

**MARIANA FUTIA TAQUETTI**

**MÉTODO DA PREDIÇÃO DE PARÂMETROS EM  
MODELOS DE CRESCIMENTO EM FUNÇÃO DO  
ÍNDICE DE LOCAL**

Monografia apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa como parte das  
exigências da disciplina ENF 499 –  
Trabalho Final de Curso II do curso de  
Engenharia Florestal.

Viçosa  
Minas Gerais  
2014

**MARIANA FUTIA TAQUETTI**

**MÉTODO DA PREDIÇÃO DE PARÂMETROS EM  
MODELOS DE CRESCIMENTO EM FUNÇÃO DO  
ÍNDICE DE LOCAL**

Monografia apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa como parte das  
exigências da disciplina ENF 499 –  
Trabalho Final de Curso II do curso de  
Engenharia Florestal.

---

Helio Garcia Leite (Orientador)

---

Alvaro Augusto Vieira Soares (Coorientador)

---

Carlos Pedro Boechat Soares

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida e por me conceder forças em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Aos meus pais, Luzia e Adjalma, e meus irmãos, Sílvia e Murilo pelo amor e apoio desde sempre.

Ao meu namorado, Thiago, por me apoiar e estar ao meu lado em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa por me proporcionar grandes experiências.

A todos os professores pelos ensinamentos técnicos, de vida e por compartilharem suas experiências.

Ao Professor Helio Garcia Leite pela confiança depositada em mim, dedicação e orientação.

Ao Daniel Henrique Breda Binoti que esteve sempre disposto a ajudar.

Ao Alvaro Augusto Vieira Soares pela orientação, ensinamentos e total disposição em ajudar em qualquer situação.

Aos meus amigos da Engenharia Florestal de 2009, principalmente Amana, Vicente, Ana, Cacá, Luiz, Celhão, pelos momentos de descontração, pela força que sempre me deram e por torcerem por mim. Ao Tiago e à Cecília pela amizade e por todos os momentos que passamos juntos.

## **BIOGRAFIA**

Mariana Futia Taquetti, filha de Luzia Futia Taquetti e Adjalma Taquetti, nasceu em São Gabriel da Palha, Espírito Santo no dia 13 de Junho de 1990.

Concluiu o Ensino Fundamental na Escola “COOPESG” Robusta, o Ensino Médio no Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, antigo CEFET-ES e atual IFES.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa, no curso de Engenharia Florestal no ano de 2009.

## CONTEÚDO

EXTRATO.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4. CONCLUSÕES.....	19
5. APÊNDICE.....	20
6. REFERÊNCIAS.....	21

## EXTRATO

TAQUETTI, Mariana Futia. Monografia de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2014. **Método de predição de parâmetros em modelos de crescimento em função do índice de local.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientador: Alvaro Augusto Vieira Soares.

O presente trabalho buscou estudar o efeito da predição de parâmetros em modelos volumétricos em nível de povoamento utilizando a covariável índice de local. Os dados utilizados são de parcelas permanentes medidas anualmente no nordeste do Brasil. A altura dominante em função da idade foi estimada utilizando o modelo com o melhor ajuste, Schumacher, pelo método da curva-guia. Após a classificação do sítio, foram separados conjuntos de dados com base na classe de sítio e ajustaram-se equações para cada classe, selecionando a que obteve o melhor ajuste. A análise dos ajustes foi feita através do erro padrão residual (EPR), coeficiente de determinação ajustado ( $\hat{R}^2$ ) e realismo biológico. Em seguida, foram ajustados modelos lineares e não lineares, a fim de relacionar os coeficientes do modelo volumétrico com os centros das classes de sítio. Os coeficientes do modelo foram substituídos por essas sub-equações, gerando um modelo expandido. A comparação ocorreu entre quatro métodos: o modelo original ajustado para todo o conjunto de dados, modelo original ajustado por classe de sítio, o modelo expandido com o centro da classe como covariável e o modelo expandido com o índice local como covariável. O primeiro método teve as piores estatísticas, diferindo dos outros que foram muito próximos quanto às análises.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Schneider (2010) o Manejo Florestal consiste em uma série de decisões tomadas para se alcançar um objetivo. Tradicionalmente a abordagem do manejo florestal está focada na produção de bens como madeira, resinas, folhas, óleos essenciais, entre outros, muito embora seja crescente na atualidade a contemplação de bens e serviços ambientais e ecológicos (MESSIER; PUETTMANN; COATES, 2014) em conjunto ou não com a produção tradicional. A produção de madeira para fins diversos é o objetivo mais tradicional e predominante das florestas plantadas. No Brasil os eucaliptos são o grupo de árvores mais plantado correspondente a 76,6% da área total de florestas plantadas, seguidos pelos Pinus (ABRAF, 2013).

Conhecer o estoque atual e estimar a produção futura é essencial no planejamento de um empreendimento florestal. O inventário florestal é, assim, fundamental para o manejo, pois ele irá fornecer os dados necessários para se planejar e realizar as atividades subsequentes como colheita, análise financeira, como também os custos e a receita. Os modelos de crescimento e produção de povoamentos são empregados nestes processos de decisão. A coleta dos dados deverá ser baseada no tipo de modelagem empregada, em nível de povoamento, de distribuição de diâmetros ou modelos de árvores individuais, assim como atender aos objetivos do manejo.

A modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de eucalipto no Brasil tem sido feita principalmente por meio de modelos em nível de povoamento, por

limitação de base de dados ou devido à decisão pessoal do usuário. É comum que os modelos em nível de povoamento apresentem apenas a idade como variável independente. Por um lado isso facilita o processamento e análise uma vez que somente uma variável explicativa é usada. Entretanto, o uso desses modelos deve ser restrito a áreas homogêneas, caso contrário podem ocorrer sérios prejuízos à sua exatidão.

Existe um grande número de variáveis que influenciam a produtividade de um plantio florestal, como a idade, a qualidade de sítio, material genético, fatores climáticos, edáficos e fisiográficos de modo geral (CAMPOS e LEITE, 2013; CAMPOS, 1970). A inclusão dessas variáveis em modelos de produção pode melhorar as estimativas (GUIMARÃES, 2009; FERREIRA, 2009; MAESTRI, 2003) e permitir que um modelo possa ser utilizado para um grupo de áreas mais heterogêneas. Isso diminui consideravelmente o trabalho com organização e manipulação de dados, armazenamento e aplicação de equações sem prejuízo significativo da precisão das estimativas.

A qualidade do local ou sítio é uma variável que resume o efeito das variáveis ambientais, expressando o potencial de produção da área. Os ecologistas definem o sítio como sendo uma unidade geográfica uniforme distinguida pela combinação de características do meio. Para os silvicultores, o sítio corresponde a um fator primário de produção com determinada capacidade de produzir madeira ou outros produtos florestais (SCHONAU, 1987).

Para obter a classificação dos sítios usa-se comumente a relação entre a idade de referência e a altura dominante nessa idade, que apresenta boas estimativas para a geração dos índices de local. Existem diversos fatores considerados na classificação de sítio, como o tipo de solo, precipitação, cobertura vegetal, fisiografia, mapas planialtimétricos, composição de espécies, classe de idade, espaçamento inicial e regime de corte de cada compartimento da floresta (CAMPOS e LEITE, 2013). GUIMARÃES et al (2009) usou a modelagem da relação hipsométrica em plantios de *Eucalyptus* sp. incluindo a covariável material genético associada individualmente com os parâmetros e obteve uma melhora significativa na exatidão do modelo logístico comparando com o modelo polinomial de grau 2.

A relação altura-idade para plantios equiâneos nos fornece a qualidade do local (sítio) onde se encontra o plantio, e curvas de índice de local podem ser construídas



através de métodos como o da curva-guia, predição de parâmetros, equação das diferenças, Hammer e utilizando índices de local definidos preliminarmente. Dependendo da procedência dos dados e do método utilizado, as curvas de índice de local podem ser anamórficas ou polimórficas. As curvas anamórficas apresentam o mesmo comportamento, com amplitude semelhante de uma curva para outra, já as polimórficas apresentam comportamentos diferentes entre si (CAMPOS e LEITE, 2013). O método da curva-guia é um método simples e largamente utilizado em empresas de base florestal.

Embora o método da curva guia seja o mais utilizado pelas empresas florestais no Brasil, o método da predição de parâmetros constitui uma alternativa interessante. Em resumo, este método funciona da seguinte maneira: ajusta-se um modelo que relacione a altura dominante com a idade para cada parcela, substitui-se a idade índice e estima-se o índice de local por parcela, relaciona-se os parâmetros deste modelo com os índices de local, substitui-se os parâmetros no modelo pelas equações encontradas. Esse método não se limita à construção de curvas de índice de local podendo ser aplicado em outros procedimentos de modelagem como, por exemplo, em modelos de crescimento e produção.

Dessa forma, neste trabalho, propõe-se aplicar o método da predição de parâmetros nos modelos de produção, relacionando cada parâmetro com o índice de local, por se considerar esse índice como o efeito da miríade de fatores bióticos e abióticos do local na produção.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de 546 parcelas retangulares permanentes alocadas em 234 talhões de *Eucalyptus* sp. plantados na região nordeste do Brasil. O número de parcelas por talhão variou de uma a seis parcelas, com idades variando de 27 a 78 meses. Esses talhões foram alocados em diferentes regiões, para que pudéssemos cobrir a maior variação possível da qualidade do sítio, conseqüentemente, na faixa de índice local.

Em cada parcela, os diâmetros a 1,30 m da superfície do solo (DAP) de todas as árvores foram medidos. A altura total das primeiras cinco árvores foi medida mais a altura das três árvores com maior DAP. As medições de altura e DAP foram tomadas anualmente. Todas as parcelas foram medidas aproximadamente nas idades de 32, 40, 48, 60 e 72 meses. A altura média das árvores dominantes em nível de parcela foi considerada como a média aritmética das três maiores árvores mencionadas acima. Para análise e processamento dos dados, foram utilizados os softwares CurveExpert® e CurveFit e R.

A classificação de sítio foi feita através do método da curva-guia (CAMPOS e LEITE, 2013). Inicialmente foram ajustadas quatro equações (Tabela 1) para estimar a altura dominante ( $H_d$ ) em função da idade da árvore e elegeu-se a que apresentou menor erro padrão residual (equação 2), maior coeficiente de determinação ajustado (equação 1), a melhor distribuição residual verificada graficamente e realismo biológico.

Tabela 1. Modelos ajustados para altura dominante em função da idade.

Modelo	Equação
Schumacher (linearizado)	$\ln(Hd) = \beta_0 + \beta_1 * (1 * I^{-1})$
Gompertz	$Hd = \beta_0 * e^{-e^{(\beta_1 - \beta_2 * I)}}$
Logístico	$Hd = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 * e^{(\beta_2 * I)}}$
Chapman and Richards	$Hd = \beta_0 * (1 - e^{(-\beta_1 * I)})^{\beta_2}$

Hd= Altura dominante; I= Idade em meses.

$$\hat{R}^2 = 1 - \left( 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \right) \right) * \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \quad \text{Equação 1}$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{n-p}} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:  $n = i$  número de observações,  $i = i$  i-ésima observação,  $\hat{y} = i$  valor estimado,  $y = i$  valor observado,  $p = \text{número de variáveis do modelo}$ ,  $S_{xy} = i$  Erro Padrão Residual,  $\hat{R}^2 = i$  Coeficiente de determinação ajustado.

Posteriormente, procedeu-se a estimativa do índice local e classificação de sítio através do método da curva-guia. Após a classificação do sítio, foi separado o conjunto de dados com base na classe de local e ajustadas as mesmas equações acima, agora relacionando o volume em função da idade. A escolha dos melhores modelos foi efetuada tal como mencionado anteriormente. Essas regressões foram feitas utilizando a função nlsLM do pacote minpack.lm em R (ELZHOV et al, 2013;. R Core Team, 2013), que realiza regressões não-lineares com algoritmo de ajuste Levenberg-Manquardt.

Em seguida, foram ajustados vários modelos lineares e não lineares, a fim de relacionar os coeficientes do modelo de produção selecionado com os centros de classes de sítio. Para esse passo foi utilizada a ferramenta CurveFinder do software

CurveExpert<sup>®</sup>. Esse software classifica os modelos pela aderência de suas estimativas aos valores observados. Esse ranking serviu como uma pré-análise para serem selecionados modelos para análise posterior de ajuste, como foi feito com as outras regressões. Assim, foi gerada uma equação (chamada de sub-equação) para cada coeficiente.

Cada coeficiente do modelo original relacionado ao volume foi substituído por essas novas sub-equações gerando o que chamamos de modelo expandido. Para avaliar a qualidade desse modelo para estimar os volumes, calcularam-se as estatísticas  $R^2$ ,

$S_{xy}$ , coeficiente de correlação de Pearson (Equação 3) com o nível de significância de 5%, e plotaram-se os resíduos pelos valores observados, os valores observados pelos valores estimados.

Assim, quatro metodologias de estimação de volume podem ser abordadas para construir curvas de produção:

- A - usando o modelo original ajustado para o conjunto de dados;
- B - usando o modelo original ajustado por classe de sítio;
- C - usando o modelo expandido com o centro da classe como covariável;
- D - usando o modelo expandido com o índice local como covariável.

Para comparar essas metodologias e compreender o seu valor prático, foram usados os valores de soma dos volumes estimados e observados nas escalas de conjunto de dados, talhão e parcela e seus respectivos desvios. Na escala de talhão e de parcela, foi calculado o desvio médio, juntamente com seu valor máximo e mínimo e a soma do quadrado dos resíduos. Foi verificado também o histograma dos desvios percentuais. A melhor metodologia foi considerada a que gerou a produção total próxima ao observado, os desvios (médio, máximo e mínimo) mais próximos de zero e a concentração de desvios mais próxima a zero nos histogramas.

$$r_{y\hat{y}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)^2}}$$

Equação 3

Em que:  $\hat{y}_m$  = média das estimativas de Y;  $\bar{y}$  = média aritmética de Y;  
 $\hat{y}_i$  = valor estimado;  $y_i$  = valor observado e n o número de observações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas para comparação do ajuste dos modelos mostraram resultados bem próximos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos testados, parâmetros estimados e estatísticas de qualidade do ajuste da estimação da altura dominante pela idade das árvores.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	p-valor	$S_{xy}$ (m)	$S_{xy}$ (%)	$\hat{R}^2$	$r_{y\hat{y}}$
Gompertz	$\beta_0$	54,881999	0,0110	3,52	16,53	0,3 8	0,62
	$\beta_1$	0,423326	0,0531 <sup>ns</sup>				
	$\beta_2$	0,009149	0,0175				
Logístico	$\beta_0$	43,012471	<0,001	3,52	16,53	0,3 8	0,62
	$\beta_1$	2,510041	<0,001				
	$\beta_2$	0,017214	<0,001				
Chapman e Richards	$\beta_0$	497,500000	0,996 <sup>ns</sup>	3,52	16,54	0,3 8	0,62
	$\beta_1$	-0,000015	0,998 <sup>ns</sup>				
	$\beta_2$	0,439300	<0,001				

Schumacher (Linearizado)	$\beta_0$ $\beta_1$	3,487063 -21,113683	<0,001 <0,001	3,57	16,77	0,3 6	0,61
-----------------------------	------------------------	------------------------	------------------	------	-------	----------	------

$S_{xy}$  = Erro padrão residual;  $\hat{R}^2$  = Coeficiente de determinação ajustado,  $r_{y\hat{y}}$  = Coeficiente de correlação; <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste t a 5% de probabilidade.

Mesmo o modelo de Schumacher sendo o último classificado por todas as estatísticas, biologicamente, esse modelo é o que melhor representa o comportamento da altura dominante ao longo da idade. Com a idade de 72 meses (6 anos) o único modelo que representou a tendência de estabilização do crescimento em altura de acordo com os dados, foi o modelo de Schumacher e, portanto, esse modelo foi escolhido. Os índices de local estimados variaram de 15,02 m a 37,56 m. As curvas são mostradas na figura 1.

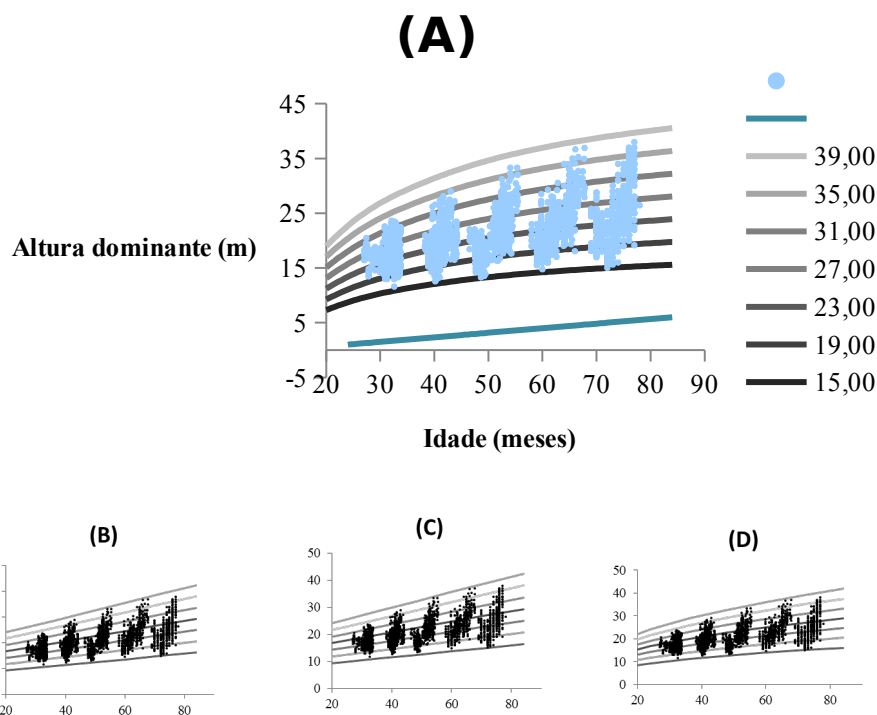


Figura 1. Curvas de altura dominante para plantios de clones de *Eucalyptus* sp. no Nordeste do Brasil. (A) Representa o modelo selecionado: Schumacher. Os gráficos menores (B), (C) e (D) representa as curvas geradas pelos outros modelos: Logístico, Gompertz e Chapman e Richards, respectivamente. Observa-se que somente as curvas do modelo de Schumacher tendem à estabilização.

Apesar da obtenção de sete classes de local de acordo com a amplitude pré-estabelecida de quatro metros, houve somente duas observações na primeira classe (centro de classe 41 metros) e, por causa disso, esta foi desconsiderada.

Ajustando as mesmas equações acima agora relacionando o volume à idade para cada classe de sítio separadamente, o modelo de Schumacher foi escolhido. Assim como para altura dominante, as estatísticas de qualidade do ajuste para volume foram muito semelhantes, e apesar do modelo de Schumacher não ter sido melhor para nenhuma estatística, suas curvas para cada classe de sítio (gráficos não apresentados) mostraram maior realismo biológico em comparação com os outros modelos (Tabela 3).

Tabela 3. Modelos testados, parâmetros estimados e estatísticas de qualidade do ajuste para o volume em função da idade por classe de sítio. Os modelos estão em ordem de erro padrão residual.

Classe de sítio	Modelo	$S_{xy}$ (m)	$S_{xy}$ (%)	$\hat{R}^2$	$r_{y\hat{y}}$
II	Logística	57,040	14,143	0,454	0,712
	Gompertz	57,076	14,152	0,454	0,711
	Chapman e Richards	57,076	14,152	0,454	0,711
	Schumacher	57,086	14,154	0,453	0,695
III	Chapman e Richards	45,720	15,824	0,724	0,854
	Gompertz	45,743	15,832	0,724	0,853
	Schumacher	45,856	15,871	0,723	0,853
	Logística	45,863	15,873	0,723	0,853
IV	Chapman e Richards	43,455	21,639	0,607	0,780
	Gompertz	43,488	21,655	0,606	0,780
	Logística	43,571	21,697	0,605	0,779
	Schumacher	43,615	21,718	0,604	0,780
V	Chapman e Richards	25,110	17,093	0,669	0,819
	Gompertz	25,125	17,103	0,669	0,818
	Logística	25,152	17,122	0,668	0,818
	Schumacher	25,259	17,195	0,666	0,818
VI	Chapman e Richards	23,767	21,749	0,516	0,719
	Gompertz	23,778	21,759	0,516	0,719
	Logística	23,806	21,785	0,515	0,718
	Schumacher	23,870	21,843	0,512	0,720
VII	Chapman e Richards	14,301	17,857	0,406	0,641
	Gompertz	14,306	17,863	0,405	0,641
	Logística	14,316	17,876	0,404	0,640
	Schumacher	14,334	17,899	0,403	0,641

$S_{xy}$  = Erro padrão residual;  $\hat{R}^2$  = Coeficiente de determinação ajustado,  $r_{y\hat{y}}$  = Coeficiente de correlação.

Depois de ajustar 75 modelos utilizando o procedimento CurveFinder do CurveExpert, foi selecionado o melhor modelo para descrever a relação entre cada um dos parâmetros do modelo de Schumacher e o centro de classe local. Na tabela 4, apenas os cinco melhores modelos são mostrados para cada parâmetro.

Tabela 4. Modelos testados, os parâmetros estimados e estatísticas de qualidade do ajuste para os parâmetros de Schumacher em função do centro de classe local. Lista das respectivas equações para os modelos apresentados no apêndice.

Parâmetro	Modelo	Parâmetros				$S_{xy}$ (m)	$\hat{R}^2$	$r_{y\hat{y}}$
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$			
A	Exponencial	1,469175	1,012502	-	-	0,6442	0,9947	0,9973
	Reciprocal	0,246626	-0,002897	-	-	0,0645	0,9947	0,9973
	Harmonic	4,054717	-85,127298	-	-	0,0645	0,9947	0,9973
	Decline	4,143649	0,004081	-	-	0,0667	0,9943	0,0997
	Geomatic	3,723535	1,017694	-	-	0,0713	0,9935	0,9967
	Power law							
B	Farazdaghi-Harris	-0,028438	0,0000 <sup>ns</sup>	4,954243	-	2,1258	0,9920	0,9960
	Hyperbolic decline	-29,139116	-136,63923	3,610307	-	2,2280	0,9912	0,9956
	Rational model	-32,457473 <sup>ns</sup>	0,684601	-0,023104 <sup>ns</sup>	0,000044 <sup>ns</sup>	2,5367	0,9924	0,9962
	Reciprocal quadratic	-0,00812 <sup>ns</sup>	-0,002063 <sup>ns</sup>	0,000053	-	2,7347	0,9868	0,9934
	Steinhart-Hart	0,237308 <sup>ns</sup>	-0,132782 <sup>ns</sup>	0,004886	-	3,7346	0,9753	0,9876

Assim, obteve-se o modelo expandido (Equação 4), uma modificação do modelo de Schumacher em que foram inseridas sub-equações selecionadas acima. Neste modelo ou o centro de classe local ou o índice de local em si podem ser usados como covariável.

$$\ln(V) = \left( \Phi_1 * e^{\Phi_2^{CC}} \right) + \left( \Phi_3 + \Phi_4 * CC^{\Phi_5} \right)^{-1} * \left( \frac{1}{Idade} \right) \quad \text{Equação 4}$$



Em que:  $\ln$  = Logarítmo natural;  $V$  = volume estimado em  $m^3$ ;  $\Phi_i$  = parâmetros em que  $i= 1$  a 5;  $CC$  = Centro de classe;  $Idade$  = Idade em meses.

Ao se estimar o volume total para o conjunto de dados, todos os métodos subestimaram a produção total. Estimativas do modelo original estratificando por classe de local foi a mais próxima do valor observado seguido pelo modelo expandido utilizando o centro classe como covariável, modelo expandido com classe de sítio como covariável e, finalmente, o modelo original ajustado para todos os dados sem estratificação (Tabela 5). Considerando-se a escala em nível de talhão e parcela, o melhor método foi o modelo expandido usando índice de local como covariável, que apresentou desvios médio e mínimo mais próximos de zero e a menor soma dos resíduos quadrados, exceto em nível de talhão onde o desvio médio percentual foi menor para o modelo expandido com o centro de classe como covariável.

Tabela 5. Estimativa do volume com o modelo de Schumacher e respectivos resíduos de todo o conjunto de dados, por talhão e por parcela. Os métodos são: A- equação original ajustada à base de dados sem estratificação; B - equação original estratificada por classe de sítio; C - o modelo expandido desenvolvido com o centro de classe como covariável; D - modelo expandido com índice de sítio como covariável.

Método	Total Volume  1000m <sup>3</sup>	Desvios									
		Conjunto de dados		Talhão				Parcela			
		m <sup>3</sup>	%	Médio %	Mín %	Máx %	SQ 1x10 <sup>6</sup>	Médio %	Mín %	Máx %	SQ 1x10 <sup>6</sup>
A	374,16	-27,79	-6,91	2,29	-61,89	133,74	99,07	7,12	-68,82	339,17	10,17
B	394,86	-7,09	-1,76	0,76	-29,94	51,99	14,64	1,95	-46,40	189,36	2,37
C	392,05	-9,89	-2,46	-0,23	-31,06	47,79	14,29	0,81	-47,47	183,23	2,44
D	389,78	-12,17	-3,03	-0,91	-30,64	45,71	14,22	0,16	-44,24	174,97	2,01
Obs.	401,95										

Máx e Mín = desvios máximo e mínimo respectivamente; SQ = Soma dos quadrados dos resíduos.

As distribuições de desvio percentual da estimativa do volume em nível de talhão (Figura 2) tem forma muito semelhante para os métodos B, C e D. No entanto, o método D pode ser considerado o mais preciso, uma vez que retrata uma distribuição mais leptocúrtica, ou seja, mais concentrada em torno da média.

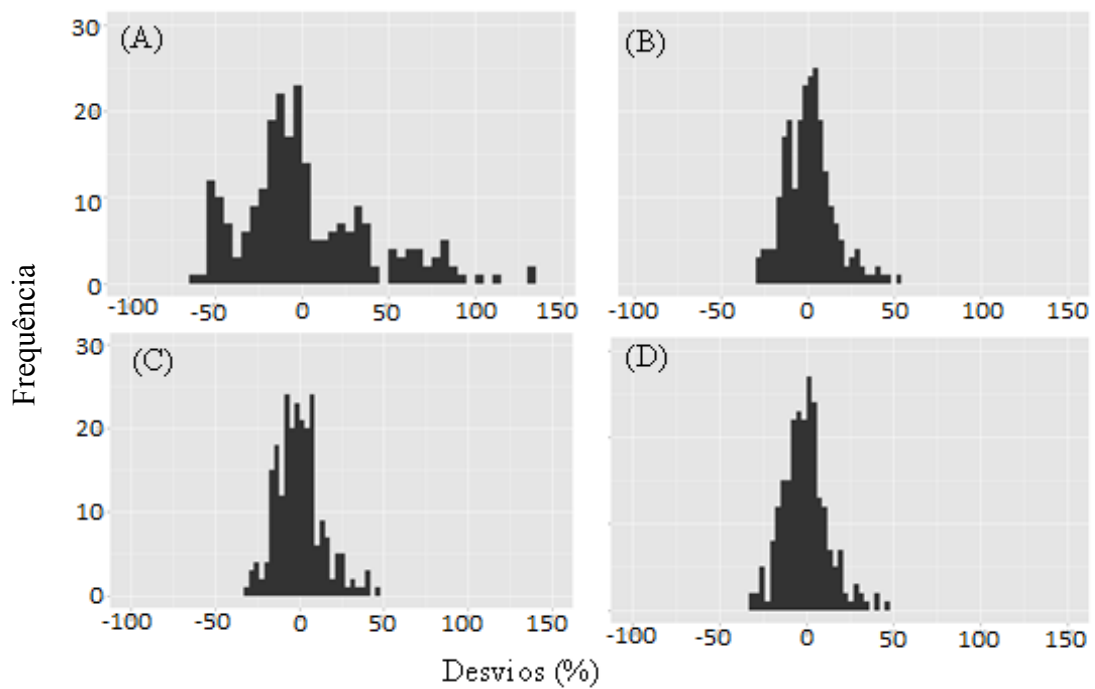


Figura 2. Os histogramas dos desvios percentuais de volume foram estimados através de quatro métodos: (A) é a equação original ajustada para o conjunto de dados sem estratificação; (B) a equação original ajustada por classe de sítio; (C) o modelo expandido aqui desenvolvido com o centro de classe como covariável; e (D) é o modelo expandido com índice de sítio como covariável.

O polimorfismo das curvas de produção geradas através do modelo expandido pelo método D fica evidenciado na figura 3. O método A gera apenas uma curva para todo o banco de dados, o método B geraria um gráfico para cada classe. As curvas geradas pelos métodos C e D levam em consideração o intervalo da classe, ou seja, os valores de índice de sítio e centro de classe estão no mesmo intervalo, logo não teria diferença na representação dos gráficos.

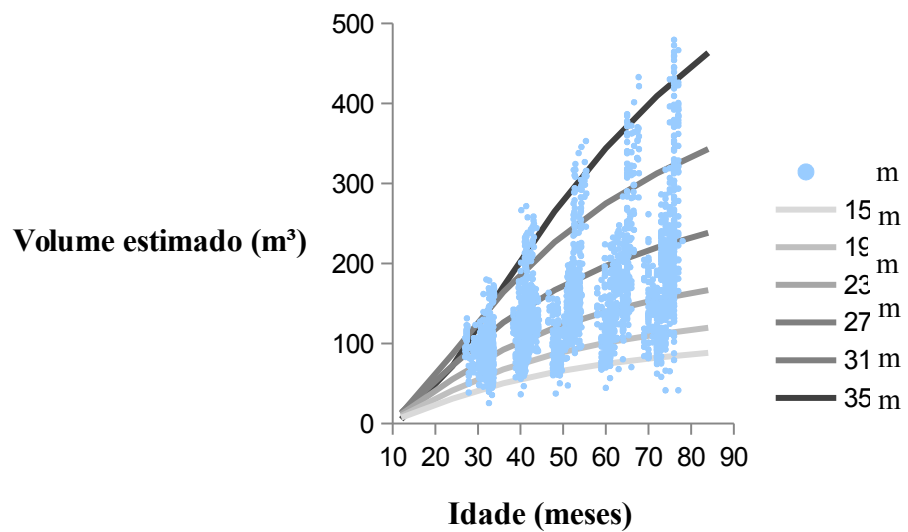


Figura 3. Curvas de volumes geradas através do modelo expandido. A legenda representa os índices de sítio.

Como a unidade básica de gestão é a escala dentro do qual todas as operações são planejadas, considerou-se que as informações mais importantes são as relacionadas aos talhões, unidade básica do gerenciamento florestal.

O método da predição de parâmetros é preferível em áreas onde a heterogeneidade da produção e o número de talhões justifique a preocupação com o armazenamento e aplicação das equações.

A inclusão da covariável índice de local aumentou a exatidão da estimativa comparada ao modelo ajustado para todos os dados, sem a estratificação.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação do método da predição de parâmetros relacionando os parâmetros do modelo de Schumacher ao centro de classe do índice de local foi eficaz na estimação da produção de madeira em povoamentos de *Eucalyptus* sp. gerando estimativas tão exatas quanto as do ajuste tradicional deste modelo com estratificação máxima.

O ajuste deve ser feito com o centro de classe de sítio, mas a aplicação com o próprio índice de local confere maior exatidão ao modelo.

Como o método do ajuste do modelo de Schumacher com estratificação máxima e o modelo expandido aqui desenvolvido apresentam exatidão e distribuição de erros próximos, ambos são indicados para predição da produção.

Se o armazenamento e a aplicação de múltiplas equações constituem um motivo de preocupação, o modelo aqui desenvolvido deve ser usado por se tratar de apenas uma equação para toda a base de dados.

Sugere-se a aplicação do método do modelo expandido em dados distintos, para fim de validação.

## 5. APÊNDICE

Cinco melhores modelos para cada parâmetro e respectivas equações utilizadas para relacionar os parâmetros do modelo de Schumacher com o centro de classe local.

Exponential:  $y = \beta_0 * e^{\beta_1 x}$

Reciprocal:  $y = (\beta_0 + \beta_1 * x)^{-1}$

Harmonic Decline:  $y = \beta_0 (1 + x \beta_1^{-1})^{-1}$

Geometric:  $y = \beta_0 * x^{\beta_1 * x}$

Power law:  $y = \beta_0 * \beta_1^x$

Farazdaghi-Harris:  $y = (\beta_0 + \beta_1 * x^{\beta_2})^{-1}$

Hyperbolic decline:  $y = \beta_0 * (\beta_1 * x \beta_2^{-1})^{(-\beta_3^{-1})}$

Rational model: 
$$y = \frac{\beta_0 + \beta_1 * x}{1 + \beta_2 * x + \beta_3 * x^2}$$

Reciprocal quadratic:  $y = (\beta_0 + \beta_1 * x + \beta_3 * x^2)^{-1}$

Steinhart-Hart:  $y = (\beta_0 + \beta_1 * \ln(x) + \beta_2 * \ln(x)^3)^{-1}$

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012. Brasília, 148 páginas. 2013.

CAMPOS, J. C. C. Principais Fatores do Meio que Afetam o Crescimento das Árvores. Floresta, Paraná, n.3, p.45-52, 1970.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 605p.

ELZHOV, T. V. et al. **minpack.lm: R interface to the Levenberg-Marquardt nonlinear least-squares algorithm found in MINPACK, plus support for bounds**, 2013. Disponível em: <http://cran.r-project.org/package=minpack.lm>.

FERREIRA, M. Z. **Modelagem da influência de variáveis ambientais no crescimento e na produção de *Eucalyptus* sp.** 2009. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GUIMARÃES, M. A. M.; CALEGARIO, N.; CARVALHO, L. M. T.; TRUGILHO, P. F. Height-diameter models in forestry with inclusion of covariates. **Cerne**, n. 3, 2009. v 15.

MAESTRI, R. **Modelos de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MESSIER, C.; PUETTMANN, K. J.; COATES, K. D. **Managing Forests as Complex Adaptive Systems: Building resilience to the challenge of global change**. 1a. ed. Routledge, 2014. 368p.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. UFSM, FACOS, 2008.

SCHÖNAU, A. P. G. 7. Problems in Using Vegetation or Soil Classification in Determining Site Quality. **South African Forestry Journal**, v. 141, n. 1, p. 13-18, 1987.