



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa  
Brasil

Garcia Leite, Helio; Saraiva Nogueira, Gilciano; Moreira, Antônio Maurício  
Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de Pinus Taeda L.  
Revista Árvore, vol. 30, núm. 4, julho-agosto, 2006, pp. 603-612  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48830413>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## EFEITO DO ESPAÇAMENTO E DA IDADE SOBRE VARIÁVEIS DE POVOAMENTOS DE *Pinus Taeda* L.<sup>1</sup>

Helio Garcia Leite<sup>2</sup>, Gilciano Saraiva Nogueira<sup>3</sup> e Antônio Maurício Moreira<sup>4</sup>

**RESUMO** – O objetivo deste estudo foi analisar os dados de um experimento sobre espaçamento inicial, implantado em povoamentos de *Pinus taeda* L. não-desbastados pertencentes à empresa IGARAS, localizados no Planalto Serrano do Estado de Santa Catarina, no Sul do Brasil. O experimento consistiu em um delineamento em blocos casualizados com três repetições e nove tratamentos (espaçamentos 1,5 x 1,0; 2,0 x 1,0; 2,5 x 1,0; 1,5 x 2,0; 2,0 x 2,0; 1,5 x 3,0; 2,5 x 2,0; 2,0 x 3,0; e 2,5 x 3,0 m). As medições foram realizadas nas idades de 4 a 14 anos. O efeito dos espaçamentos e da idade sobre as variáveis do povoamento foi analisado por meio do teste de Scott-Knot e de análise de regressão. Os resultados apontaram que os espaçamentos influenciam a tendência de crescimento em altura total, em área basal por ha, em diâmetro quadrático, em volume por árvore e em volume por ha. Os resultados permitiram confirmar que o espaçamento possui pouco efeito sobre as estimativas de altura total e que, aos 14 anos, os maiores espaçamentos proporcionam maiores estimativas de diâmetro quadrático, de volume por árvore e de sobrevivência e menores estimativas de área basal por ha e de volume por ha.

Palavras-chave: *Pinus taeda*, espaçamento inicial e crescimento.

## EFFECT OF SPACING AND AGE ON STAND VARIABLES OF *Pinus Taeda* L.

**ABSTRACT** – The objective of this study was to analyze data from an experiment on initial spacing, installed in unthinned stands of *Pinus taeda* L. owned by IGARAS company, located in the Planalto Serrano, State of Santa Catarina, in Southern Brazil. The experiment was arranged in a randomized block design with three repetitions and nine treatments (spacing 1.5 x 1.0; 2.0 x 1.0; 2.5 x 1.0; 1.5 x 2.0; 2.0 x 2.0; 1.5 x 3.0; 2.5 x 2.0; 2.0 x 3.0; and 2.5 x 3.0 m). The measurements were taken from 4 to 14 years. The spacing and age effect on stand variables was analyzed by the Scott-Knot test and regression analysis. The results showed that the spacing influenced the growth tendency for total height, basal area per ha, quadratic mean diameter, volume per tree and volume per ha. The results allowed the confirmation that the spacing has little effect on the estimates of total height, and up to 14 years, the largest spacings provide larger estimates for quadratic mean diameter, volume per tree and survival, and smaller estimates for basal area per ha and volume per ha.

Keywords: *Pinus taeda*, initial spacing and growth.

---

<sup>1</sup> Recebido em 10.03.2005 e aceito para publicação em 05.04.2006.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Viçosa-MG E-mail: <hglete@ufv.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal do Departamento de Pesquisa Igaras.

## 1. INTRODUÇÃO

A definição sobre o espaçamento inicial entre as árvores é uma das decisões mais importantes na implantação de floresta. Essa decisão afeta a formação das florestas, os tratamentos culturais, a qualidade da madeira, a colheita florestal e, conseqüentemente, os custos da produção (SIMÕES et al., 1976).

O uso da madeira produzida é um fator preponderante na decisão sobre o espaçamento. Nesse sentido, os povoamentos que empregam espécies que podem ser destinadas para diferentes usos, por exemplo espécies do gênero *Pinus*, a definição do espaçamento é determinante. Dentre essas espécies, o *Pinus taeda* merece destaque por apresentar rápido crescimento e fácil adaptabilidade. De acordo com Harms et al. (2000), essa é uma espécie muito comum e importante economicamente nos Estados Unidos e tem sido introduzida em vários países, como Argentina, Austrália, Brasil, China, Nova Zelândia e África do Sul. Os maiores programas de implantação e manejo de *Pinus taeda* são realizados no Brasil e na China.

De acordo com Will et al. (2001), pesquisadores têm, repetidamente, examinado a questão de como a densidade de plantio afeta o crescimento e a produção do povoamento, visando determinar a melhor densidade de plantio para a obtenção de diferentes produtos. Existem numerosas publicações que reportam sobre diversos estudos relacionados com espaçamento em *Pinus taeda* (HARMS e LANGDON, 1976; PIENAAR e SHIVER, 1993; GOMES et al., 1997; BALDWIN JR. et al., 2000; HARMS et al., 2000; WILL et al., 2001; RADTKE et al., 2003). Com base nos resultados de

diversos experimentos, Couto et al. (2002) apresentaram ampla discussão sobre espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento. Observou-se que existe consenso em relação ao efeito do espaçamento sobre as variáveis da árvore e do povoamento. De maneira geral, os menores espaçamentos resultam em menor diâmetro quadrático, maior área basal por ha, maior volume total por ha e menor porcentagem de sobrevivência. Entretanto, ainda persistem questionamentos sobre o espaçamento inicial em reflorestamentos com diferentes espécies, principalmente em relação à definição da área ideal para o crescimento de uma árvore. Essa decisão é complexa, pois envolve vários fatores ecológicos, fisiológicos, silviculturais e econômicos.

Com o objetivo de contribuir com os conhecimentos técnicos relacionados com espaçamento inicial entre árvores em povoamentos de *Pinus taeda* implantados no sul Brasil, realizou-se este estudo, no qual foram analisados os efeitos de diferentes espaçamentos sobre variáveis do povoamento nas idades de 4 a 14 anos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Tratamentos e medições das variáveis aporuguesados

O experimento consistiu em um delineamento em blocos casualizados com nove tratamentos (espaçamentos) e três repetições, no esquema de parcelas subdivididas no tempo (idades de 4 a 14 anos). O número de covas por parcela foi constante em todos os espaçamentos (Quadro 1). Em cada parcela foram medidas as variáveis altura total (*Ht*) e diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*).

**Quadro 1** – Caracterização dos tratamentos  
**Table 1** – Characterization of the treatments

Tratamento	Espaçamento	Área Útil por Árvore (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores por Parcela <sup>1</sup>	Área da Parcela (m <sup>2</sup> )
1	1,5 x 1,0	1,5	64	96
2	2,0 x 1,0	2	64	128
3	2,5 x 1,0	2,5	64	160
4	1,5 x 2,0	3	64	192
5	2,0 x 2,0	4	64	256
6	1,5 x 3,0	4,5	64	288
7	2,5 x 2,0	5	64	320
8	2,0 x 3,0	6	64	384
9	2,5 x 3,0	7,5	64	480

<sup>1/</sup> Excluindo-se a área da bordadura.

Nos poucos casos em que a variável  $Ht$  não foi mensurada, utilizou-se a equação  $LnHt = 1,466920 - 4,573573dap^{-1} + 0,549047 LnHd$ , ajustada com os dados da medição realizada aos 14 anos, sendo  $Hd$  a altura dominante média da parcela. Além desses dados, em cada espaçamento foram cubadas 15 árvores, em pé, utilizando um Pentaprisma de Weller e um Clinômetro de Suunto. As medições de diâmetro com casca foram realizadas a cada 2,0 m de altura, e a fórmula de cubagem utilizada foi a de Smalian. Este experimento foi instalado em povoamentos de *Pinus taeda* não-desbastados pertencentes à empresa IGARAS, localizados no Planalto Serrano do Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil.

O volume individual das árvores contidas nas parcelas foi obtido por meio de equações volumétricas geradas a partir do modelo  $LnV = b_0 + b_1 \ln dap + b_2 \ln Ht + e$  e, em alguns casos, o modelo  $LnV = b_0 + b_1 \ln (dap^2 Ht) + e$ . Em cada tratamento, a decisão de utilizar um desses modelos foi tomada com base na análise gráfica dos resíduos.

Para cada parcela e cada idade foram geradas as variáveis: altura total média ( $\bar{H}$ ), diâmetro quadrático ( $q$ ), área basal por ha ( $B$ ), volume médio por árvore ( $V_i$ ) e volume por ha ( $V$ ). Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dessas variáveis, em cada idade, discriminadas pelo teste de Scott-Knot, a 5% de probabilidade. O comportamento dessas variáveis ao longo do tempo foi analisado por meio da análise de regressão não-linear. A escolha, para cada espaçamento, dentre os modelos Weibull, MMF, Gompertz, Logístico e Richards, foi feita com base no coeficiente de correlação ( $R_{xy}$ ), no erro-padrão dos

resíduos ( $S_{yx}$ ) e na análise gráfica dos resíduos. Para verificar a igualdade estatística entre as curvas de crescimento, ou seja, entre as estimativas geradas pelas equações de cada tratamento, empregou-se o teste L&O (LEITE e OLIVEIRA, 2002), a 5% de probabilidade. Esta análise foi realizada para todas as variáveis.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Resultados

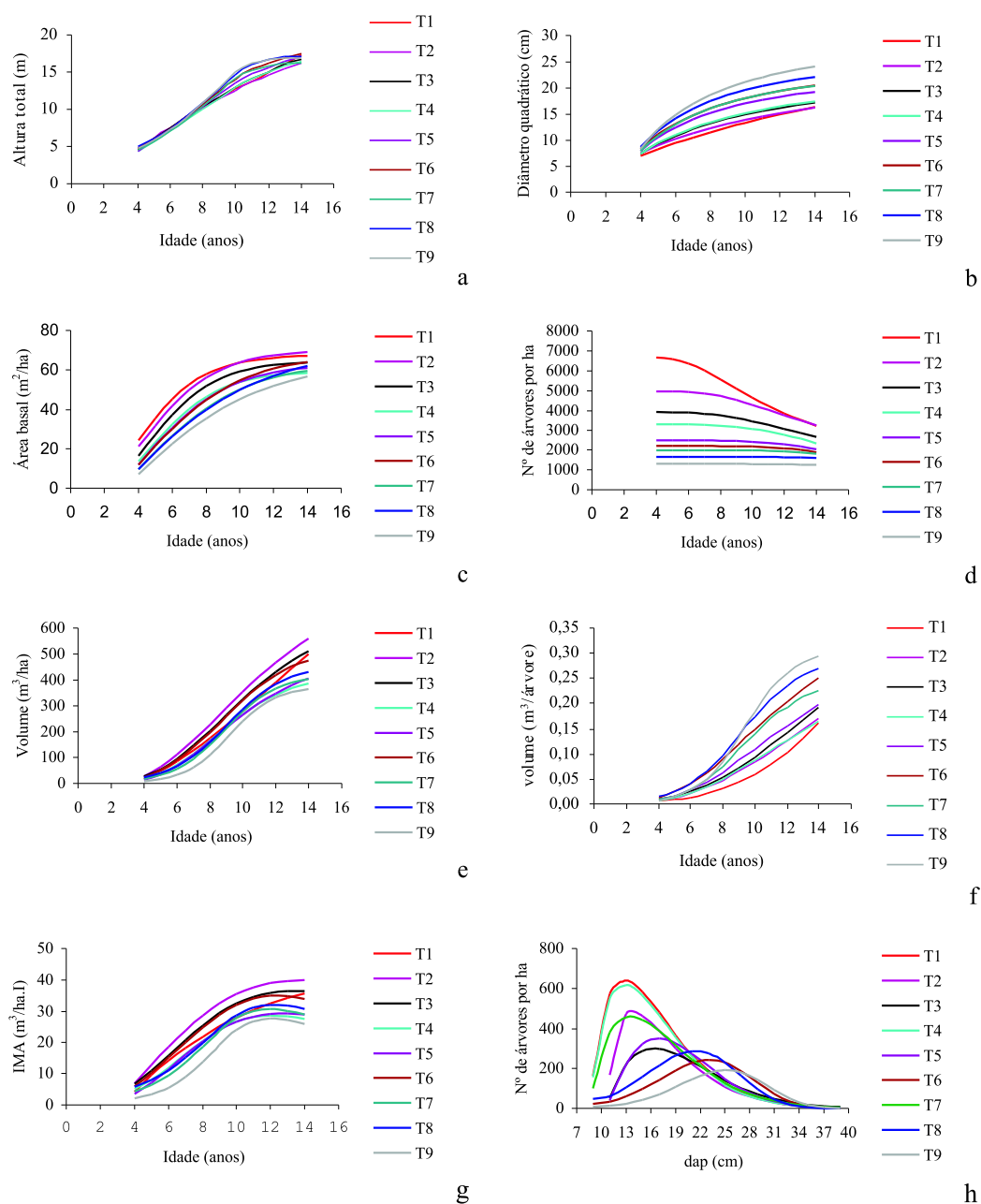
As análises de variância de cada variável testada foram efetuadas com os dados originais (Quadros 2). Considerando que todas as interações foram significativas, realizaram-se os devidos desdobramentos. Os resultados do teste de médias são apresentados no Quadro 3 (Anexo).

O comportamento das variáveis ao longo do tempo, em cada espaçamento testado, foi analisado por meio de análise de regressão. As equações ajustadas e as estatísticas usadas para selecionar os modelos são apresentadas no Quadro 4 (Anexo). O comportamento da altura total (a), do diâmetro quadrático (b), da área basal por ha (c), do número de árvores por ha (d), do volume por ha (e), do volume por árvore (f) e do incremento médio anual (g) ao longo dos anos em cada espaçamento é apresentado na Figura 1. Nesta figura, é apresentada também a distribuição dos diâmetros aos 14 anos (h) em cada espaçamento. Para facilitar a interpretação, foi elaborada a Figura 2, com o comportamento do crescimento em altura e em área basal nos dois menores e nos dois maiores espaçamentos.

**Quadro 2** – Resumo da ANOVA para cada variável analisada  
*Table 2* – Summary of ANOVA for each analyzed variable

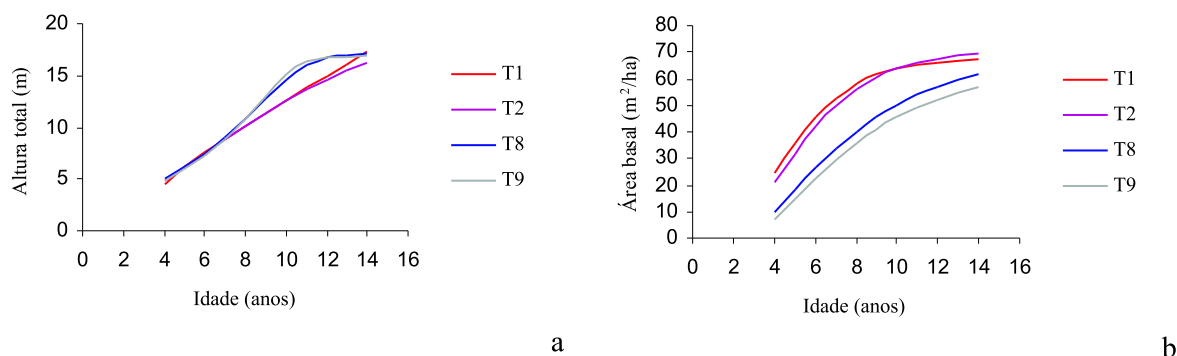
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	QM					
		Altura Total (m)	Diâmetro Quadrático (cm)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Sobrevivência (%)	Volume por Hectare (m <sup>3</sup> /ha)	Volume por Árvores (m <sup>3</sup> /árvore)
Blocos	2						
Espaçamento	8	3,49 **	3,00 **	1019,80 **	1106,89 **	26879,59 **	0,019490 **
Resíduo (a)	16	0,32	121,02	31,67	91,28	761,27	0,000310
Idade	8	549,29 **	0,91 **	8005,24 **	1503,75 **	694150,20 **	0,153007 **
Espaçamento x Idade	64	0,59 **	407,94 **	9,57 **	120,61 **	1224,81 **	0,001526 **
Resíduo (b)	144	0,07	1,88	3,08	11,03	127,12	0,000049
CV da parcela		5,23	12,92	6,59	10,33	13,08	19,52
CV da subparcela		2,36	4,03	2,17	3,59	5,35	7,75

\* e \*\* significativos a 5 e 1%, respectivamente.



**Figura 1** – Comportamento da altura total média (a), do diâmetro quadrático (b), da área basal por ha (c), do número de árvores por ha (d), do volume por ha (e), do volume por árvore (f), do incremento médio anual – IMA – (g) e da distribuição diamétrica aos 14 anos (h) por espaçamento.

**Figure 1** – Behavior of mean total height (a), quadratic mean diameter (b), basal area per ha (c), number of trees per ha (d), volume per ha (e), volume per tree (f), mean annual increment – IMA – (g) and diametric distribution at 14 years old (h) per spacing.



**Figura 2** – Comportamento da altura total média (a) e da área basal por ha (b) ao longo do tempo, considerando-se os tratamentos com maiores e menores espaçamentos.

**Figure 2** – Behavior of mean total height (a) and basal area per ha (b) over the time, considering the treatments with larger and smaller spacing.

### 3.2. Análises dos resultados

Até os oito anos não houve diferença estatística entre as estimativas de altura total (Quadro 3). A partir do décimo ano, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. Apesar das significâncias, a maior diferença entre médias de altura, aos 14 anos, foi de 1,1 m, ou seja, o espaçamento teve pouco efeito sobre as estimativas da altura total na última medição, conforme esperado.

As diferenças nas tendências de crescimento em altura total, entre espaçamentos, podem ser verificadas nas Figuras 1a e 2a. As curvas referentes aos espaçamentos maiores apresentam estagnação próxima aos 11 anos, e os valores das assíntotas (parâmetros  $\alpha$  – Quadro 4) apresentam valores próximos aos valores médios de altura total aos 14 anos (Quadro 3). Nos espaçamentos menores, observa-se que a estagnação ocorrerá em idades mais avançadas. Essas diferenças podem ser atribuídas a aspectos fisiológicos e climáticos. Will et al. (2001) verificaram correlação direta entre crescimento e radiação interceptada. Segundo esses mesmos autores, as árvores sob diferentes densidades parecem modificar a morfologia de suas folhas para aumentar a interceptação da luz pelas copas. Nakazono et al. (2001) mencionaram que as plantas sob forte sombreamento apresentaram alterações que levaram a maximizar a captura de luz, como aumento na proporção de clorofila b, em relação à clorofila a, aumentando a razão de área foliar, diminuindo a razão entre raiz e parte aérea e reduzindo a massa foliar específica.

A estagnação do crescimento em diâmetro iniciou-se mais cedo nos menores espaçamentos, uma vez que esse crescimento é substancialmente afetado pela densidade. Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos extremos em todas as idades, e os maiores espaçamentos proporcionaram maiores estimativas de diâmetro quadrático (Quadro 3). Na Figura 1b, observa-se que a tendência da curva do diâmetro quadrático em relação à idade foi diferente em todos os tratamentos, sendo as maiores taxas de crescimento obtidas pelos espaçamentos mais amplos. A distribuição dos diâmetros de cada tratamento aos 14 anos (Figura 1h) também indica a influência do espaçamento sobre o diâmetro das árvores. Nos espaçamentos mais amplos, o maior número de indivíduos pertence às maiores classes de diâmetro.

Verifica-se no Quadro 3 que, até a idade de 7 anos, a porcentagem de sobrevivência foi estatisticamente equivalente em todos os espaçamentos. A partir da idade de 8 anos, o teste foi significativo, sendo estabelecidos grupos com porcentagens de sobrevivência equivalentes. Os maiores espaçamentos apresentaram porcentagem de sobrevivência maior que os espaçamentos menores. O comportamento do número de árvores por ha ao longo do tempo, que corresponde ao comportamento da sobrevivência, pode ser analisado nas Figura 1d, na qual se verifica que a mortalidade foi mais acentuada nos menores espaçamentos.

Com relação à área basal por ha, os tratamentos apresentaram diferenças significativas (Quadro 3) em

todas as idades, sendo que até os 8 anos se verificou que, quanto menor o espaçamento, maior a estimativa média da área basal. A partir do décimo ano, ocorreram alterações na posição e agrupamento dos tratamentos. Ao analisar as Figuras 1c e 2b, notou-se que a tendência de crescimento em área basal foi diferente em todos os tratamentos e que a estagnação do crescimento ocorreu mais cedo, nos menores espaçamentos.

A influência do espaçamento sobre o volume por ha e por árvore (Quadro 3) é resultado do efeito do espaçamento sobre a sobrevivência e sobre o crescimento em diâmetro e em altura. Após a idade de 5 anos, o teste de médias indicou diferenças significativas entre os tratamentos, agrupando os tratamentos com estimativas equivalentes. A Figura 1c e 1d indica o desempenho das curvas de crescimento em volume por ha e por árvore. Os espaçamentos maiores apresentaram curvas com assíntotas bem definidas, o que pode ser explicado pelo fato de a estagnação do crescimento em altura ter sido mais bem estabelecida nos espaçamentos maiores. A estagnação do crescimento em volume por ha pode ser mais bem analisada por meio do incremento médio anual (IMA), conforme Figura 1g.

De acordo com os resultados do teste L&O, apenas as estimativas de altura total dos tratamentos 7 e 8 e as estimativas de área basal dos tratamentos 8 e 9 são estatisticamente iguais. Nas demais situações, o teste foi significativo, indicando que as curvas foram estatisticamente diferentes. Isso mostra que o espaçamento teve influência na tendência de crescimento em altura total, em área basal, em diâmetro quadrático e em volume por árvore e em volume por ha.

Verificou-se que as diferenças entre as médias de altura total, de diâmetro quadrático, de área basal e de volume, entre espaçamentos, são mais acentuadas em idades mais avançadas (Quadro 3 e Figura 1). Isso de fato já era esperado em um povoamento equiânneo não-desbastado e indica que comparações de espaçamentos feitas em idades jovens não são consistentes, devendo-se preferir a comparação próxima à idade técnica de corte. Além disso, a escolha do espaçamento depende do objetivo da produção florestal.

Nos cenários estabelecidos neste estudo, o espaçamento mais apropriado para a obtenção de maior produção por unidade de área foi o tratamento 2 (2,0 x 1,0 m). Para a produção de árvores de maior porte,

o espaçamento mais apropriado foi o 9 (2,5 x 3,0 m), enquanto para compatibilizar os ganhos tanto em termos de volume por ha quanto em termos de volume por árvore o espaçamento mais adequado foi o 6 (1,5 x 3,0 m), seguido pelo espaçamento 8 (2,0 x 3,0 m). Esses espaçamentos apresentaram resultados satisfatórios em relação às estimativas médias do volume por ha, do diâmetro quadrático e do volume por árvore. Cabe ressaltar que a escolha do espaçamento é função, também, de considerações de ordem econômica.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que os espaçamentos influenciam a tendência de crescimento em altura total, em área basal por ha, em diâmetro quadrático, em volume por árvore e em volume por ha. Os resultados permitiram a confirmação de que o espaçamento exerce pouco efeito sobre as estimativas de altura total e que, aos 14 anos, os maiores espaçamentos proporcionaram maiores estimativas de diâmetro quadrático, de volume por árvore e de sobrevivência; bem como menores estimativas de área basal por ha e de volume por ha.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDWIN, Jr., V.C. et al. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly Pine. **Forest Ecology and Management**, v. 137, p. 91-102, 2000.
- COUTO, L. et al. **Espaçamento de plantio de espécie de rápido crescimento para dendroenergia**. Belo Horizonte: CEMIG, 2002. 66p.
- GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamento de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v. 7, p. 101-126, 1997.
- HARMS, W.R.; WHITESELL, C.D.; DeBELL D.S. Growth and development of loblolly pine in a spacing trial planted in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, v. 126, p. 13-14, 2000.

HARMS, W.R.; LANGDON, O.G. Development of loblolly pine in dense stands. **Forest Science**, v. 22, p. 331-337, 1976.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 33, n. 7/8, p. 1105-1118, 2002.

NAKAZONO, E.M. et al. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. Em diferentes regimes de luz. **Revista Brasil Botânica**, v. 24, p. 173-179, 2001.

PIENAAR, L.V.; SHIVER, B.D. Early results from an old-field loblolly pine spacing study in the Georgia piedmont with competition control. **South. J. Appl. For.**, v. 17, p. 193-196, 1993.

RADTKE, P.J.; WESTFALL, J.A.; BURKHART, A.W. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.

SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; MALINOVSKY, J.R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74 p. (Série divulgação PNUD/FAO/IBDF/BRA-45,6).

WILL, R.R. et al. Relationship between intercepted radiation, net photosynthesis, respiration, and rate of stem volume growth of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different densities. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 155-163, 2001.

## 6. ANEXOS

**Quadro 3** – Médias por tratamento e por idade de altura total, de diâmetro quadrático, de área basal por ha, de sobrevivência, de volume por ha e de volume médio por árvore

**Table 3** – Means per treatment and per age of total height, quadratic mean diameter, basal area per ha, survival, volume per ha and mean volume per ha

Altura Total (m)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
1	4,6 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>	13,0 <sup>d</sup>	13,9 <sup>c</sup>	14,4 <sup>d</sup>	17,5 <sup>a</sup>
2	4,7 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>	12,9 <sup>d</sup>	13,4 <sup>d</sup>	14,6 <sup>d</sup>	16,4 <sup>b</sup>
3	4,6 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	13,3 <sup>d</sup>	14,2 <sup>c</sup>	14,9 <sup>d</sup>	16,8 <sup>b</sup>
4	4,3 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	8,6 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	13,4 <sup>d</sup>	14,1 <sup>c</sup>	14,8 <sup>d</sup>	16,5 <sup>b</sup>
5	4,4 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>	14,0 <sup>c</sup>	14,8 <sup>b</sup>	15,4 <sup>c</sup>	17,1 <sup>a</sup>
6	4,6 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>	14,5 <sup>b</sup>	15,3 <sup>b</sup>	15,9 <sup>b</sup>	17,5 <sup>a</sup>
7	4,3 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	14,5 <sup>b</sup>	15,1 <sup>b</sup>	15,8 <sup>b</sup>	16,4 <sup>b</sup>
8	4,6 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>
9	4,4 <sup>a</sup>	6,1 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>	15,4 <sup>a</sup>	16,1 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>
Diâmetro Quadrático (cm)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
1	6,8 <sup>b</sup>	8,3 <sup>d</sup>	9,5 <sup>f</sup>	10,5 <sup>g</sup>	11,6 <sup>f</sup>	13,3 <sup>f</sup>	14,0 <sup>f</sup>	14,8 <sup>f</sup>	16,6 <sup>f</sup>
2	7,4 <sup>b</sup>	9,0 <sup>c</sup>	10,4 <sup>e</sup>	11,4 <sup>f</sup>	12,3 <sup>f</sup>	13,8 <sup>f</sup>	14,4 <sup>f</sup>	15,2 <sup>f</sup>	16,4 <sup>f</sup>
3	7,2 <sup>b</sup>	9,4 <sup>c</sup>	11,1 <sup>d</sup>	12,3 <sup>e</sup>	13,2 <sup>e</sup>	14,6 <sup>e</sup>	15,5 <sup>e</sup>	16,2 <sup>e</sup>	17,5 <sup>e</sup>
4	7,2 <sup>b</sup>	9,5 <sup>c</sup>	11,3 <sup>d</sup>	12,4 <sup>e</sup>	13,5 <sup>e</sup>	14,8 <sup>e</sup>	15,7 <sup>e</sup>	16,4 <sup>e</sup>	17,8 <sup>e</sup>
5	7,8 <sup>a</sup>	10,6 <sup>b</sup>	12,7 <sup>c</sup>	14,0 <sup>d</sup>	15,2 <sup>d</sup>	16,8 <sup>d</sup>	17,5 <sup>d</sup>	18,2 <sup>d</sup>	19,6 <sup>d</sup>
6	8,3 <sup>a</sup>	11,1 <sup>b</sup>	13,3 <sup>c</sup>	14,9 <sup>c</sup>	16,2 <sup>c</sup>	17,9 <sup>c</sup>	18,6 <sup>c</sup>	19,3 <sup>c</sup>	20,8 <sup>c</sup>
7	7,9 <sup>a</sup>	10,7 <sup>b</sup>	13,1 <sup>c</sup>	14,8 <sup>c</sup>	16,1 <sup>c</sup>	17,9 <sup>c</sup>	18,8 <sup>c</sup>	19,3 <sup>c</sup>	20,6 <sup>c</sup>
8	8,7 <sup>a</sup>	11,6 <sup>a</sup>	14,1 <sup>b</sup>	16,3 <sup>b</sup>	17,5 <sup>b</sup>	19,5 <sup>b</sup>	20,5 <sup>b</sup>	21,0 <sup>b</sup>	22,2 <sup>b</sup>
9	8,3 <sup>a</sup>	12,0 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	18,7 <sup>a</sup>	21,1 <sup>a</sup>	22,0 <sup>a</sup>	22,7 <sup>a</sup>	24,1 <sup>a</sup>
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
1	24,1 <sup>a</sup>	35,9 <sup>a</sup>	45,8 <sup>a</sup>	52,1 <sup>a</sup>	58,4 <sup>a</sup>	62,8 <sup>a</sup>	66,1 <sup>a</sup>	65,7 <sup>a</sup>	67,5 <sup>a</sup>
2	21,1 <sup>a</sup>	31,7 <sup>b</sup>	42,3 <sup>a</sup>	49,8 <sup>a</sup>	55,9 <sup>a</sup>	63,6 <sup>a</sup>	66,9 <sup>a</sup>	67,1 <sup>a</sup>	69,0 <sup>a</sup>
3	16,0 <sup>b</sup>	27,5 <sup>c</sup>	37,9 <sup>b</sup>	45,6 <sup>b</sup>	51,5 <sup>b</sup>	59,5 <sup>a</sup>	61,9 <sup>b</sup>	61,1 <sup>b</sup>	64,8 <sup>b</sup>

Continua ...  
Continued ...



**Quadro 3 – Cont.**  
**Table 3 – Cont.**

Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
4	13,5 <sup>b</sup>	23,4 <sup>d</sup>	33,1 <sup>c</sup>	39,7 <sup>c</sup>	46,6 <sup>c</sup>	53,6 <sup>b</sup>	57,0 <sup>c</sup>	57,4 <sup>c</sup>	58,0 <sup>c</sup>
5	11,9 <sup>b</sup>	21,6 <sup>d</sup>	31,5 <sup>c</sup>	38,3 <sup>c</sup>	45,0 <sup>c</sup>	53,9 <sup>b</sup>	57,4 <sup>c</sup>	58,8 <sup>c</sup>	61,1 <sup>c</sup>
6	11,8 <sup>b</sup>	21,2 <sup>d</sup>	30,8 <sup>c</sup>	38,2 <sup>c</sup>	44,8 <sup>c</sup>	54,1 <sup>b</sup>	58,0 <sup>c</sup>	61,5 <sup>b</sup>	63,8 <sup>b</sup>
7	9,7 <sup>c</sup>	18,0 <sup>e</sup>	27,0 <sup>d</sup>	34,3 <sup>d</sup>	40,3 <sup>d</sup>	49,9 <sup>c</sup>	54,1 <sup>c</sup>	56,2 <sup>c</sup>	59,5 <sup>c</sup>
8	9,9 <sup>c</sup>	17,6 <sup>c</sup>	26,0 <sup>d</sup>	34,6 <sup>d</sup>	39,7 <sup>d</sup>	49,6 <sup>c</sup>	54,0 <sup>c</sup>	57,1 <sup>c</sup>	61,9 <sup>c</sup>
9	7,1 <sup>c</sup>	14,5 <sup>c</sup>	22,6 <sup>d</sup>	29,5 <sup>e</sup>	35,5 <sup>e</sup>	45,1 <sup>d</sup>	49,2 <sup>d</sup>	52,1 <sup>d</sup>	56,6 <sup>c</sup>
Sobrevivência (%)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
1	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	96,4 <sup>a</sup>	89,6 <sup>a</sup>	83,3 <sup>b</sup>	68,8 <sup>c</sup>	65,1 <sup>c</sup>	58,3 <sup>d</sup>	47,9 <sup>d</sup>
2	99,5 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	97,9 <sup>a</sup>	94,8 <sup>a</sup>	84,9 <sup>b</sup>	82,3 <sup>b</sup>	74,0 <sup>c</sup>	65,6 <sup>c</sup>
3	97,9 <sup>a</sup>	98,4 <sup>a</sup>	97,9 <sup>a</sup>	95,3 <sup>a</sup>	93,8 <sup>a</sup>	89,1 <sup>b</sup>	82,3 <sup>b</sup>	75,0 <sup>c</sup>	67,7 <sup>c</sup>
4	99,5 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	97,9 <sup>a</sup>	97,4 <sup>a</sup>	93,8 <sup>a</sup>	88,5 <sup>a</sup>	82,3 <sup>b</sup>	70,3 <sup>c</sup>
5	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	95,3 <sup>a</sup>	90,5 <sup>a</sup>	81,3 <sup>b</sup>
6	99,0 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	98,4 <sup>a</sup>	97,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,4 <sup>a</sup>	94,8 <sup>a</sup>	84,9 <sup>b</sup>
7	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	97,4 <sup>a</sup>	96,4 <sup>a</sup>	89,6 <sup>a</sup>
8	99,0 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	99,5 <sup>a</sup>	98,4 <sup>a</sup>	99,0 <sup>a</sup>	95,8 <sup>a</sup>
9	97,4 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,9 <sup>a</sup>	96,4 <sup>a</sup>	92,7 <sup>a</sup>
Volume por Hectare (m <sup>3</sup> /ha)									
Tratamento	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	10 anos	11 anos	12 anos	14 anos
1	19,0 <sup>a</sup>	45,5 <sup>a</sup>	77,8 <sup>b</sup>	133,1 <sup>b</sup>	174,1 <sup>b</sup>	292,2 <sup>c</sup>	343,6 <sup>c</sup>	360,6 <sup>c</sup>	510,0 <sup>b</sup>
2	27,9 <sup>a</sup>	64,0 <sup>a</sup>	107,9 <sup>a</sup>	172,9 <sup>a</sup>	223,3 <sup>a</sup>	362,9 <sup>a</sup>	409,7 <sup>a</sup>	464,1 <sup>a</sup>	560,9 <sup>a</sup>
3	19,8 <sup>a</sup>	52,4 <sup>a</sup>	95,9 <sup>a</sup>	154,1 <sup>b</sup>	196,3 <sup>b</sup>	335,3 <sup>b</sup>	394,4 <sup>a</sup>	409,7 <sup>b</sup>	519,1 <sup>b</sup>
4	16,4 <sup>a</sup>	40,5 <sup>b</sup>	76,4 <sup>b</sup>	115,7 <sup>c</sup>	155,4 <sup>c</sup>	274,9 <sup>c</sup>	312,4 <sup>d</sup>	335,7 <sup>d</sup>	388,8 <sup>f</sup>
5	13,7 <sup>a</sup>	37,5 <sup>b</sup>	72,0 <sup>b</sup>	111,4 <sup>c</sup>	153,3 <sup>c</sup>	274,6 <sup>c</sup>	315,2 <sup>d</sup>	341,4 <sup>d</sup>	406,1 <sup>e</sup>
6	21,4 <sup>a</sup>	52,5 <sup>a</sup>	94,1 <sup>a</sup>	143,4 <sup>b</sup>	187,7 <sup>b</sup>	328,8 <sup>b</sup>	375,2 <sup>b</sup>	414,7 <sup>b</sup>	476,8 <sup>c</sup>
7	12,1 <sup>a</sup>	32,1 <sup>b</sup>	60,5 <sup>b</sup>	102,1 <sup>c</sup>	136,2 <sup>c</sup>	289,0 <sup>c</sup>	327,9 <sup>c</sup>	363,5 <sup>c</sup>	407,2 <sup>c</sup>
8	15,5 <sup>a</sup>	38,4 <sup>b</sup>	69,3 <sup>b</sup>	114,9 <sup>c</sup>	148,9 <sup>c</sup>	292,6 <sup>c</sup>	341,1 <sup>c</sup>	382,2 <sup>c</sup>	432,8 <sup>d</sup>
9	5,6 <sup>a</sup>	18,2 <sup>b</sup>	39,2 <sup>c</sup>	68,8 <sup>d</sup>	94,7 <sup>d</sup>	250,5 <sup>d</sup>	294,2 <sup>d</sup>	323,5 <sup>d</sup>	368,2 <sup>f</sup>
Volume por Árvore (m <sup>3</sup> /árvore)									
	4	5	6	7	8	10	11	12	14
1	0,0029 <sup>a</sup>	0,0069 <sup>a</sup>	0,0121 <sup>b</sup>	0,0223 <sup>d</sup>	0,0313 <sup>d</sup>	0,0649 <sup>f</sup>	0,0802 <sup>f</sup>	0,0947 <sup>f</sup>	0,1652 <sup>f</sup>
2	0,0056 <sup>a</sup>	0,0129 <sup>a</sup>	0,0218 <sup>b</sup>	0,0353 <sup>c</sup>	0,0472 <sup>c</sup>	0,0857 <sup>e</sup>	0,0997 <sup>e</sup>	0,1258 <sup>e</sup>	0,1716 <sup>f</sup>
3	0,0051 <sup>a</sup>	0,0133 <sup>a</sup>	0,0245 <sup>b</sup>	0,0404 <sup>c</sup>	0,0523 <sup>c</sup>	0,0942 <sup>c</sup>	0,1180 <sup>d</sup>	0,1385 <sup>d</sup>	0,1946 <sup>e</sup>
4	0,0049 <sup>a</sup>	0,0123 <sup>a</sup>	0,0232 <sup>b</sup>	0,0355 <sup>c</sup>	0,0479 <sup>c</sup>	0,0882 <sup>e</sup>	0,1064 <sup>e</sup>	0,1235 <sup>e</sup>	0,1662 <sup>f</sup>
5	0,0056 <sup>a</sup>	0,0152 <sup>a</sup>	0,0292 <sup>b</sup>	0,0451 <sup>c</sup>	0,0621 <sup>b</sup>	0,1135 <sup>d</sup>	0,1324 <sup>d</sup>	0,1508 <sup>d</sup>	0,2001 <sup>e</sup>
6	0,0097 <sup>a</sup>	0,0237 <sup>a</sup>	0,0425 <sup>a</sup>	0,0655 <sup>a</sup>	0,0862 <sup>a</sup>	0,1529 <sup>c</sup>	0,1755 <sup>c</sup>	0,1972 <sup>c</sup>	0,2535 <sup>c</sup>
7	0,0061 <sup>a</sup>	0,0162 <sup>a</sup>	0,0304 <sup>b</sup>	0,0513 <sup>b</sup>	0,0685 <sup>b</sup>	0,1461 <sup>c</sup>	0,1686 <sup>c</sup>	0,1889 <sup>c</sup>	0,2274 <sup>d</sup>
8	0,0094 <sup>a</sup>	0,0231 <sup>a</sup>	0,0418 <sup>a</sup>	0,0693 <sup>a</sup>	0,0898 <sup>a</sup>	0,1765 <sup>b</sup>	0,2079 <sup>b</sup>	0,2316 <sup>b</sup>	0,2710 <sup>b</sup>
9	0,0043 <sup>a</sup>	0,0141 <sup>a</sup>	0,0303 <sup>b</sup>	0,0533 <sup>b</sup>	0,0732 <sup>b</sup>	0,1939 <sup>a</sup>	0,2277 <sup>a</sup>	0,2517 <sup>a</sup>	0,2979 <sup>a</sup>

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Skott-Knott.

**Quadro 4** – Equações obtidas em cada tratamento, das variáveis altura total média ( $\bar{H}$ ), diâmetro quadrático ( $q$ ), área basal por hectare ( $B$ ), número de árvores por hectare ( $N$ ), volume por hectare ( $V$ ) e volume médio por árvore ( $\bar{V}$ )  
**Table 4** – Equations obtained in each treatment for the variables mean total height ( $Ht$ ), quadratic mean diameter ( $q$ ), basal area per ha ( $B$ ), number of trees per ha ( $N$ ), volume per ha ( $V$ ) and mean volume per tree ( $\bar{V}$ )

Altura Total Média ( $Ht$ )							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	MMF	-2,971571	78,282874	188,928580	0,841243	0,9946	0,4581
2	Gompertz	20,742071	1,099713	0,179566		0,9969	0,3121
3	Gompertz	20,992851	1,180756	0,190900		0,9965	0,3564
4	Logístico	18,237363	12,369171	0,339755		0,9959	0,3953
5	Logístico	18,633946	12,959910	0,352596		0,9944	0,4832
6	Richards	18,112061	5,103844	0,533993	2,272461	0,9964	0,4077
7	Richards	16,333417	10,627002	1,050071	5,116428	0,9965	0,3924
8	Richards	17,169500	10,981446	1,064565	5,433724	0,9964	0,4153
9	Richards	16,870063	16,355880	1,598106	7,972701	0,9959	0,4548
Diâmetro Quadrático ( $q$ )							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	MMF	-2,062290	17,630903	65,779743	0,713490	0,9843	0,5869
2	MMF	-7,711130	4,471027	33,122727	0,701031	0,9971	0,2298
3	MMF	-22,545452	1,953281	29,150136	0,711620	0,9870	0,5551
4	MMF	-26,373178	1,722891	28,075537	0,743681	0,9931	0,4116
5	MMF	-39,440317	1,418922	26,434928	0,929665	0,9947	0,4004
6	MMF	-33,645738	1,806924	27,972488	0,973618	0,9973	0,3045
7	MMF	-27,304298	2,581199	26,447496	1,143785	0,9953	0,4189
8	MMF	-12,725994	6,291600	27,131510	1,433209	0,9942	0,5034
9	MMF	-39,117841	2,382502	31,391219	1,145269	0,9971	0,4135
Área Basal por ha ( $B$ )							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	Gompertz	67,769349	1,904023	0,469602		0,9739	3,5372
2	Gompertz	70,415820	1,859784	0,418366		0,9938	1,9047
3	Gompertz	64,813014	2,142871	0,456492		0,9902	2,4073
4	Gompertz	59,685171	2,169316	0,445255		0,9923	2,0160
5	Weibull	62,719424	81,331732	0,044258	1,704574	0,9966	1,4854
6	Weibull	67,572417	88,468034	0,053024	1,559620	0,9947	1,9476
7	Weibull	62,726444	79,649936	0,040392	1,661486	0,9949	1,8281
8	MMF	-12,460986	56,325101	79,756767	2,071371	0,9921	2,3596
9	MMF	-11,117734	76,973150	72,343337	2,204837	0,9943	1,9112
Número de Árvores por ha ( $N$ )							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	Weibull	6687,148800	6296,6754	89,085516	-1,895179	0,9446	454,73
2	Weibull	4970,062100	4340,8324	199,853920	-2,032808	0,9640	175,94
3	Weibull	3929,053900	6805,5866	66,960943	-1,393880	0,9103	206,79
4	Weibull	3309,602700	110091,4900	38,988337	-0,799772	0,8880	175,48
5	Weibull	2478,341400	1213047,0000	46,384411	-0,670882	0,9536	48,28
6	Weibull	2197,530000	8151398,7000	53,109751	-0,625547	0,7595	88,09
7	Weibull	1991,304700	5455192,6000	52,958858	-0,623194	0,8056	48,92
8	Weibull	1657,975900	1200552,1000	51,807408	-0,623666	0,7040	19,35
9	Weibull	1295,628000	1489261,6000	51,759036	-0,612532	0,7117	18,21
Volume por ha ( $V$ )							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	Weibull	976,269060	1015,330900	0,003173	2,074077	0,9948	17,36

Continua ...

Continued ...

**Quadro 4** – Cont.  
**Table 4** – Cont.

Volume por ha (V)							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
2	MMF	-18,974699	910,423850	864,073840	2,824426	0,9971	14,58
3	Gompertz	662,199730	2,175439	0,251646		0,9933	20,46
4	Richards	427,246150	2,426562	0,404430	0,386562	0,9957	13,19
5	Gompertz	489,801400	2,439162	0,293250		0,9946	15,01
6	Weibull	503,141000	508,977060	0,000803	3,105972	0,9982	10,21
7	Logístico	421,125210	293,755340	0,635205		0,9968	12,22
8	Logístico	456,827060	187,434340	0,575804		0,9951	15,69
9	Logístico	375,747440	818,439660	0,727357		0,9967	11,63
Volume Médio por Árvore (Vi)							
Trat	Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$R_{yy}$	$S_{yx}$
1	Gompertz	1,278585	2,111404	0,098806		0,9733	0,0126
2	Gompertz	0,411293	1,977259	0,150558		0,9961	0,4112
3	Gompertz	0,449275	2,002074	0,155123		0,9828	0,0121
4	Gompertz	0,300779	2,062721	0,183824		0,9941	0,0061
5	Gompertz	0,315236	2,119411	0,205965		0,9931	0,0079
6	Gompertz	0,369142	2,084535	0,216834		0,9971	0,0066
7	Richards	0,254366	3,342910	0,436400	0,511952	0,9958	0,0077
8	Logístico	0,288383	171,176260	0,554118		0,9957	0,0091
9	Logístico	0,305489	643,950070	0,687259		0,9970	0,0087

Relações funcionais dos modelos: Weibull:  $Y_i = \alpha - \beta \cdot e^{(-\gamma \cdot I_i^\delta)} + \varepsilon_i$ ; MMF:  $Y_i = \frac{\alpha \cdot \beta + \gamma \cdot I_i^\delta}{\beta + I_i^\delta} + \varepsilon_i$ ; Gompertz:  $Y_i = \alpha \cdot e^{-e^{-(b - \gamma \cdot I_i)}} + \varepsilon_i$ ;

Richards:  $Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{(\beta - \gamma \cdot I_i)^{\frac{1}{\delta}}}} + \varepsilon_i$ ; Logístico:  $Y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta \cdot e^{(-\gamma \cdot I_i)}} + \varepsilon_i$ ; Em que:  $Y_i$  = variável dependente (altura total média, em m;

diâmetro quadrático, em cm; área basal, em m<sup>2</sup>/ha; número de árvores por ha, volume por hectare, em m<sup>3</sup>/ha; volume médio por árvore, em m<sup>3</sup>/árvore e número de árvores por hectare);  $I_i$  = idade, em anos;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  = parâmetros;  $\varepsilon_i$  = erros aleatórios,  $\varepsilon \sim \text{NID}(0, s^2)$ .