

## MODELO PARA PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO POR CLASSE DE DIÂMETRO PARA *Eucalyptus grandis*

Francisco Rodrigues da Cunha Neto<sup>1</sup>  
José Roberto Soares Scolforo<sup>2</sup>  
Natalino Calegario<sup>2</sup>  
Antônio Donizette de Oliveira<sup>2</sup>  
Honório Kanegae Júnior<sup>3</sup>

**RESUMO** - Este estudo teve como objetivo principal desenvolver um modelo para predição presente e futura da produção para *Eucalyptus grandis*. Utilizou-se a distribuição Weibull de 3 parâmetros para representar a distribuição diamétrica em diferentes idades, densidades e classes de produtividade dos sítios. Os dados utilizados foram coletados em povoamentos da CELPAV (Cia. Votorantim Celulose e Papel), no município de Luiz Antônio-SP. A amostragem foi feita em povoamentos com idade de 22 a 63 meses, utilizando-se parcelas de 420 m<sup>2</sup>, sendo que todas elas tiveram no mínimo duas medições. Foram testados e construídos modelos que estimam a produtividade dos sítios, o número de árvores, o diâmetro mínimo, os diâmetros percentis, a área basal, a variância dos diâmetros e os parâmetros "b" e "c" da distribuição Weibull. Os modelos selecionados ou construídos por meio de "Stepwise" apresentam ajustes satisfatórios. A recuperação dos parâmetros de Weibull pelos pares de percentis também foi bastante eficiente. Estes fatos propiciaram seguras estimativas presente e futura da produção em volume e do número de árvores, conforme comprovação obtida a partir de 75 parcelas reservadas para compor os testes de consistência do sistema proposto, nas quais, respectivamente, utilizou-se dos testes "t" e Kolmogorov-Smirnov.

**PALAVRAS-CHAVE:** Weibull, modelo de produção, *Eucalyptus grandis*.

## A MODEL TO PREDICT PRODUCTION PER DIAMETER CLASS FOR *Eucalyptus grandis*

**ABSTRACT** - The present study had the main purpose of developing a model for predicting present and future production for *Eucalyptus grandis*. The Weibull distribution of three parameters was used to represent diameter distributions at different ages, densities and classes of sites productivity. The data were collected in stands of the company CELPAV (Cia. Votorantin Celulose e Papel), in the regions of Luiz Antônio, State of São Paulo, Brazil. Sampling was carried out in stands with age ranging from 22 to 63 months, using plots with 420 m<sup>2</sup> of area, all with at least two measurements. Models were built and tested to estimate site productivity number of trees, minimum diameter, percentile diameters, basal area, variance of diameters, and parameter "b" and "c" of the Weibull distribution. The models built or selected through "Stepwise" showed satisfactory adjustments. The recovery of the Weibull parameters by the percentile were also very efficient. These facts provided safe present and future estimations of production in volume and of the number of trees, as confirmed from 75 plots reserved for the tests of consistency for the proposed model, for which the t and Kolmogorov-Smirnov tests were used, respectively.

**KEY-WORDS:** Weibull, yield of models, *Eucalyptus grandis*.

### INTRODUÇÃO

O Brasil conta com aproximadamente 6,6 milhões de hectares reflorestados com

diferentes espécies, sendo que destes, 3 milhões são de *Eucalyptus* spp, conforme IBGE (1990); ANFPC (1991), citado por Salomão (1993). Deste total 816168 ha estão diretamente vinculados à indústria de papel e celulose,

1 Departamento de Engenharia Florestal, UNIFENAS, Alfenas-MG.

2 Departamento de Ciências Florestais - UFLA - CP.37 - 37.200-000 - LAVRAS, MG.

3 CELPAV S/A - Rod. SP-255 Km 41.2 - 14.210.000 - Luis Antonio - SP.

indústria esta que encerrou o ano de 1993 com um total de exportação de US\$ 750 milhões.

Um dos grandes objetivos das empresas florestais é otimizar suas atividades para aumentar a produtividade diminuindo os custos sem com isto perder a qualidade. Dentro deste contexto, a prognose da produção por classe de diâmetro torna-se uma ferramenta de grande utilidade para o manejador florestal.

Através da prognose pode-se definir antecipadamente o momento do desbaste por sítio, a rotação econômica ótima, a compra e venda de madeira, o planejamento da atividade de exploração florestal, e pode ainda fornecer subsídio para aquisição de terras. Enfim, este componente, é básico, para que a otimização do corte/colheita possa ser efetivamente considerada.

Segundo Bailey e Dell (1973), estudos referentes a distribuição dos diâmetros são antigos, datando de 1898, quando De-Liocourt propôs um modelo simples, com base na progressão geométrica de ocorrência para povoamentos equiâneos.

Várias funções de densidade de probabilidade tem sido utilizadas, a partir de então em diferentes situações, como: Normal, lognormal, SB de Johnson, Beta e Weibull, mas as mais utilizadas com propósito florestal são as funções Weibull e Beta (Campos e Turnbull 1981, Matney e Sullivan 1982, Glade 1986, Scolforo 1990, 1994; Maestri, Scolforo e Hosokawa, 1995).

Segundo Bailey e Dell (1973), a distribuição de probabilidade Weibull foi proposta primeiramente por Fisher e Tippett em 1928, tendo sido desenvolvida independentemente por Waloddi Weibull, físico sueco, em 1939 no estudo de resistência de materiais. Provavelmente após a segunda Guerra Mundial, com o ênfase no estudo da resistência dos materiais, o trabalho de Weibull se destacou e a distribuição passou a ser chamada pelo seu nome. Segundo Johnson e Kotz (1970), na literatura Russa é reconhecida ainda a importância de outro autor, sendo a distribuição normalmente chamada de "Weibull-Gnedenko".

A partir de então vários trabalhos foram realizados utilizando-se a distribuição Weibull, como por exemplo: Cao, Burkhart e Lemin (1982), Amateis, Burkhart, Knoebel e Sprintz (1984), Burkhart e Sprintz (1984), MacTague (1985), Silva e Bailey (1987), Jorge, Veiga e Pontinha (1990), Leite, Campos, Regazzi e Couto (1990), Borders e Patterson (1990), Nepal e Somers (1991), Brooks, Borders e Bailey, (1992), Cunha Neto (1994), dentre muitos outros.

Assim o principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de predição, presente

e futura da produção por classe de diâmetro através da distribuição Weibull, para *Eucalyptus grandis*, considerando diferentes idades, classes de densidade e níveis de produtividade dos sítios.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com dados de *Eucalyptus grandis*, provenientes da Cia. Votorantim Celulose e Papel (CELPAP), situada no município de Luiz Antônio - SP. Foram utilizadas 560 parcelas permanentes (está incluso neste total até 3 remedições) de 420 m<sup>2</sup>, com idades variando de 22 a 63 meses, num espaçamento de 3 x 2 m.

### • Os atributos do povoamento e o sistema de crescimento e produção.

Para operacionalização do sistema de crescimento e produção, foram testadas e desenvolvidas por meio de "Stepwise", uma série de funções matemáticas que associadas à distribuição Weibull, propiciaram estimativas por classe diamétrica, para várias idades, locais com diferentes produtividades e diferentes níveis de densidade. Para tal foram desenvolvidas funções para expressar o índice de sítio, o número de árvores, o diâmetro mínimo, a variância dos diâmetros e a área basal.

Com relação ao número de árvores, vale a pena ressaltar que uma peculiaridade na coleta dos dados, motivou o ajuste não de uma função de sobrevivência, mas sim do conjunto de árvores sobreviventes e "Ingrowths". A peculiaridade citada consistiu em contar cada brotação ou bifurcação como árvore, além de estabelecer um limite mínimo de medição dos diâmetros igual a 3 cm. Assim, a cada inventário pode ocorrer um aumento do número de árvores mensuráveis, principalmente nos sítios mais produtivos.

Outra variável que merece atenção é o diâmetro mínimo. Neste caso, fez-se a opção de obter a estimativa do parâmetro "a" vinculada ao diâmetro mínimo. Para tal, após obter a estimativa deste parâmetro para as 560 parcelas e também identificar os diâmetros mínimos, estabeleceu-se teste t para identificar qual o percentual desta variável é estatisticamente igual ao parâmetro "a". Foram considerados os percentuais de 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% do diâmetro mínimo.

Para fins de obtenção do volume sólido (m<sup>3</sup>/ha) e do volume sterc de madeira foram utilizados, respectivamente, as seguintes equações:

$$V = (7,7257 + 0,7937 G \cdot Hd) \cdot 0,5$$

$$V = (7,7257 + 0,7937 G \cdot Hd) \cdot 0,75$$

Onde:

G = área basal por unidade de área em m<sup>2</sup>,  
Hd = altura média das árvores dominantes.

#### • A distribuição Weibull

A distribuição Weibull, utilizada neste trabalho, foi a de 3 parâmetros e tem sua função de densidade de probabilidade descrita como:

$$f(x) = (c/b) ((x-a)/b)^{c-1} \exp(-((x-a)/b)^c)$$

$$x \geq a, a \geq 0, b > 0 \text{ e } c > 0$$

em que:

a = parâmetro de locação;

b = parâmetro de escala;

c = parâmetro de forma e

x = variável de interesse (no caso diâmetro).

#### • Recuperação dos parâmetros "b" e "c" de Weibull

De cada parcela, estimou-se os parâmetros "a", "b" e "c", utilizando "software" desenvolvido para este fim, a partir das fórmulas (1), (2) e (3).

O parâmetro de locação é obtido por:

$$a = X_1 - ((b/n^{1/c}) \cdot \Gamma) \cdot (1 + 1/c) \quad (1)$$

A escala é obtida por:

$$b = (XP_1 - a) / (-\ln(1 - P_1))^{1/c} \quad (2)$$

A forma é obtida por:

$$c = \ln[(-\ln(1 - P_1)) / (-\ln(1 - P_2))] / \ln[(XP_1 - a) / (XP_2 - a)] \quad (3)$$

Onde:

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> = expressam de maneira percentual a posição do diâmetro na frequência acumulada

XP<sub>1</sub>, XP<sub>2</sub> = diâmetros X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub> para os respectivos percentis P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>

a = parâmetro de locação

ln = logaritmo natural

X<sub>1</sub> = menor diâmetro da parcela

n = número de árvores da parcela

Para fins de predição da produção, para diferentes classes de produtividade, idade e densidade, optou-se por estabelecer um vínculo entre o parâmetro "a" e o diâmetro mínimo. Assim, o parâmetro "a" corresponderá a um valor do diâmetro mínimo.

Já para predição futura da estrutura da população pode-se trabalhar com duas possibilidades, as quais foram adotadas neste trabalho e descritas a seguir.

#### 1ª possibilidade

Consistiu em evoluir diretamente com os parâmetros "b" e "c", para tanto, construiu-se modelos que pudessem expressar estes parâmetros, já que se correlacionam com as características do povoamento.

#### 2ª possibilidade

Neste caso, a recuperação dos parâmetros "b" e "c" da distribuição Weibull foi baseada no estabelecimento de combinações dos diâmetros percentis<sup>4</sup>. As combinações utilizadas foram as seguintes: XP20/70; XP20/80; XP20/90; XP30/70; XP30/80; XP30/90; XP40/70; XP40/80 e XP40/90. Identificada a melhor combinação de diâmetros percentis, projeta-se para o futuro, e utilizando as equações (2) e (3) torna-se fácil a recuperação dos parâmetros "b" e "c" também no futuro. No entanto, a prognose dos percentis só é possível se as características do povoamento, como o número de árvores, a variância dos diâmetros e a área basal, puderem ser obtidas no futuro.

#### • Consistência do modelo em relação a estimativa do número de árvores por classe de diâmetro

##### a) Estimativa presente

Para avaliar as frequências geradas por classe de diâmetro, para *Eucalyptus grandis*, através da distribuição Weibull foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov conforme observado em Sokal e Rohlf (1981), a partir de 75 parcelas localizadas em diferentes idades, sítios e densidades, não utilizadas em qualquer ajuste. Para este teste, considerou classe diamétrica com amplitude de 3 cm, a partir do diâmetro mínimo de 3 cm. Portanto, utilizando cada um dos nove pares de percentis e o par dos parâmetros "b" e "c", obteve-se as dez estimativas dos parâmetros "b" e "c", por parcela. A estimativa do parâmetro "a" foi em função do valor percentual do diâmetro mínimo. A partir das estimativas dos parâmetros e da função de distribuição Weibull obteve-se 10 frequências por classe diamétrica, as quais foram comparadas com as frequências observadas da parcela, ao nível de significância  $\alpha = 0,20$ ;  $\alpha = 0,10$ ;  $\alpha = 0,05$  e  $\alpha = 0,01$ .

##### b) Estimativa futura

Como as parcelas foram medidas pelo menos em duas idades diferentes e algumas tiveram até 3 medições, utilizou-se a primeira medição como base ou idade inicial, e então fez-se a prognose para a idade na qual as parcelas

<sup>4</sup> Associado a cada percentil (pi) existe um diâmetro Xi.

tiveram suas remedições. O número de árvores prognosticado foi então comparado ao número de árvores real, por classe de diâmetro, seguindo o mesmo processo utilizado para estimativa presente.

• **Consistência do modelo em relação a estimativa volumétrica**

**a) Estimativa presente**

Para esta estimativa, considerou-se 3 situações:

A primeira foi a aplicação do teste "t" pareado comparando o volume da parcela (real)<sup>5</sup> e o estimado pelo sistema, sem nenhuma estratificação ou restrição.

A segunda foi a aplicação do teste "t" com as parcelas estratificadas por sítio, verificando assim a influência da qualidade do local no modelo proposto.

A terceira foi estratificar as parcelas por sítio e idade, verificando a existência da influência da idade e do sítio no modelo.

**b) Estimativa futura**

Assim como utilizado no teste com o número de árvores, tomou-se como base as parcelas da primeira medição e prognosticou seu volume para idade na qual estas foram medidas pela segunda ou terceira vez. Então aplicando o teste "t" pareado, pôde-se comparar o volume das parcelas com o volume prognosticado.

Para esta estimativa considerou-se duas situações: uma delas não levou em consideração a qualidade do local, foi feita sem nenhuma estratificação ou restrição. A outra situação foi a estratificação das parcelas por sítio, verificando assim o efeito da qualidade do local na prognose do volume.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

• **Classificação de sítio:**

O modelo biológico de Chapman e Richards apresentou ajuste satisfatório aos dados, com boa dispersão dos resíduos, sem evidência de heterogeneidade de variância.

O coeficiente de determinação foi igual a 83% e erro padrão da estimativa de 1,15 m (o equivalente de 6,4%).

As equações que propiciam informações sobre o valor do índice de sítio (desde que fornecida a altura média das árvores dominantes) assim como, aquela que propicia obter a altura média das dominantes (desde que

fornecido o índice de sítio) são apresentadas a seguir:

$$S = Hd \left\{ \frac{[1 - \text{EXP}(-0,03028219.lref)]}{[1 - \text{EXP}(-0,03028219.l)]} \right\}^{1,32156733}$$

$$Hd = S \left\{ \frac{[1 - \text{EXP}(-0,03028219.l)]}{[1 - \text{EXP}(-0,03028219.lref)]} \right\}^{1,32156733}$$

A idade de referência estabelecida foi igual a 60 meses na qual observou-se uma amplitude em altura de 13 a 28 metros.

• **Função para expressar o número de árvores**

A mortalidade como observado em Scolforo (1990) e Maestri, Scolforo e Hosokawa (1995), aumenta com a idade do povoamento sendo maior nos sítios mais produtivos que nos menos produtivos, já que neste último a competição demora mais a iniciar-se. No entanto, por uma peculiaridade da coleta de dados, utilizou-se as funções tradicionais de sobrevivência para expressar seu comportamento, e o dos "ingrowths" em conjunto.

Como os modelos disponíveis na literatura apresentaram estimativas tendenciosas, optou-se por desenvolver através de "Stepwise" um que apresentasse medidas de precisão e distribuição de resíduos satisfatórias. O modelo desenvolvido apresenta a seguinte forma:

$$\text{Ln}(N_2) = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{l_1}{l_2} \right) \cdot N_1 + \beta_2(S) + \beta_3(1 - \frac{l_1}{l_2}) + \beta_4(S(1 - \frac{l_1}{l_2})) + \beta_5 \text{Ln}(N_1) + E_i$$

Onde:

N1, N2 = Número de árvores por ha respectivamente nas idades l1 e l2;

Ln = logaritmo natural;

βis = Coeficientes a serem estimados e

S = índice de sítio (idade referência 60 meses).

Na Tabela 1 apresenta-se as estimativas dos parâmetros, suas estatísticas e medidas de precisão da regressão.

Observou-se que a constante (β0), os coeficientes (β2) e (β4) são significativos a um nível de probabilidade de acerto, inferior aos tradicionalmente utilizados no setor florestal, no entanto, suas remoções do modelo causariam uma redução do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), e tendenciosidade na distribuição de resíduos.

5 Para fins de simplificação, o volume da parcela será denominado volume real e o volume estimado pelo sistema denominado volume estimado. Mesma lógica foi adotada para o número de árvores.

TABELA 1. Coeficientes da equação de número de árvores para *Eucalyptus grandis*.

Coeficientes	Estimativas	t	Nível de sig. (%)	Medidas de precisão da regressão
$\beta_0$	-0,083868	-0,2389	18,87	$R^2 = 91,22\%$ $S_{yx} = 72,12 \text{ arv}$ $S_{yx\%} = 5,0\%$
$\beta_1$	-0,000168	-3,0026	99,72	
$\beta_2$	-0,002373	-0,5427	45,73	
$\beta_3$	-0,743287	-2,0101	95,49	
$\beta_4$	0,022304	1,2979	80,49	
$\beta_5$	1,050304	18,3048	99,99	

$R^2$  = Coeficiente de determinação;  
 $S_{yx}$  = erro padrão residual

Analisando a sobrevivência de *Acacia mearnsii*, com dados advindos de experimento, Maestri, Scolforo e Hosokawa (1995), encontraram coeficiente de determinação de 81,4%, e erro padrão da estimativa de 138,9 árvores (correspondendo a um percentual de 6,5%). Comparado ao modelo adotado por Maestri, Scolforo e Hosokawa (1995) pode-se verificar a eficiência do modelo proposto.

O comportamento da equação que expressa o número de árvores para cada sítio em função da idade pode ser observado na Figura 1. Desta Figura pode-se constatar que o Ingrowth ocorreu com maior intensidade no sítio mais produtivo, já que neste há maior condição de desenvolvimento das árvores e brotações. Como em sítios mais produtivos existe uma maior mortalidade, pode-se inferir que para este povoamento o número de brotações que sofreram Ingrowth superou em muito a mortalidade.

#### • Variância dos diâmetros

A variância dos diâmetros ( $S^2D$ ) tem uma forte correlação com os diâmetros percentis, pois ela expressa a variação dos diâmetros do povoamento.

O modelo que expressa a variância dos diâmetros é apresentado a seguir:

$$\sqrt{S^2D} = \beta_0 + \beta_1 \ln(Hd/N^2) + \beta_2 \ln(I) + \beta_3 \ln(N.G) + \beta_4 DM + \beta_5 (I^2.Hd.G) + E_i$$

em que:

Hd = Altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare;

N = Número de árvores;

I = Idade (meses);

DM = Diâmetro mínimo

G = área Basal/ha

Na Tabela 2 apresenta-se as estimativas dos parâmetros do modelo selecionado, suas

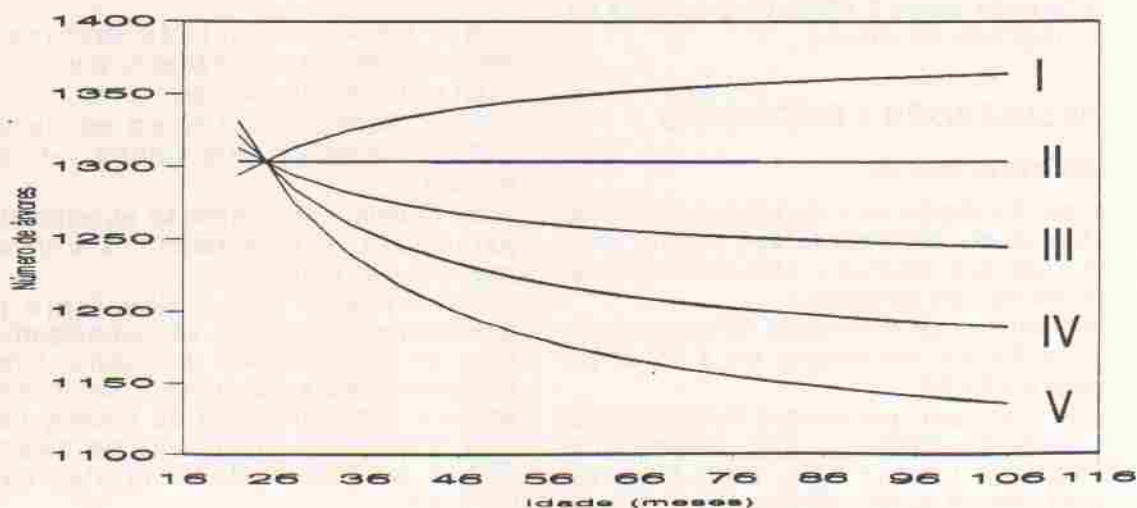


FIGURA 1. Representação gráfica da evolução do número de árvores em relação à idade para as 5 classes de sítio em *Eucalyptus grandis*.

TABELA 2. Estimativas dos coeficientes dos modelos que expressam a variância dos diâmetros para *Eucalyptus grandis*.

Coeficientes	Estimativas	t	Nível de Sig. (%)	Medidas de Precisão da Regressão
$\beta_0$	6,879440	8,61	99,99	$R^2 = 77,49\%$ $Syx = 0,26 \text{ cm}^2$ $Syx = 10,25\%$
$\beta_1$	0,911895	16,36	99,99	
$\beta_2$	0,380381	4,03	99,99	
$\beta_3$	0,635400	12,23	99,99	
$\beta_4$	-0,306559	-13,90	99,99	
$\beta_5$	3,78399E-7	3,85	99,99	

$R^2$  = coeficiente de determinação

$Syx$  = erro padrão residual

estatísticas e as medidas de precisão da regressão.

#### • Área basal:

Em virtude da falta de ajuste satisfatório dos modelos tradicionalmente encontrados na literatura florestal (ver Cunha Neto 1994) foi construído através de "Stepwise" um modelo que pudesse expressar a área basal sem tendenciosidade. O modelo construído é apresentado a seguir:

$$G = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 S + \beta_3 N + \beta_4 Hd + \beta_5 \ln(N) + \epsilon_i$$

Na Tabela 3, apresenta-se as estimativas dos parâmetros do modelo selecionado, suas estatísticas, bem como as medidas de precisão da regressão.

Observou-se que o modelo apresenta ajuste satisfatório além de ter sido constatada uma distribuição de resíduos sem tendenciosidade. Apesar da variável N (número de árvores) não

estar sendo significativa nos níveis tradicionais, a sua remoção causaria queda no coeficiente de determinação, e aumento no erro padrão da estimativa, sendo este o motivo de sua permanência no modelo.

#### • Estimativa do diâmetro mínimo

Como os modelos disponíveis na literatura apresentaram estimativas tendenciosas do diâmetro mínimo, construiu-se um para estimar com maior confiabilidade esta variável. O modelo construído é apresentado a seguir:

$$DM = \beta_1 \ln(S/N^2) + \beta_2 \ln(I) + \beta_3 \ln(N.G) + \beta_4 (I^2.S.G) + \beta_5 (1/I^6) + \beta_6 (1/N^2) + \beta_7 (1/S^3) + \epsilon_i$$

Na Tabela 4 apresenta-se as estimativas dos parâmetros deste modelo suas estatísticas e as medidas de precisão da regressão.

A equação ajustada apresentou medidas de precisão dentro de padrão aceitável, porém tendenciosidade foi constatada ao observar a distribuição de resíduos.

TABELA 3. Coeficientes do modelo ajustado para expressar a área basal para *Eucalyptus grandis*.

Coeficientes	Estimativas	t	Nível de Sig. (%)	Medidas de Precisão da Regressão
$\beta_0$	-55,105458	-3,03	99,73	$R^2 = 89,07\%$ $Syx = 1,11 \text{ m}^2$ $Syx = 10,15\%$
$\beta_1$	0,051203	3,32	99,89	
$\beta_2$	0,110922	2,28	97,72	
$\beta_3$	-0,000829	-0,45	33,26	
$\beta_4$	0,740600	12,80	99,99	
$\beta_5$	6,987050	2,42	98,40	

$R^2$  = coeficiente de determinação

$Syx$  = erro padrão residual

TABELA 4. Coeficientes e medidas de precisão do modelo de diâmetro mínimo para *Eucalyptus grandis*.

Coeficientes	Estimativas	t	Nível de sig. (%)	Medidas de precisão da regressão
$\beta_1$	0,763088	3,95	99,99	$R^2 = 98,12\%$ $Syx = 0,56 \text{ cm}$ $Syx\% = 14,07\%$
$\beta_2$	2,145895	5,81	99,99	
$\beta_3$	0,511673	2,26	97,59	
$\beta_4$	-5,128227E-7	-1,92	94,40	
$\beta_5$	1,866983E8	5,30	99,99	
$\beta_6$	5,234190E5	1,76	92,04	
$\beta_7$	-1288,763888	-1,35	82,20	

$R^2$  = coeficiente de determinação;

$Syx$  = erro padrão residual.

Maestri, Scolforo e Hosakawa (1995), trabalhando com *Acacia mearnsii*, selecionaram um modelo para expressar o diâmetro mínimo que apresentou coeficiente de determinação de 73,0%, com um erro padrão de estimativa de 0,63 cm (correspondendo a 14,9%). Assim, confrontando as medidas de precisão, observou-se que apesar do ( $R^2$ ) deste trabalho ser superior, o erro padrão da estimativa é muito próximo do modelo adotado por Maestri, Scolforo e Hosokawa (1995).

#### ● Recuperação do parâmetro "a" de Weibull

A melhor relação obtida para expressar o parâmetro de locação "a" de Weibull, foi:

$$a = 0,60 \cdot DM$$

Isto quer dizer que o valor que melhor expressa a posição deste parâmetro está relacionado à 60% do valor diâmetro mínimo do povoamento.

Scolforo (1990) obteve uma relação de 95% do diâmetro mínimo em relação ao parâmetro "a", para *Pinus caribea* var. *hondurensis*, enquanto Maestri (1992), trabalhando com *Acacia mearnsii* de Wild obteve uma relação de 70% do diâmetro mínimo, em relação ao parâmetro "a".

#### ● Recuperação dos parâmetros "b" e "c" de Weibull

Foram adotadas duas possibilidades para recuperação dos parâmetros "b" e "c". A primeira consistiu na estimativa direta dos mesmos, através das equações:

$$b = \beta_0 + \beta_1G + \beta_2DM + \beta_3N + \beta_4S2D + E_1$$

$$c = \beta_0 + \beta_1XP20 + \beta_2XP80 + \beta_3(N/G) + \beta_4XP90 + \beta_5DM + E_2$$

Na Tabela 5 apresenta-se a estimativa dos parâmetros suas estatísticas e as medidas de precisão da regressão.

A segunda possibilidade é a combinação de diâmetros percentis com as características da população, e a partir destes, obtém-se as estimativas dos parâmetros "b" e "c", o que será visto no próximo item.

#### ● O diâmetro percentis

Conforme verificado em, Glade (1986) e Scolforo (1990) os parâmetros "b" e "c" são dependentes dos diâmetros percentis, e estes por sua vez são altamente correlacionados com as características do povoamento. Então, testou-se os modelos citados na literatura florestal para expressar os diâmetros percentis, e dentre estes, selecionou-se para cada percentil o de melhor ajuste.

A Tabela 6 mostra os modelos selecionados e na Tabela 7 apresenta-se as estimativas dos parâmetros, suas estatísticas e as medidas de precisão da regressão.

Como pode-se observar na Tabela 7, existe uma forte correlação entre os diâmetros percentis e as características do povoamento, comprovando afirmação feita anteriormente. Esta relação é tanto melhor quanto maior o valor do diâmetro percentil. Este fato pode ser atribuído a uma maior estabilidade nas classes de maiores diâmetros, ou seja, nestas classes as plantas sofrem menos influências dos tratamentos culturais e de outros fatores que possam afetar a estrutura do povoamento.

Mesmo para os menores valores de diâmetro percentis os ajustes foram eficientes, apresentando medidas de precisão bastante satisfatórias e distribuição de resíduos sem nenhuma tendenciosidade.

TABELA 5. Coeficientes para os modelos que expressam os parâmetros "b" e "c" de Weibull para *E. grandis*.

Parâmetro	Coef.	Estimativa	t	Nível de Sig. (%)	Médidas de Precisão da Regressão
b	$\beta_0$	19,329927	39,46	99,99	$R^2 = 86,42\%$ $Syx = 0,7391$ $Syx\% = 9,86\%$
	$\beta_1$	0,978353	42,35	99,99	
	$\beta_2$	-2,077305	-30,69	99,99	
	$\beta_3$	-0,007488	-30,12	99,99	
	$\beta_4$	-0,441059	-19,53	99,99	
c	$\beta_0$	5,918387	5,62	99,99	$R^2 = 66,24\%$ $Syx = 0,6190$ $Syx\% = 22,50\%$
	$\beta_1$	1,192534	21,25	99,99	
	$\beta_2$	-0,407540	-4,03	99,99	
	$\beta_3$	-0,005358	-2,42	98,39	
	$\beta_4$	-0,228738	-2,60	99,02	
	$\beta_5$	-0,772795	-14,41	99,99	

$R^2$  = coeficiente de determinação  
 $Syx$  = erro padrão residual.

TABELA 6. Modelos testados para estimar os diâmetros percentis, para *Eucalyptus grandis*.

Modelo	
XP20	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2G + \beta_3(N/G) + \beta_4 \sqrt{S2D} + E_i$
XP30	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2G + \beta_3S + \beta_4(N/G) + \beta_5 \sqrt{S2D} + E_i$
XP40	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2G + \beta_3S + \beta_4(1/N) + \beta_5(N/G) + \beta_6LN(S2D) + E_i$
XP70	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2G + \beta_3S2D + \beta_4(1/N) + \beta_5(N/G) + E_i$
XP80	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2S2D + \beta_3S + \beta_4G + E_i$
XP90	$= \beta_0 + \beta_1N + \beta_2G + \beta_3S + \beta_4(N/G) + \beta_5S2D + E_i$

Para efeito de ilustração, apresenta-se na Figura 2 as distribuições de resíduos referentes aos diâmetros percentis 20 e 70, que foram os que apresentaram respectivamente as piores e melhores medidas de precisão assim como distribuição de resíduos.

• **Consistência do modelo proposto a partir do número de árvores por classe de diâmetro**

Neste caso, procurou-se verificar a consistência do modelo através do confronto do número de árvores real com o número de árvores presente estimado por classe de diâmetro pela distribuição Weibull, seja a partir dos parâmetros "b" e "c" calculados através de pares de diâmetro percentis, ou seja, a partir da

estimativa direta destes parâmetros. As parcelas utilizadas para este teste foram estratificadas por sítio e notou-se que, para cada classe de sítio, diferentes pares de percentis se destacaram.

Observou-se também que houve tendência destas estimativas piorarem para os sítios menos produtivos. Mesmo assim, a frequência de parcelas que estão apresentando o número de árvores real estatisticamente semelhante ao estimado é muito satisfatório.

Este mesmo teste foi aplicado para prognose ou estimativa futura do número de árvores, e o resultado é apresentado no Tabela 8, mostrando a mesma tendência que para estimativa presente. Observou-se também que há tendência destas estimativas piorarem para os



TABELA 7. Coeficientes dos modelos selecionados para expressar os diâmetros percentis para *Eucalyptus grandis*.

Diâmetro Percentil	Coef.	Estimativa	t	Nível de Sig. (%)	Medidas de Precisão da Regressão
XP20	$\beta_0$	11,529403	45,82	99,99	$R^2 = 89,65\%$ Syx = 0,36 cm Syx% = 5,30%
	$\beta_1$	-0,002359	-16,80	99,99	
	$\beta_2$	0,334828	19,10	99,99	
	$\beta_3$	-0,009730	-9,10	99,99	
	$\beta_4$	-1,327840	-25,39	99,99	
XP30	$\beta_0$	11,459791	39,46	99,99	$R^2 = 91,80\%$ Syx = 0,37 cm Syx% = 4,68%
	$\beta_1$	-0,002381	-16,73	99,99	
	$\beta_2$	0,333595	18,15	99,99	
	$\beta_3$	0,024519	3,45	99,94	
	$\beta_4$	-0,010780	-9,96	99,99	
XP40	$\beta_0$	10,585537	34,48	99,99	$R^2 = 93,21\%$ Syx = 0,36 cm Syx% = 4,22%
	$\beta_1$	-0,002377	-16,71	99,99	
	$\beta_2$	0,351025	19,39	99,99	
	$\beta_3$	0,023320	3,27	99,88	
	$\beta_4$	191,529009	3,93	99,99	
	$\beta_5$	-0,009649	-8,83	99,99	
XP70	$\beta_0$	11,002835	50,64	99,99	$R^2 = 96,50\%$ Syx = 0,31 cm Syx% = 2,94%
	$\beta_1$	-0,002386	-19,05	99,99	
	$\beta_2$	0,368048	23,41	99,99	
	$\beta_3$	0,045764	5,22	99,99	
	$\beta_4$	118,800015	2,84	99,52	
	$\beta_5$	-0,008218	-8,87	99,99	
XP80	$\beta_0$	10,284987	56,80	99,99	$R^2 = 95,71\%$ Syx = 0,37 cm Syx% = 3,25%
	$\beta_1$	-0,003214	-31,95	99,99	
	$\beta_2$	0,114246	10,97	99,99	
	$\beta_4$	0,473337	45,36	38,51	
XP90	$\beta_0$	12,752535	46,74	99,99	$R^2 = 95,56\%$ Syx = 0,40 cm Syx% = 3,25%
	$\beta_1$	-0,001876	-11,95	99,99	
	$\beta_2$	0,283991	13,99	99,99	
	$\beta_3$	-0,016569	-2,17	99,97	
	$\beta_4$	-0,011569	-9,90	99,99	
	$\beta_5$	0,188334	16,75	99,99	

$R^2$  = coeficiente de determinação  
Syx = erro padrão residual

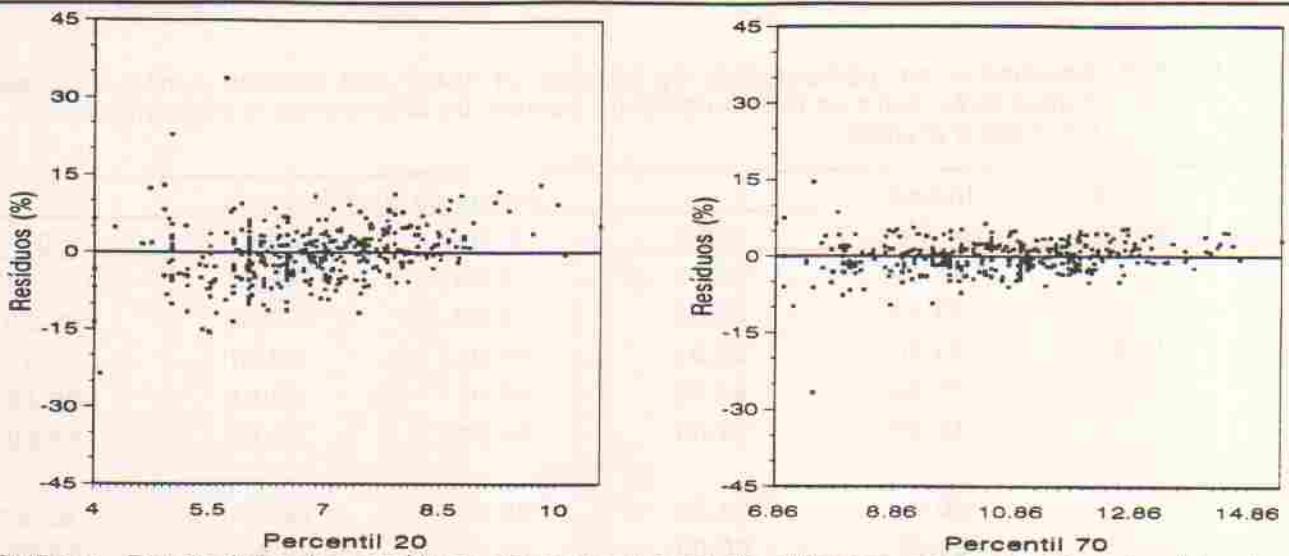


FIGURA 2. Distribuição dos resíduos em porcentagem do diâmetro percentil 20 e do diâmetro percentil 70 diâmetro para *Eucalyptus grandis*.

sítios menos produtivos. Mesmo assim a frequência de parcelas que estão apresentando o número de árvores real estatisticamente semelhante ao estimado é bastante alto.

• **Consistência do modelo proposto a partir do volume por parcela**

Para testar a acuracidade dos modelos desenvolvidos, utilizou-se de 75 parcelas que não foram utilizadas em quaisquer das regressões que compõem o sistema. Duas opções foram consideradas.

Opção 1 - De forma direta a combinação dos parâmetros "b" e "c" de Weibull.

Opção 2 - Fez-se uso dos diâmetros percentis, agrupados 2 a 2 para a recuperação dos parâmetros da Distribuição Weibull.

Estes procedimentos para estimativa presente, foram desenvolvidos em três etapas:

a) De forma geral, não considerando qualquer estratificação. Os resultados destes estão apresentados na Tabela 9, assim como a correlação entre o volume estimado pelo sistema e o volume da parcela obtido do inventário.

As combinações de melhor performance foram: XP20/80 XP20/90; XP30/80; XP30/90 e XP40/90, as quais propiciaram a obtenção de estimativa do volume total estatisticamente semelhante ao volume total real. O mesmo não ocorre com os demais pares de percentis e com a combinação dos parâmetros b/c. Dentre os pares de diâmetro percentis que propiciaram a obtenção de estimativa semelhantes entre o volume estimado e o real há um destaque para o par de percentis XP30/90 que apresentou um melhor comportamento para a recuperação das distribuições.

Foi também estabelecida uma relação linear entre o volume real e o volume estimado, das quais observou-se forte correlação entre o volume da parcela e o estimado através do sistema, significando que mesmo os pares de percentis, que propiciam a obtenção de estimativa diferente entre volume "real" e estimado, tem "potencial" de ser utilizados para a recuperação dos parâmetros "b" e "c", principalmente se houver um controle do sítio e idade.

b) Aplicação do teste "t" com as parcelas estratificadas por sítio.

c) Aplicação do teste "t" com parcelas estratificadas por sítio e idade.

Nas duas últimas situações pode-se constatar uma maior eficiência do sistema proposto já que um maior controle das condições ambientais foi adotado.

Considerando-se os pares de diâmetro percentis em relação a qualidade de sítio, observou-se que propiciam uma boa recuperação das distribuições diamétricas, principalmente, nos sítios mais produtivos, onde apenas os pares 20/90 e 30/90 deixam a desejar. O par dos parâmetros b/c, após a estratificação por classe de produtividade apresentou um resultado satisfatório, propiciando a obtenção da estimativa presente do volume, estatisticamente, semelhante ao volume real para todas as classes de sítio.

Quando estratificou-se os dados por qualidade de sítio e idade, melhorou o desempenho dos pares de percentis, podendo-se destacar: 20/70; 30/70; 40/70 e 40/80 em todas as classes de sítio e idade. Os pares de percentis 20/80; 20/90; 30/90 e 40/90 também apresentaram bom desempenho, propiciando a obtenção de estimativa diferente

TABELA 8. Resultados em porcentagem do número de vezes que ocorreu a não significância, comparação entre as distribuições do número de árvores real e o prognosticado, para *Eucalyptus grandis*.

Pares de Percentis	Índice de Sítio	Níveis de Significância			
		0.20	0.10	0.05	0.01
20/70	26,50	50,00	50,00	83,33	100,00
	23,50	62,50	75,00	100,00	100,00
	20,50	90,91	90,91	90,91	90,91
	17,50	81,82	90,91	90,91	100,00
	14,50	50,00	50,00	62,50	87,50
20/80	26,50	33,33	50,00	66,67	83,33
	23,50	50,00	75,00	87,50	100,00
	20,50	90,91	90,91	90,91	100,00
	17,50	81,82	90,91	90,91	100,00
	14,50	62,50	62,50	87,50	87,50
20/90	26,50	33,33	33,33	33,33	83,33
	23,50	25,00	50,00	62,50	87,50
	20,50	81,82	90,91	90,91	100,00
	17,50	72,73	90,91	90,91	100,00
	14,50	62,50	62,50	87,50	87,50
30/70	26,50	66,67	66,67	66,67	100,00
	23,50	62,50	87,50	100,00	100,00
	20,50	90,91	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	100,00	100,00
	14,50	50,00	50,00	62,50	87,50
30/80	26,50	66,67	66,67	66,67	83,33
	23,50	62,50	75,00	87,50	100,00
	20,50	90,91	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	90,91	100,00
	14,50	62,50	62,50	62,50	87,50
30/90	26,50	33,33	66,67	66,67	83,33
	23,50	50,00	62,50	62,50	100,00
	20,50	81,82	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	90,91	100,00
	14,50	50,00	62,50	62,50	87,50

TABELA 8. Continuação.....

Pares de Percentis	Índice de Sítio	Níveis de Significância			
		0.20	0.10	0.05	0.01
40/70	26,50	50,00	66,67	66,67	100,00
	23,50	75,00	75,00	100,00	100,00
	20,50	90,91	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	100,00	100,00
	14,50	50,00	62,50	62,50	87,50
40/80	26,50	66,67	66,67	66,67	83,33
	23,50	62,50	75,00	87,50	100,00
	20,50	81,82	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	100,00	100,00
	14,50	50,00	62,50	62,50	87,50
40/90	26,50	33,33	50,00	66,67	83,33
	23,50	62,50	75,00	75,00	100,00
	20,50	72,73	90,91	90,91	90,91
	17,50	90,91	90,91	100,00	100,00
	14,50	50,00	62,50	62,50	87,50
b/c	26,50	100,00	100,00	100,00	100,00
	23,50	62,50	75,00	100,00	100,00
	20,50	63,63	81,82	81,82	90,91
	17,50	63,64	81,82	81,82	100,00
	14,50	50,00	50,00	62,50	75,00

TABELA 9. Resultados do teste de "t" pareado e a correlação entre o volume da parcela (real) e o estimado pelo sistema, para *Eucalyptus grandis*.

Percentis	t	Sig. 99%	Correlação	F	Sig. 99%
20/70	-4,38	**	0,98	2206,06	**
20/80	-1,83	NS	0,98	2200,57	**
20/90	1,43	NS	0,98	1982,57	**
30/70	-3,81	**	0,98	2152,78	**
30/80	-2,32	NS	0,98	2223,70	**
30/90	0,14	NS	0,98	2047,17	**
40/70	-3,33	**	0,98	2028,04	**
40/80	-2,87	**	0,98	2313,59	**
40/90	-0,88	NS	0,98	2202,56	**
b/c	-4,03	**	0,97	1261,80	**

entre volume real e o estimado, apenas em algumas idades nos dois sítios mais produtivos (índice de sítio de 26,50 e 23,50 m) e nas menores classes de idade. Já o par dos parâmetros b/c propiciou a obtenção de estimativa diferente entre o volume real e estimado apenas no 2º sítio menos produtivo (índice de sítio de 17,50 m) e menor classe de idade.

De maneira geral, pode-se dizer que os pares de percentis que apresentam problemas para recuperação dos parâmetros da função Weibull se manifestaram nos sítios mais produtivos e nas menores classes de idade.

- **Prognose para *Eucalyptus grandis*:**

Efetuuou-se também teste "t" para estimativa futura ou prognose do volume. Para isto utilizou-se como idade inicial 22 meses, utilizando também as características do povoamento nesta idade, a partir das quais fez-se a prognose. Como todas as parcelas tiveram remediações, utilizou-se os volumes dessas remediações para compará-los com os volumes estimados pelo sistema.

Do mesmo modo que para estimativa presente, testou-se os pares de percentis para os dados no geral, sem estratificá-los. Na Tabela 10 apresenta-se os resultados destes testes.

Notou-se que, para prognose, apenas um par de diâmetro percentil mudou o comportamento para a recuperação da distribuição dos diâmetros por classes, ou seja, o par de diâmetro percentil 40/80 que para estimativa presente propiciou a obtenção de diferença significativa entre o volume real e o estimado não mais propicia a obtenção de estimativa diferente para prognose. Também os parâmetros b/c, propiciaram a obtenção de

estimativas semelhantes entre o volume real e o volume estimado.

Para a prognose, também foi estabelecido a equação linear para verificar a correlação entre volume real e o prognosticado. Como era de se esperar, por se tratar de prognose a correlação entre volume real e volume prognosticado diminuiu em relação a estimativa presente mas, mesmo assim, continuou forte sinal que a estimativa pelos percentis está sendo viável tanto para estimativa presente quanto para futura, quando se trata do volume total por parcela ou por hectare.

Efetuuou-se também o teste para os dados estratificados por sítio e observou-se resultados ainda melhores do que ocorreu na estimativa presente. Ao estratificar por sítio, houve uma grande melhora na recuperação das distribuições diamétricas e nenhum dos pares de percentis propiciou a obtenção de diferença significativa entre o volume real e o prognosticado.

Pode-se constatar que, à medida em que fontes de variação são controladas, neste caso a produtividade dos sítios, a eficiência do sistema faz-se notar, já que em praticamente todos os modelos selecionados, principalmente para os percentis, que são a base para as estimativas dos parâmetros da distribuição Weibull, a variável sítio teve participação altamente significativa.

- **A implementação do sistema de crescimento e produção:**

O sistema desenvolvido foi efetivado através do software Predgrand para que o grupo de equações geradas para *E. grandis* pudesse ser facilmente operacionalizado.

TABELA 10. Resultados do teste de "t" pareado e a correlação entre volume real e estimado pelos percentis, para prognose em *Eucalyptus grandis*.

Percentis	t	F	Correlação	F	Sig.
XP20/70	-3,34	**	0,95	426,093	**
XP20/80	-1,59	NS	0,95	395,496	**
XP20/90	1,36	NS	0,95	373,538	**
XP30/70	-2,77	**	0,95	408,772	**
XP30/80	-1,82	NS	0,95	397,657	**
XP30/90	0,11	NS	0,95	389,479	**
XP40/70	-2,46	**	0,94	378,874	**
XP40/80	-1,86	NS	0,95	395,977	**
XP40/90	-0,62	NS	0,95	398,855	**
b/c	-2,76	NS	0,93	313,211	**

## CONCLUSÕES

Constatou-se pelo desempenho das equações de sítio, de número de árvores, de diâmetro mínimo, da variância dos diâmetros, de área basal e dos diâmetros percentis que o modelo é eficiente. Este fato propicia segurança ao manejador florestal a medida em que os diâmetros correspondentes aos diferentes pares de percentis propiciam seguras estimativas da produção futura.

Constatou-se que, para fins de prognose, os diâmetros correspondentes aos pares de percentis P20/80, P20/90, P30/80, P30/90, P40/80 e P40/90 podem ser utilizados de maneira satisfatória para estimar o volume de madeira. Quando foi considerada a estratificação por sítios todos os pares de percentis apresentaram resultados satisfatórios.

Constatou-se que, para estimativa presente, os diâmetros correspondentes aos pares de percentis P20/90, P30/80, P30/90 e P40/90 podem ser utilizados de maneira satisfatória para estimar o volume.

Constatou-se que o controle da produtividade dos locais, leva a maior eficiência dos pares de percentis, principalmente, nos sítios mais produtivos, a exceção dos pares P20/90 e P30/90. Já a estratificação por classe de produtividade e idade propiciou uma melhora na recuperação dos parâmetros "b" e "c", exceto os pares de percentis P20/80, P20/90 e P40/90 para os dois sítios mais produtivos e nas menores idades. De maneira geral, conclui-se que uma estratificação das condições ambientais melhora o desempenho do modelo.

Constatou-se, tanto para estimativa presente como para estimativa futura, que o número de árvores real é estatisticamente semelhante ao número de árvores estimado pela função Weibull para todos os pares de percentis, havendo, no entanto, uma piora na qualidade da informação nos sítios menos produtivos.

A alternativa de evoluir de forma direta os parâmetros "b" e "c" para fins de prognose, tanto para fins de obtenção da estimativa da frequência, como para propiciar a estimativa do volume é viável, porém apresenta menor precisão que a evolução dos percentis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMATEIS, R.L.; BURKHART, H.E.; KNOEBEL, B.R.; SPRINTZ, P.T. Yield and size class distributions for unthinned loblolly pine plantations on cutover site-prepared lands. Virginia: Polytechnic Institute and State University, Division of Forestry and Wildlife Resource, 1984. 69p. (Publication FWS-2-84).
- BAILEY, R.L.; DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, Washington, v.19, n.2, p.97-104, 1973.
- BORDERS, B.E.; PATTERSON, W.D. Projecting Stand Tables: A comparison of the Weibull distribution method, a percentile-based projection method, and a basal area growth method. *Forest Science*, v.36, n.2, p.413-424, 1990.
- BROOKS, J.R. BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L. Predicting diameter distributions for site-prepared loblolly and slash pine plantations. *Southern Journal of Applied Forestry*, Bethesda, v.16, n.3, p.130-133, 1992.
- BURKHART, H.E.; SPRINTZ, P.T. A model for assessing hardwood competition effects on yield loblolly pine plantations. Virginia: Polytechnic Institute and State University, Division of Forestry and Wildlife Resource, 1984. 55p. (Publication FWS-1-84).
- CAMPOS, J.C.C.; TURNBULL, K.J. Um sistema para estimar a produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v.5, n.1, p.1-16, 1981.
- CAO, Q.V.; BURKHART, H.E.; LEMIN JR., R.C. Diameter distribution and yields of thinned loblolly pine plantations. Virginia: Polytechnic Institute and State University, Division of Forestry and Wildlife Resource, 1982. 62p. (Publication DWS-1-82).
- CUNHA NETO, F.R. da. Modelo de predição presente e futura da produção por classe de diâmetro utilizando a função Weibull, para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. Lavras: ESAL, 1994. 151p. (Dissertação de Mestrado).
- GLADE, J.E. Prognose de volume por classes diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. Curitiba: UFPR, 1986. 94p. (Dissertação de Mestrado).
- JOHNSON, N.L. KOTZ, S. Continuous univariate distributions. Boston: Houghton Millin, 1970. v.2, 112p.
- JORGE, L.A.B.; VEIGA, R.A. de A.; PONTINHA, A. de A.S. A função Weibull em povoamentos de *Pinus elliottii* na Estação Experimental de Itapeva. IPEF, Piracicaba, n.43/44, p.54-60, 1990.

- LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; REGAZZI, A.J.; COUTO, L. Um modelo para estimar a produção de madeira para celulose e energia derivada da função Weibull. *Revista Árvore*, Viçosa, v.14, n.2, p.102-118, 1990.
- MAESTRI, R. **Estimativa de produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamentos de Acácia-negra (*Acacia mearnsii*)**. Curitiba: UFPR, 1992. 102p. (Dissertação de Mestrado).
- MAESTRI, R.M.; SCOLFORO, J.R.S.; HOSOKAWA, R.T. Um sistema de predição do crescimento e produção para povoamento de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild). *Revista Árvore*. Viçosa, (no prelo). 1995.
- MATNEY, T.G.; SULLIVAN, A.D. Compatible stand and stock tables for thinned and unthinned loblolly pine stands. *Forest Science*, Washington, v.28, n.1, p.161-171, 1982.
- McTAGUE, J.P. **Growth and yield of slash and loblolly in the state of Santa Catarina, Brasil**. Athens: University of Georgia, 1985. 219p. (PhD Dissertation).
- NEPAL, S.K.; SOMERS, G.L. A generalized approach to stand table projection. *Forest Science*, Washington, v.38, n.1, p.120-133, 1992.
- SALOMÃO, C.C. Eucalipto: Vilão ou Herói. *Silvicultura*, São Paulo, v.13, n.50, p.22-23, 1993.
- SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Curitiba: UFPR, 1990. 290p. (Tese Doutorado em Ciências Florestais).
- SCOLFORO, J.R.S. Sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. IPEF. Piracicaba, 1994. (prelo).
- SILVA, J.A.A.; BAILEY, R.L. Predicting diameter distribution in fertilized slash pine plantations with the Weibull distribution. *ACTA Forestalia Brasiliensis*, Curitiba, v.2, n.1, p.46-62, 1987.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**. San Francisco: Freeman, 1981. 859p.