugere o uso de potências fracionárias para representar a ponta da árvore, de potências unitárias inteiras para representar a porção intermediária das árvores e potências com a grandeza de dezena para representar a base da árvore. Esta metodologia tem sido estudada para espécies de rápido crescimento e os resulta-

dos são animadores como se pode verificar em Assis (1998), Ferreira (1998), Assis (2000), Fischer (1997), Goulding e Murray (1976), Rios (1997) e Scolforo et al. (1998), entre outros.

Sua forma geral é:

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_n}$$

sendo:

d_i = diâmetro à altura i

h_i = altura i

D = diâmetro a 1,30m de altura

H = altura total da árvore

b_i = coeficientes de regressão a serem estimados

p_i = expoentes variando entre 0,0005 e 25

Outras opções para estimar volume também foram utilizadas, conforme encontrado em Loetsch, Zoher e Haller (1973). Os modelos avaliados foram Schumacher e Hall; variável combinada; Meyer; Australiana; Ogaya e Takata.

As funções de afilamento ou de forma e os modelos volumétricos foram ajustados para três diferentes situações:

✓ equação para árvores cubadas rigorosamente aos 7 anos, cuja intensidade amostral foi de 60 árvores distribuídas nas diversas classes diamétricas;

✓ equação para árvores cubadas rigorosamente nas classes de idade ≤ 54 meses, de 55 a 77 meses e ≥ 78 meses, cuja intensidade amostral foi de 60 árvores por classe de idade;

✓ equação para árvores cubadas rigorosamente em toda amplitude de idade sem o controle das classes, cuja intensidade amostral foi 180 árvores.

Além da opção de estimar volume pela função de afilamento e pela equação de dupla entrada foram também avaliadas as estimativas propiciadas por duas equações do povoamento. Uma desenvolvida para a empresa no final da década de 80 e outra também desenvolvida para a empresa, no final da década de 90.

Equação VCP - década de 80:

$$V_{\text{pov}} = [7,7257 + (0,7937 * G * H_d)] * 0,5$$

Equação VCP - década de 90:

$$\ln V_{\text{pov}} = [0,227827 + 1,029971 * \ln(G) + 0,868136 * \ln(H_d) - 0,000001621084 * G * H_d] * 0,449011$$

em que:

V_{pov} = volume do povoamento (m³ por hectare)

G = área basal (m² por hectare)

H_d = altura (m)

\ln = logaritmo natural

Fase 5 - Prognose do crescimento e da produção

Para a obtenção da prognose do crescimento e da produção do volume por classe diamétrica para o povoamento de *E. grandis*, os atributos do povoamento (fase 1 e 2) foram prognosticados para a idade em que se deseja a projeção do volume e os parâmetros da distribuição selecionada (fase 3) foram então estimados. Com estes parâmetros estimados, pôde-se encontrar a probabilidade das árvores ocorrerem em cada classe diamétrica.

O produto desta probabilidade (fase 3) pelo número de árvores sobreviventes (fase 2) per-

mitiu estimar o número de árvores em cada classe diamétrica. Pode-se então, utilizando a equação hipsométrica genérica selecionada (fase 4), estimar a altura correspondente a cada centro de classe diamétrica. Assim, com o diâmetro e a altura, o volume foi estimado (fase 4) e extrapolado para o hectare ao efetuar o seu produto pelo número de árvores da classe.

Precisão da prognose

Para a avaliação da precisão da prognose, utilizaram-se as informações de cada parcela em sua primeira medição e a seguir efetuou-se a prognose para as idades nas quais estas foram remeidas. Pôde-se então confrontar os volumes de cada parcela obtidos por ocasião do processamento do inventário pela empresa, com os volumes prognosticados através das oito opções para estimar esta variável, conforme apresentado na Tabela 3.

Esta avaliação foi efetuada em dois níveis. O primeiro foi a avaliação da prognose a partir de idades precoce, por sítio. O segundo analisou os resíduos das prognoses efetuadas por sítio. Vale ressaltar que a idade de rotação média adotada na empresa é de 84 meses.

Tabela 3.

Descrição dos métodos do fator 1.
(Factor 1 method description)

Níveis	Métodos para quantificar volume
1	Volume processado no inventário ou volume tomado como base de comparação
2	Equação de volume gerada de árvores cubadas rigorosamente aos 7 anos
3	Equação de volume gerada de árvores cubadas rigorosamente para a classe de idade ≤ 54 meses, outra para a classe de idade de 55 a 77 meses e outra para as árvores com idades ≥ 78 meses
4	Equação de volume gerada de árvores cubadas rigorosamente em diferentes idades
5	Equação do povoamento da VCP-década de 80
6	Equação do povoamento da VCP-década de 90
7	Equação de afilamento gerada de árvores cubadas rigorosamente aos 7 anos
8	Equação de afilamento gerada de árvores cubadas rigorosamente para a classe de idade ≤ 54 meses, outra para a classe de idade de 55 a 77 meses e outra para as árvores com idades ≥ 78 meses
9	Equação de afilamento gerada de árvores cubadas rigorosamente em diferentes idades

Prognose precoce na estimativa do volume

Para identificar a idade possível de se obter prognoses da produção de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, com a precisão que satisfaça o usuário do modelo de prognose do crescimento e produção (SPPLYptus) foi utilizado o delineamento em blocos casualizados não balanceados, em esquema fatorial (com dois fatores), em que cada parcela foi considerada como bloco. O primeiro fator foram os 8 métodos para estimar o volume, apresentados na Tabela 3, e o segundo fator foram as classes de idade formadas por cinco níveis, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Esta análise foi realizada para os índices de sítio de 25,5 m e 28,5 m, em virtude de serem

Tabela 4.

Descrição dos níveis do fator 2.
(Factor 2 method description)

Níveis	Valor central das classes de idade	Classe de idade (meses)
1	29,5	26 - 33
2	41,0	34 - 48
3	53,5	49 - 58
4	63,5	59 - 68
5	-	> 68

aqueles que apresentavam um número de parcelas sujeitas a remedições, suficientemente grande para sustentar as análises e conclusões do estudo. Cada sítio foi submetido a três experimentos, a saber:

Experimento 1: Prognose a partir da classe de idade 26 a 33 meses para índice de sítio (S) 25,5 m.

Experimento 2: Prognose a partir da classe de idade 34 a 48 meses para índice de sítio (S) 25,5 m.

Experimento 3: Prognose a partir da classe de idade 49 a 58 meses para índice de sítio (S) 25,5 m.

Experimento 4: Prognose a partir da classe de idade 26 a 33 meses para índice de sítio (S) 28,5 m.

Experimento 5: Prognose a partir da classe de idade 34 a 48 meses para índice de sítio (S) 28,5 m.

Experimento 6: Prognose a partir da classe de idade 49 a 58 meses para índice de sítio (S) 28,5 m.

A análise de variância foi efetuada conforme esquema apresentado na Tabela 5.

Tabela 5.

Análise de variância, para a variável dependente volume, estimado através de funções de afilamento, equações volumétricas e equações do povoamento, após a realização de prognose a partir de idade precoce, para dois índices de sítio(S)
(Variance analysis for the independent variable volume estimated through taper equation and stand equation after prognosis in early ages for two site index (s))

Fonte de Variação (FV)	S= 25,5 m			S= 28,5 m		
	Experimento			Experimento		
	1	2	3	1	2	3
	GL	GL	GL	GL	GL	GL
Idade	4	5	3	4	4	4
Método	8	8	8	8	8	8
Idade x Método	32	40	24	32	32	32
Bloco	205	259	132	36	39	18
Erro	4475	3836	1596	783	537	198
Total	4724	4148	1763	863	620	260

No caso em que a interação foi significativa ao nível de 95% de probabilidade de acerto, procedeu-se ao desdobramento desta, aplicando-se o Teste de Scott-Knott (1974) para as médias dos volumes estimados. Quando a interação não foi significativa, aplicou-se o mesmo teste somente para o fator 1, ou seja, para os métodos de estimar volume. Este teste tem como característica básica sempre discriminar de forma clara que tratamentos são semelhantes, não permitindo interseção entre estas semelhanças, por ocasião da aplicação do teste de médias, o que nem sempre ocorre quando se utiliza Tukey, Duncan, ou Scheffé.

Análise gráfica dos resíduos

O método de estimação de volume que apresentou maior acuracidade para idade de prognose próxima à rotação (84 meses) é aquele para o qual é apresentada a distribuição gráfica dos resíduos. Quando mais de um método se mostrou adequado foi escolhido aquele cuja média foi a mais próxima à do tratamento considerado como base da comparação.

Sistema para prognose de crescimento e produção de *Eucalyptus* (SPP_{lyptus})

As equações dos atributos resultantes do estudo, a distribuição probabilística selecionada, a equação de sítio desenvolvida, a relação hipsométrica genérica selecionada e as diferentes equações para estimar volume foram catalogadas no software – Sistema de Prognose do Crescimento e Produção para *Eucalyptus* (SPPI_{lyptus}) desenvolvida por Scolforo (2001), para estimar as prognoses do crescimento e da produção para as diferentes condições de sítio, idade, densidade ou estágio de desenvolvimento do povoamento. Também a seleção da distribuição diamétrica se deu através do software – Sistema para Ajuste das Distribuições Diamétricas (SISADI) disponibilizado também por Scolforo (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seleção e desenvolvimento dos modelos para *Eucalyptus grandis*

Na Tabela 6 são apresentadas as equações selecionadas para a região de estudo. Parte destas equações permitirá efetuar a prognose dos atributos do povoamento desde que sejam fornecidas características do povoamento mensuradas nas parcelas do inventário florestal. O outro conjunto de equações permitirá obter a prognose dos atributos do povoamento a partir da idade zero. Este conjunto de equações permite principalmente que sejam simulados os efeitos de diferentes espaçamentos na produção, para cada índice de sítio.

Pode-se observar, nesta tabela, que a equação de sítio selecionada foi a Bailey na sua forma polimórfica, a qual apresentou coeficiente de determinação de 88,32% e um erro padrão da estimativa de 5,50%. Esta equação apresentou estatísticas muito satisfatórias no teste de estabilidade realizado. Pôde-se verificar que 59,0% das parcelas se mantiveram na mesma classe de sítio em todas as medições realizadas, nestas 13,8% são parcelas que estão no limite superior de um sítio e no limite inferior do outro, enquanto o restante das parcelas avaliadas mudou de sítio uma vez.

Dentre as demais equações ajustadas e selecionadas, como componentes fundamentais de um sistema de prognose do crescimento e produção pôde-se verificar que apenas as do diâmetro mínimo e da variância dos diâmetros apresentam erros padrão da estimativa (S_{yx}) superior a 10%. No entanto, todas as equações selecionadas apresentaram distribuição gráfica dos resíduos sem tendenciosidade.

Seleção da função de distribuição para *Eucalyptus grandis*

Na Tabela 7 é mostrada uma síntese do desempenho de cada distribuição, por sítio, conforme verificado após a aplicação do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 6.

Equações para predição dos atributos do povoamento, que possibilitam a prognose do crescimento e produção quando associadas aos parâmetros das distribuições weibull, beta ou Sb, a partir das idades em que as parcelas do inventário foram mensuradas ou a partir da idade zero. (Equations for forecasting stand attributes that allow growth and yield forecast when associated with distribution parameters such as Weibull, beta or Sb departing from age zero or when the inventory plots were measured.)

Prognose	Eq	Atributos	Equações	R ²	Syx	Syx %
de	1	Sítio	$S = 32,2522562 \left(\frac{Hd}{32,2522562} \right)^{\left(\frac{\ln(1-EXP(-3,3044895 \cdot (I_2^{0,1842405})))}{\ln(1-EXP(-3,3044895 \cdot (I_{ref}^{0,1842405})))} \right)}$	88,32	1,21	5,50
Idades	2	Média Arit.das Alturas	$\bar{H} = \exp(0,497434038 + 0,831008918 \cdot \ln(Hd_2) - 0,422200353 \cdot \ln(Dg_2/Di) + 4,8061202520 \cdot (1/I_2 \cdot Di)) - 2,453658699 \cdot (1/Di)$	90,23	1,99	7,20
iniciais	3	Número de Indiv.	$N_2 = \exp(\ln(N_1)) - (0,0001136060 \cdot (I_2^{1,666214857}) - (I_1^{1,666214857})))$	72,94	144,39	11,96
diferentes	4	Área Basal	$G_2 = ((1/I_2) \cdot G_1) + (6,37418324 \cdot ((1-(1/I_2)) \cdot \ln(N_2)) + (1,95215042 \cdot ((1-(1/I_2)) \cdot Hd_2) + (-15,32252509 \cdot ((1-(1/I_2)) \cdot \ln(I_2))$	89,77	1,55	9,31
de zero	5	Diâmetro Máximo	$Dmax_2 = \exp(3,028692869 + (0,221430067 \cdot (1/I_2) \cdot \ln(Hd_2)) + (0,212423091 \cdot (1/I_2) \cdot \ln(I_2) + (-0,398491654 \cdot (1/I_2) \cdot \ln(N_2)) + (0,433846313 \cdot (1/I_2) \cdot \ln(G_2))$	80,65	1,49	7,53
	6	Diâmetro Médio	$Dmed_2 = 1,84094 + (1,034031 \cdot Dg_2) + (-0,960058 \cdot Hd_2^{0,5}) + (-0,001822 \cdot I_2) + (-0,044425 \cdot Dmax_2)$	99,27	0,18	1,55
	7	Diâmetro Méd.Quad.	$Dg_2 =$			
	8	Variância diâmetros	$VarDAP_2 = \exp(-2,281349 + (-0,850843 \cdot (Dmed_2 - Dg_2)) + (1,42395 \cdot \ln(Hd_2))$	81,25	2,79	24,12
	9	Diâmetro Mínimo	$Dmin_2 = 1,953583 + (-7,846246 \cdot Dmed_2) + (0,159251 \cdot Hd_2) + (-3,088331 \cdot VarDAP_2^{0,5}) + (-1,50157 \cdot \ln(G_2)) + (8,694452 \cdot Dg_2)$	55,06	1,09	23,12
de	10	Número de Indiv.	$N_2 = \exp(\ln(Np)) - (0,00013606 \cdot ((1,666214857) - (I_2^{1,666214857})))$	54,41	149,08	12,32
idade	11	Área Basal	$G_2 = \exp(-4,000401 + (-7,027134 \cdot (1/Hd_2)) + (-0,000193 \cdot I_2) + (-0,535732 \cdot \ln(N_2)) + (-0,000003772 \cdot (I_2 \cdot N_2)) + (-0,000000095260491 \cdot (I_2 \cdot Hd_2 \cdot N_2)) + (1,084398 \cdot \ln(Hd_2 \cdot N_2)))$	91,76	1,84	12,54
igual a zero	12	Diâmetro Máximo	$Dmax = \exp(3,199996 + (0,140153 \cdot \ln(Hd_2)) + (0,166303 \cdot \ln(I_2)) + (-0,312856 \cdot \ln(N_2)) + (0,319829 \cdot \ln(G_2))$	89,01	1,69	9,29

As equações 1, 2, 6, 7, 8 e 9 são comuns para ambas as situações

Tabela 7.

Percentual de parcelas que apresentaram frequência teórica estimada a partir da distribuição Weibull, Beta ou S_b semelhante a frequência observada nas parcelas mensuradas por ocasião do inventário florestal, para dois índices de sítio(S).

(Percentage of plots that presented estimated theoretical frequency departing from the point in which Weibull, beta and S_b distribution were similar to those observed in the measured plots of the forest inventory, for two site index)

Distribuições / Métodos de Ajuste	Índice de Sítio(S)	
	25,5m	28,5m
Beta	47	43
Weibull momentos	79	78
S_b máxima verossimilhança	67	63
S_b momentos	75	76
S_b Knobell-Burkhardt	60	54
S_b moda	72	70
S_b regressão	75	75

Analisando o percentual de parcelas que pelo teste de aderência apresentaram frequência acumulada teórica semelhante à frequência acumulada observada, verificou-se que a distribuição Weibull momentos foi aquela que predominou nos diferentes sítios. Tanto para a distribuição Weibull, como para a S_b , ambas com ajuste pelo método dos momentos e a S_b com ajuste pela máxima verossimilhança foram testados os valores de “a” (Weibull) e “e” (S_b), sendo que o valor ótimo foi de 0,05 ou 5% do diâmetro mínimo para as duas distribuições.

Como a prognose é obtida da estimativa dos parâmetros da distribuição e, esta é viabilizada pela prognose dos atributos do povoamento e como estes atributos são expressos por equações que propiciam suas estimativas médias, então não se pode esperar que a prognose funcione para cada parcela, mas sim para médias das parcelas representativas de um estrato. Desta forma os percentuais de semelhança obtidas na Tabela 7, entre a frequência acumulativa teórica e a frequência observada podem ser considerados como muito satisfatórios.

Avaliação da prognose precoce

Experimento 1 - prognose a partir da classe de idade 26-33 meses - Índice de Sítio – 25,5 m

A análise de variância mostrou que há interação significativa entre os fatores, métodos para estimar volumes e classes de idade. Logo procedeu-se ao desdobramento da interação, verificando-se que em todas as cinco classes de idades estudadas pelo menos um dos oito tratamentos diferiu da testemunha. Desta forma aplicou-se o Teste de Média Scott-Knott. A Tabela 8 apresenta o resultado dos testes para cada idade.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 8 pode-se verificar para a classe de idade 1 (26-33 meses), ao realizar a estimativa presente do volume, que a equação de afilamento obtida de árvores cubadas em diferentes idades, juntamente com as equações do povoamento foram as mais eficientes. Quando desta idade foi realizada prognose para a classe de idades (34 a 48 meses), somente as equações correspondentes aos métodos 3 e 4 apresentaram-se ineficazes na estimativa do volume. Quando a prognose foi realizada da idade base 26-33 meses para a classe de idade 49 a 58 meses foram as 2 equações do povoamento e as equações de afilamento correspondentes aos métodos 7 e 9 que apresentaram estimativas confiáveis do volume. Para prognose realizada para classe de idade 59 a 68 meses foram os métodos 2 e 8 de estimar volume que propiciaram prognoses seguras e quando a prognose foi realizada para idades superiores a 68 meses foi somente o método 9 que forneceu estimativa confiável da prognose.

Pode-se então verificar que o método 9 foi aquele que se apresentou um maior número de vezes semelhante à testemunha. A exceção foi quando a prognose foi realizada para a classe de idade de 59 a 68 meses. Mesmo nesta situação de exceção, o erro médio propiciado por

este método na prognose foi de 9,78%. Desta forma este foi o método recomendado para ser utilizado no sistema de prognose de produção nas circunstâncias do estudo. Vale ressaltar ainda que, em três das cinco situações avaliadas, as equações do povoamento propiciaram estimativas semelhantes às do tratamento 1 ou testemunha, ficando assim como uma segunda alternativa, para a estimativa de volume no sistema de prognose da produção desenvolvido.

A Figura 1, mostra não a partir de números médios como o faz a análise de variância, mas a tendência dos erros cometidos quando se fez prognose a partir da classe de idade base de 26-33 meses para outras classes de idade. Pode-se ao observar estas tendências, consolidar os resultados obtidos a partir da análise de variância, os quais indicam, que a prognose a partir de idades precoces é perfeitamente possível.

Experimentos 2 e 3 - prognose a partir da classe de idade 34-48 meses e 49-58 meses - Índice de Sítio - 25,5 m

Nestes experimentos a interação entre os fatores não foi significativa, logo, procedeu-se

ao Teste de Média para verificar entre os métodos qual é o mais indicado para cada experimento na estimativa do volume.

Para o experimento 2, no qual a prognose é realizada a partir de idades entre 34 e 48 meses, nota-se que esta torna-se possível no índice de sítio de 25,5m, se se utilizar as equações de afilamento provenientes de árvores cubadas rigorosamente aos 7 anos e qualquer duas equações do povoamento. Estas equações propiciaram erros médios na prognose da ordem de 0,65%, -0,35% e -0,96%, respectivamente.

No entanto, quando a prognose for realizada a partir da classe de idade de 49 a 58 meses, é a equação de afilamento obtida de árvores cubadas rigorosamente em diferentes idades que deve ser utilizada para estimar o volume. Esta equação gerou um erro médio para a prognose de -0,51%.

Experimentos 4, 5 e 6 - prognose a partir da classe de idade 26 a 33, 34 a 48 e 49 a 58 meses, no Índice de Sítio - 28,5 m

As análises de variância realizadas para os experimentos 4, 5 e 6 mostraram que não houve interação significativa entre os fatores. Desta

Tabela 8.

Teste de Média para prognose realizada para a classe de idade 1, 2, 3, 4 e 5, no índice de sítio 25,5 m, tendo com idade base a classe de idade 1
(Average test for prognosis of age classes 1; 2; 3; 4 and 5 for the 25,5m site index, considering age class 1 as comparison base)

Classes de Idade														
1 (26 – 33 meses)			2 (34 – 48 meses)			3 (49 – 59 meses)			4 (59 – 68 meses)		5 (> 68 meses)			
Mét.	Média	Agrup	Mét.	Média	Agrup	Mét.	Média	Agrup	Mét.	Média	Agrup	Mét.	Média	Agrup
3	42,90	1	3	84,44	1	3	113,0	1	3	142,0	1	3	148,6	1
4	44,76	1	4	85,79	1	4	114,1	1	4	144,0	1	4	151,1	1
8	47,23	1	2	90,03	2	2	118,9	2	1	147,3	2	2	156,2	2
2	47,44	1	8	91,39	2	8	120,7	2	2	148,9	2	8	159,2	2
7	47,60	1	7	92,10	2	7	123,3	3	8	151,2	2	7	163,2	3
9	49,39	2	1	93,01	2	6	124,6	3	7	155,0	3	6	164,3	3
6	50,60	2	5	93,77	2	5	124,6	3	6	156,9	3	5	165,0	3
5	51,63	2	6	93,99	2	9	128,6	3	5	157,0	3	9	170,2	4
1	55,88	2	9	95,69	2	1	131,6	3	9	161,7	3	1	177,1	4

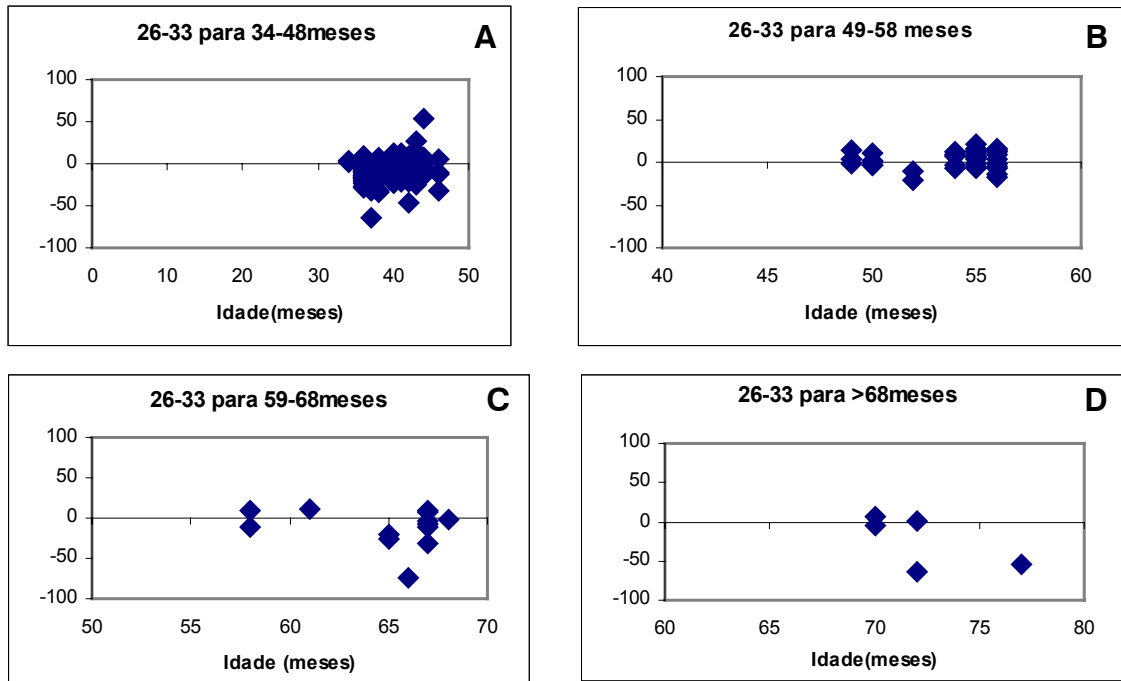


Figura 1. Prognose do volume a partir da classe de idade de 26 a 33 meses para 34 a 48 meses (a), para 49 a 58 meses (b), para 59 a 68 meses (c) e idades maiores que 68 meses (d), no índice de sítio 25,5 m, utilizando equação de afilamento obtida da cubagem rigorosa de árvores em diferentes idades (Volume prognosis, departing from 26-33 age class, for 34-48 (a); 49-58 (b); 59-68 (c) and > 68 (d) months age classes, for 25,5m site index, using taper equation of tree scaling in several ages)

forma procedeu-se ao Teste de Média para os métodos, conforme apresentados na Tabela 9.

Analisando a Tabela 9, notou-se que é possível fazer prognose do volume a partir das classes de idade 34 a 48 meses ou ainda 49 a 58 meses.

Quando a prognose for realizada a partir de qualquer idade entre 34 e 48 meses, é a equação de afilamento obtida a partir de árvores cubadas rigorosamente em diversas idades que deve ser utilizada. Esta equação propicia em média erro de 2,00% na prognose de volume.

Quando a prognose for realizada a partir de qualquer idade entre 49 e 58 meses são as

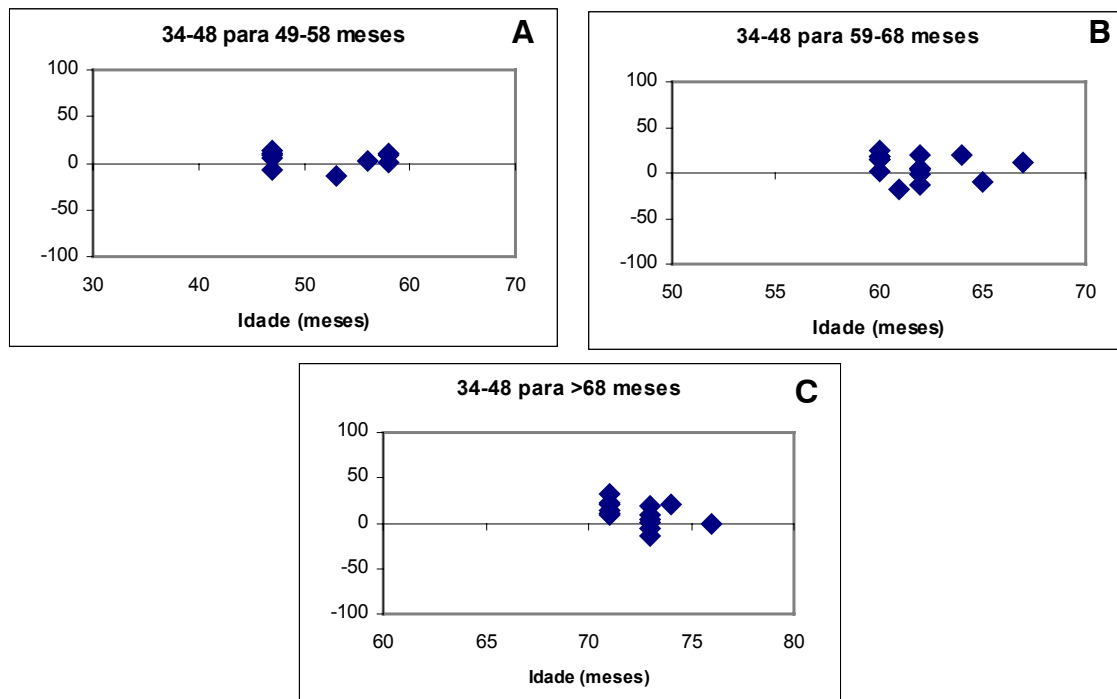
equações do povoamento e a equação afilamento gerada a partir de árvores cubadas aos 7 anos que devem ser utilizadas. Neste caso, os erros médios cometidos na prognose foram de -0,43%, 0,61% e 0,85%.

Na Figura 2 é apresentado graficamente o comportamento da distribuição dos resíduos da prognose do volume, tendo como idade base 34 a 48 meses. Ao observar as distribuições dos resíduos apresentadas nesta figura, pode-se verificar que não houve tendência na dispersão destes, este fato que vem de encontro ao que foi detectado na análise de variância, que é viável a prognose a partir de idades mais jovens.

Tabela 9.

Teste de média para prognose realizada a partir de idades entre 26 e 33 meses; entre 34 e 48 meses e entre 49 e 58 meses, no índice de sítio 28,5 m (Average test for prognosis done for ages of 26-33; 34-48 and 49-59 months for 28,5m site index)

Classe de idade base para prognose								
26 a 33 meses			34 a 48 meses			49 a 58 meses		
Mét.	Média	Ag.	Mét.	Média	Ag.	Mét.	Média	Ag
3	165,38	1	3	193,99	1	3	212,44	1
4	166,51	1	4	194,58	1	4	213,91	1
2	171,69	2	2	199,42	1	2	218,41	2
8	175,58	2	8	204,37	1	8	224,03	3
7	178,88	3	7	208,99	2	7	229,50	4
6	180,65	3	6	209,79	2	6	230,04	4
5	180,88	3	5	211,42	2	1	231,45	4
9	186,09	3	9	217,70	3	5	232,47	4
1	194,47	4	1	222,14	3	9	239,19	5

**Figura 2.**

Prognose do volume a partir da classe de idade de 34 a 48 meses para 49 a 58 meses (a), para 59 a 68 meses (b) e idades maiores que 68 meses (c), no índice de sítio 28,5 m, utilizando equação de afilamento obtida da cubagem rigorosa de árvores em todas as idades

(Volume prognosis, departing from 34-48 age class, for 49-58 (a); 59-68 (b) and > 68 (c) months age classes, for 25,5m site index, using taper equation of tree scaling in several ages)

CONCLUSÕES

- ✓ as equações selecionadas para os atributos do povoamento propiciaram estimativas precisas das variáveis avaliadas;
- ✓ a função de distribuição Weibull, ajustada pelo método dos momentos, mostrou-se mais precisa que a distribuição Beta e S_B ;
- ✓ a prognose precoce do volume para o índice de sítio de 25,5m pode ser viabilizada da classe de idade de 26-33 meses para qualquer outra idade. Para o índice de sítio de 28,5m a prognose precoce é possível a partir da classe de idades de 34 a 48 meses para as demais idades. Quando a idade de prognose estiver próxima da rotação, esta deverá ser viabilizada através das equações do povoamento;
- ✓ a prognose precoce, mostrou-se eficiente na estimativa de volume, propiciando erros médios de 2,39% e 4,82% nas estimativas do volume nos índices de sítio de 25,5m e 28,5m, respectivamente.

AUTORES

ELIZABETH COSTA REZENDE ABREU é Mestre em Engenharia Florestal pela UFLA. Rua Misseno de Pádua, 399A – Centro – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: erezende@ufla.br

JOSÉ ROBERTO SOARES SCOLFORO é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Campus Universitário – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: scolforo@ufla.br

ANTÔNIO DONIZETTE DE OLIVEIRA é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Campus Universitário – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: donizete@ufla.br

JOSÉ MARCIO DE MELLO é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Campus Universitário – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: jmmello@esalq.usp.br

HONÓRIO KANEGAE JÚNIOR é Engenheiro Florestal da KST Serviços Técnicos - Rua Delfino de Souza, 163 - Apto 402 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: kanegae@ksti.com.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, E.C.R. **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. Lavras: 2000. 70 p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- ASSIS, A.L. **Acuracidade na estimativa de volumes comerciais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Lavras, 1998. 193p. (Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras).
- ASSIS, A.L. **Avaliação de modelos polinomiais não segmentados e segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. Lavras, 2000. 193 p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- BURKHART, H.E. Development of empirical growth and yields models. In: EMPIRICAL AND PROCESS BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1, Oeiras, 1997. **Anais**. Lisboa: Salamandra, 1999. p.53-60
- CAMPOS, L.J.D. **Prognose por classe de diâmetro a partir de modelos do tipo povoamento total**. Viçosa: 1997. 57p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa
- CAO, Q.V. A method to distribute mortality in diameter distribution models. **Forest science**, v.43, n.3, p.435-442, 1997.
- CUNHA NETO, F.R. **Sistema de predição presente e futura da produção por classe de diâmetro utilizando a função Weibull para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Lavras: 1994. 157p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- FERREIRA, S.O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. Lavras, 1998. 193p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. Lavras, 1997. 167p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- GOULDING, C.J.; MURRAY, J.C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. **New Zealand journal of forest science**, v.5, n.3, p.313-322, 1976.

- GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** Viçosa: 1994. 160p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa
- HRADETZKI, J. **Analyse und interpretation sattistisher abränger keiten: biometrische beiträge zu aktuellen forschungs projekten.** Baden: Wüttemberg der FVA, 1976. 146p. (Abt. Biometrics und Informatik, 21).
- KIMMINS, J.P. et al. Forceeing and forecasting the horizon: hibrid simulation modeling of forest ecosystem sustainability. In: EMPIRICAL AND PROCESS BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1, Oeiras, 1997. **Anais.** Lisboa: Salamandra, 1999. p.431-442
- LEITE, H.G. **Ajuste de um modelo de estimação de freqüência e produção por classe de diâmetro para povoamentos de *E. saligna* Smith.** Viçosa: 1990. 81p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest inventory.** Munchen: BLV, 1973. v.2
- OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.M.; FIGUEIREDO FILHO, A. Sistema para simulação do crescimento da produção de *Pinus taeda* L. e avaliação econômica de regimes de manejo. **Revista árvore**, v.22, n.1, p.99-111, 1998.
- REED, D.D. Ecophysiological models of forest growth: uses and limitations. In: EMPIRICAL AND PROCESS BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1, Oeiras, 1997. **Anais.** Lisboa: Salamandra, 1999. p.305-512
- RIOS, M.S. **A eficiência das funções polinomiais, da função spline cúbica e razões de volume para representar o perfil da árvore e estimar os sortimentos de *Pinus elliottii*.** Lavras, 1997. 116p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 151 p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura de crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** Curitiba: 1990. 290p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná
- SCOLFORO, J.R.S. **O sistema de prognose da produção para *Eucalyptus* sp (SPP_{lyptus}).** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 54p. Disponível: <http://www.ufla.br>
- SCOLFORO, J.R.S. **Sistemas de ajuste para distribuições diamétricas - SISADI.** Lavras: UFLATEC, 1999. <http://www.ufla.br>
- SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia forestalis**, n.50, p.51-64, 1996.
- SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, v.4, n.1, p.100-122, 1998.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.505-512, 1974.
- STAPE, J.L. O papel da pesquisa florestal na sustentabilidade e estabilidade de sistemas silviculturais 'momentaneamente' otimizados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA FLORESTAL, 3, Viçosa, 1999. **Anais.** Viçosa: SIF / UFV, 1999.
- TABAI, F.C.V. **O estudo da acuracidade da distribuição S_b para representar a estrutura diamétrica de *Pinus taeda*, através de 5 métodos de ajuste.** Lavras, 1999. 55p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** Lavras, 1997. 155p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- ZHOU, B.; McTAGUE, J.P. Comparison an evaluation of five methods of estimation of Johnson system parameters. **Canadian journal of forest research**, v.26, p.928-935, 1996.