



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Chichorro, José Franklin; Resende Pereira, José Luiz; Leite Garcia, Helio
Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica
Revista Árvore, vol. 27, núm. 6, novembro-dezembro, 2003, pp. 799-809
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48827606>

- ▶ 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

EQUAÇÕES DE VOLUME E DE TAPER PARA QUANTIFICAR MULTIPRODUTOS DA MADEIRA EM FLORESTA ATLÂNTICA¹

José Franklin Chichorro², José Luiz Pereira Resende³ e Helio Garcia Leite⁴

RESUMO - Este estudo foi conduzido com o objetivo de ajustar uma equação de volume, a partir do modelo logaritmizado de Schumacher & Hall (1933), para estimar o volume comercial, e uma equação de afilamento (*taper*), a partir do modelo de Demaerschalk (1972), para estimar a quantidade de multiprodutos de madeira de espécies da Floresta Atlântica. Os dados foram coletados na Gleba C da Floresta Nacional do Rio Preto - IBAMA, no município de Conceição da Barra-ES. Foram mensuradas 165 árvores em pé, subdivididas em dez classes de diâmetro, com qualidade de fuste QF1 e pertencentes às espécies com maior VI e, ou, espécies de valor comercial. Essas árvores reuniram 62 espécies e 38 famílias. A equação de volume ajustou-se bem aos dados, com R^2 igual a 0,9815 e resíduos normalmente distribuídos. A equação de *taper* também ajustou-se bem aos dados, com R^2 igual a 0,9346 e distribuição gráfica dos resíduos normal. Pelo teste F (Graybill, 1976), constatou-se que houve igualdade entre os diâmetros observados e os diâmetros estimados pela equação de *taper*. A partir de transformações algébricas da equação de *taper*, foram estimados a altura para um determinado diâmetro superior *d* e o volume do tronco ou de parte dele. Em seguida, podem ser estimados o número de toras e o respectivo volume, em função do comprimento da tora, do diâmetro superior *d* mínimo e do uso desejado, o que permite avaliar a árvore em pé.

Palavras-chave: Floresta Atlântica, equação de volume, equação de *taper* e volume comercial.

VOLUME AND TAPER EQUATIONS FOR WOOD MULTIPRODUCTS QUANTIFICATION IN FLORESTA ATLANTICA-BRAZIL

ABSTRACT - This study was carried out to estimate a volume equation from a logarithmic model of Schumacher & Hall (1933) for commercial volume determination and a taper equation from the model of Demaerschalk (1972), to estimate wood multiproducts yield in Floresta Atlântica. Data were collected in Gleba C (C Glebe), with 289.5 hectares, owned by Floresta Nacional do Rio Preto (Rio Preto National Forest), under the administration of IBAMA, located in Conceição da Barra – Espírito Santo, Brazil. A total of 165 standing trees were measured, subdivided into 10 diameter classes, with bole quality QF1, with the greatest VI, and/or species of commercial value. These trees represented 62 species and 38 families. The volume equation fitted well within the data, with R^2 of 0.9815, and normally distributed residues. The taper equation also fitted well within the data, with R^2 of 0.9346 and graphic distribution of the residues was normal. The F test (Graybill, 1976) showed equivalence between the observed and estimated diameters by the taper equation. The taper equation algebraic transformations allowed to estimate the height for a given superior diameter *d*, and the trunk volume for a desired use, allowing to evaluate the amount of multiproducts for standing trees.

Key words: Atlantic Forest, volume equation, taper equation and commercial volume.

¹ Recebido para publicação em 21.2.2002.
Aceito para publicação em 4.11.2003.

² Prof. Adjunto do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 78060-900 Cuiabá-MT, <franklim@cpd.ufmt.br>. ³ Prof. Titular e Pesquisador do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras – UFLA, 37200-000 Lavras-MG, <jlprezen@ufla.br>. ⁴ Prof. do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <hgleite@ufv.br>.

1. INTRODUÇÃO

A redução drástica do estoque de madeiras tropicais da Floresta Atlântica ocorreu em razão da expansão da agricultura e da exploração de produtos florestais, particularmente de espécies de valor comercial. Essas atividades descharacterizaram e degradaram a cobertura florestal desse ecossistema, que, atualmente, representa apenas 4% de sua cobertura original (Brasil, 1991; Embrapa, 1994).

A crescente demanda por produtos florestais, a valorização e o desperdício dessas madeiras foram preponderantes na redução do estoque madeireiro desse ecossistema. Acrecentam-se, ainda, o alto custo de implantação e de manutenção e o longo tempo de espera para a maturidade de florestas plantadas.

Por outro lado, os desperdícios causados pelos atuais processos de transformação têm induzido à pesquisa e ao desenvolvimento de modelos estatísticos aplicados ao manejo de florestas naturais que auxiliem na definição de uso dessas madeiras e de transformação em produto final, com o intuito de torná-las mais rentáveis.

Dentre essas técnicas de modelagem destacam-se os modelos de *taper*, considerados flexíveis por possibilitarem estimar o diâmetro a uma altura qualquer do tronco, estimar a altura comercial relativa a um diâmetro mínimo de uso, bem como estimar o volume parcial ou total do fuste, via integração da área das seções do tronco (Husch et al., 1972).

Os modelos de *taper* foram desenvolvidos para ser aplicados em florestas plantadas puras e florestas naturais mistas, em países de clima temperado, para determinação dos volumes comercial e total, da altura comercial e do diâmetro superior (Kozak et al., 1969; Demaerschalk, 1972; Goulding & Murray, 1976; Burkhart, 1977; Biging, 1984).

No Brasil, o uso dos modelos de *taper*, em sua maioria, está relacionado a florestas equíâneas puras, com espécies *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. (Campos & Ribeiro, 1982; Guimarães & Leite, 1992; Schneider et al., 1996). Estes modelos são pouco usados com espécies nativas, e um exemplo é o estudo com *Didymopanax morototoni* (morototó), realizado por Garcia et al. (1993). Tal fato pode ser explicado pela grande diversidade de espécies e idades que compõem essas florestas e, consequentemente, pelos diferentes perfis de troncos, o que resulta em baixa precisão das equações estimadas.

Porém, Garcia et al. (1993) consideram os modelos de *taper* como ferramentas importantes na obtenção de estimativas mais realísticas do volume de partes do tronco, bem como na estimativa do diâmetro ao longo do tronco e na estimativa da altura até um específico diâmetro superior comercial.

Assim, parecem relevantes estudos de *taper* que visam definir melhor os multiprodutos de um mesmo tronco para o processamento industrial, aumentando, consequentemente, seu aproveitamento.

Portanto, o objetivo geral deste estudo foi ajustar equações de volume e de *taper* que auxiliassem na definição de multiprodutos para espécies provenientes da Floresta Atlântica. O ajuste, para ambos os modelos, não teve caráter comparativo de precisão entre equações para a escolha da melhor, mas sim o objetivo de obter equações que proporcionassem estimativas de resultados coerentes e aceitáveis estatisticamente, para totalização do volume comercial com casca, e a estimativa de diâmetros em qualquer ponto, ao longo do tronco.

Especificamente, objetivou-se:

- Ajustar um modelo de regressão, visando estimar volume comercial das árvores.
- Ajustar um modelo de *taper* que estime diâmetros ao longo do tronco das árvores.
- Propor uma alternativa que auxilie na definição de multiprodutos de madeiras.
- Gerar tabelas de multiprodutos da madeira, a partir da árvore em pé.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Coleta dos Dados Amostrais

O estudo foi realizado na Floresta Nacional de Rio Preto - FNRP, município de Conceição da Barra-ES, com área de 2.830 ha, pertencente ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Os dados amostrais foram coletados na Gleba C, com 289,5 ha, área de floresta secundária, no estádio avançado de sucessão (Resolução CONAMA N° 10, de 1º de outubro de 1993).

A vegetação da FNRP, segundo Amorim (1984), pertence à região da Floresta dos Tabuleiros, caracterizada por floresta densa, com exemplares arbóreos de

grande porte em altura e diâmetro, destacando-se as espécies *Hydrogaster trinervis* (bomba-d'água), *Pouteria* spp. (bapecas), *Rinorea bahiensis* (tambor), *Licania* sp. (milho-torrado), *Joannesia princeps* (boleira) e *Virola gardneri* (bicoúba).

2.2. Definição e Medição das Variáveis Dendrométricas e Cubagem Rigorosa

Foram medidas 165 árvores, todas com fuste reto e não-oco, sem danos aparentes, com aproveitamento total, denominado classe de qualidade de fuste QF1. Considerou-se o fuste das árvores no intervalo do *dap* ou logo acima das sapopemas, até o ponto que fosse possível aproveitá-lo para processamento em serraria.

As alturas e os respectivos diâmetros ao longo do fuste foram obtidos das árvores em pé, com o relascópio de faixa larga de Bitterlich (Finlayson, 1969), procedimento recomendado por Silva (1982).

No inventário das espécies que se enquadravam na classe de diâmetro e no valor de importância (*VI*) e, ou, no valor comercial, anotou-se o nome comum e mediram-se o diâmetro a 1,30 m do solo (*dap*) e os demais diâmetros ao longo do fuste e as alturas correspondentes, altura comercial e altura total, na escala apropriada.

As árvores medidas foram distribuídas em classes diamétricas, com diâmetro a partir de 10,0 cm e com amplitude de 10 cm, pertencendo à última classe aquelas árvores com diâmetro igual ou maior que 100,0 cm. Foram amostradas de 18 a 20 árvores por classe de diâmetro, o que não foi possível para as maiores classes, devido à baixa ocorrência de árvores nessas classes de diâmetro na área (Quadro 1).

O volume das seções e do fuste comercial, por árvore e por classe de *dap*, para todas as árvores, de todas as espécies foi totalizado, usando-se a fórmula de Smalian (Scolforo & Figueiredo Filho, 1993).

2.3. Ajuste e Análise de Precisão da Equação de Volume

Para estimar o volume comercial individual com casca, usou-se o modelo desenvolvido por Schumacher & Hall (1933), representado pela expressão: $\ln(V_{cc}) = \ln\beta_0 + \beta_1 \ln(dap_i) + \beta_2 \ln(Hc_i) + \varepsilon_i$, em que V_{cc} = volume comercial do fuste da árvore i , com casca, em m^3 ($i = 1, 2, \dots, n$); dap_i = diâmetro com casca da árvore i , medido

a 1,30 m do solo, em cm; Hc_i = altura comercial da árvore, em m; \ln = logaritmo natural (base e); β_j = coeficientes do modelo ($i = 0, 1$ e 2); e ε_i = erro aleatório.

Antes do ajuste do modelo aplicou-se a análise de correlação simples da variável volume com *dap* e *Hc*. Em seguida, ajustou-se o modelo proposto pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), e para a validação da equação ajustada foram considerados o coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) e o teste *t* para os coeficientes. Foi analisada, também, a distribuição gráfica dos resíduos entre os volumes da cubagem rigorosa e os volumes estimados pela equação (Regazzi & Leite, 1992; Cecon, 1996).

2.4. Ajuste e Análise de Precisão da Equação de *Taper*

Devido à flexibilidade dos modelos de *taper* para estimar volume, diâmetro e altura e tomando-se como base as informações empíricas e a revisão de trabalhos científicos (Campos & Ribeiro, 1982; Lima, 1986; Guimarães & Leite, 1992; Garcia et al., 1993; Leite et al., 1995; Silva, 1996), foram selecionados os modelos de Kozak (Kozak et al., 1969) e Demaerschalk (Demaerschalk, 1972), representados por

$$\left(\frac{d_i}{dap} \right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{Ht} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{Ht} \right)^2 + \varepsilon_i \text{ e}$$

$$\left(\frac{d_i}{dap} \right)^2 = 10^{2\beta_0} dap^{2\beta_1-2} L_i^{2\beta_2} Ht^{2\beta_3} + \varepsilon_i,$$

que podem ser simplificados para:

$$d_i = dap \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{Ht} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{Ht} \right)^2} \text{ e}$$

$$d_i = 10^{\beta_0} dap^{\beta_1} L^{\beta_2} Ht^{\beta_3}$$

em que

d_i = diâmetro com casca a ser estimado, em cm; dap = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm; Ht = altura total, em m; h_i = altura comercial onde se encontra o diâmetro d_i , em m; $L = Ht - h_i$, distância da altura total até a altura em que ocorre o diâmetro d_i ; β_i = coeficientes do modelo a serem estimados ($i = 0, 1, 2, 3$); e ε_i = erro aleatório.

Quadro 1 – Espécies usadas na cubagem, amostradas na Gleba C da FNRP, ordenadas por nome científico
Table 1 – Tree species used in the scaling, sampled in plot C of FNRP

Nome Científico	Classe de DAP (cm)										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Alseis floribunda</i> Schott	1										1
<i>Angostura silvestris</i> (Nees & Mart.) Albuq.			1		1	1	1				3
<i>Aspidosperma cylindrocarpum</i> Müll. Arg.			1	1			1				3
<i>Astronium concinnum</i> Schott		2	1	1					2		6
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.		1		1			2				4
<i>Prosopis gaudichaudii</i> Trécul			1								1
<i>Buchenavia rabeloana</i> Mattos							1	1			2
<i>Byrsinima</i> sp.			1								1
<i>Cariniana legalis</i> Kuntze					1	1					2
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist	1										1
<i>Chrysophyllum splendens</i> Spreng.	1										1
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.		2			1						3
<i>Couratari asterotricha</i> Prance			1							1	2
<i>Couratari macroisperma</i> A.C. Sm.										1	1
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	2	1	1	1							5
<i>Eriotheca macrophylla</i> (K. Schum.) A. Robyns					1		2	1	1	1	6
<i>Eschweilera ovata</i> Mart. ex Miers	2	1									3
<i>Eugenia</i> sp.			1								1
<i>Geissospermum laeve</i> Miers	1										1
<i>Goniorrhachis marginata</i> Taub. ex Glaziou						1	3	3	3	2	12
<i>Hydrogaster trinervis</i> Kuhlm.			1	2	1	2	1			1	8
Indeterminada 54					1						
Indeterminada 60	1										1
<i>Inga nuda</i> Salzm. ex Benth.		1									1
<i>Jacaranda</i> sp.					1						1
<i>Joannesia princeps</i> Vell.		1	2		2	2	2	1			10
<i>Lacistema pauciflora</i> (Kuhlm.) Markgr.	1										1
<i>Lecythis lirida</i> (Miers) Mori			1								1
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.					1			1			2
<i>Licania salzmannii</i> Fritsch										1	1
<i>Lucuma butyrocarpa</i> Kuhlm.							1	2	1		4
<i>Luehea mediterranea</i> (Vell.) Angely		1	1								2
<i>Macrolobium latifolium</i> Vogel				2							3
<i>Manilkara bella</i> Monach.	1	1	1	2	1						6
<i>Manilkara salzmannii</i> (A. DC.) H.J. Lam.				1							1
<i>Micropholis crassipedicellata</i> Pierre							1				1
<i>Ocotea confertiflora</i> Mez			1		1						2
<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer					1						1
<i>Oxandra</i> sp.	2										2
<i>Parapiptadenia pterosperma</i> (Benth.) Brenan								1	1		2
<i>Pouteria</i> aff. <i>hispida</i> Eyma					1						1
<i>Pouteria bullata</i> (S. Moore) Baehni	1										1
<i>Pouteria caelomatica</i> Rizzini							1				1
<i>Protium heptaphyllum</i> March.	1		1								2
<i>Protium heptaphyllum</i> March. subsp. <i>heptaphyllum</i>			1								1
<i>Protium warmingianum</i> March.	1	1		1	1			1			5
<i>Pterocarpus glabratus</i> Kunze				1	1		1	1	1		5
<i>Pterygota brasiliensis</i> Allemão										1	1
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake						1					1
<i>Schoepfia obliquifolia</i> Turez.	2		1								3
<i>Sinarouba amara</i> Aubl.		1				1					2
<i>Sloanea</i> sp.		1					2	1			1
<i>Spondias macrocarpa</i> Engl.									1		4
<i>Sterculia elata</i> Ducke									1		1
<i>Sterculia speciosa</i> K. Schum.	2	1				2	3				8
<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.					1	1					2
<i>Talisia intermedia</i> Radlk.					1				1		2
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.			1								1
<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth			1								1
<i>Vatairea heteroptera</i> (Allemão) Ducke ex de Assis Iglesias									1		1
<i>Vatairopsis araroba</i> (Aguiar) Ducke							2	1	1		4
<i>Virola gardneri</i> Warb.	1	2		1	1	1	1	1			7
Total		19	20	18	19	19	20	19	14	10	165

A precisão da equação de *taper* foi determinada pelo coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2), pela significância dos coeficientes estimados (teste t) e pelo erro médio em porcentagem (e%), além da análise gráfica dos resíduos (Regazzi & Leite, 1992; Cecon, 1996; Silva, 1996).

Considerou-se, também, a estatística F proposta por Graybill (1976), através do ajuste de regressão linear expressa por: $Dobs_i = \beta_0 + \beta_1 Dest_i + \varepsilon_i$, em que $Dobs_i$ = diâmetros observados ao longo do tronco, a partir de medições, em cm; $Dest_i$ = diâmetros estimados ao longo do tronco, pela equação ajustada, em cm; β_i = coeficientes a serem estimados; e ε_i = erro aleatório.

Esse procedimento consiste em testar a similaridade das variáveis da equação, considerando a seguinte hipótese:

$$H_0: \hat{\beta} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ "versus"} H_a: \text{não } H_0.$$

A não-rejeição de H_0 implica que os valores observados e estimados são estatisticamente coincidentes, ou seja, $\hat{\beta}_0 = 0$ e $\hat{\beta}_1 = 1$.

O valor da estatística F (Graybill, 1976) foi obtido pela expressão representada por

$$F(H_0) = \frac{(c' \hat{\beta} - \theta)' [c'(X' X)^{-1} c]^{-1} (c' \hat{\beta} - \theta)}{p \hat{\sigma}^2},$$

em que X = diâmetro estimado; $c' = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$;

$\beta' = [\beta_0 \ \beta_1]$ = vetor transposto dos coeficientes da equação estimada; $\theta' = [0 \ 1]$; X = matriz dos diâmetros estimados; X' = matriz X transposta; $X'X$ = matriz X transposta multiplicada pela matriz X ; p = posto da matriz c' ; $\hat{\sigma}^2$ = quadrado médio do resíduo; e $F_{tab} = [\alpha]$; posto de c' ; n = posto (X), para ($\alpha = 0,01$), (Chichorro, 1999).

Assim, aplicou-se o critério de decisão proposto por Guimarães (1994), conforme as condições e a situação final apresentadas no Quadro 2.

2.5. Estimativa do Volume de Toras para Diferentes Usos

O volume das toras por fuste comercial, para conversão em produtos serrados, laminados e energia, visando o maior aproveitamento das árvores, foi estimado com a equação de *taper* que melhor se ajustou aos dados.

Assim, algumas transformações algébricas na equação de *taper* para diâmetro foram necessárias, obtendo-se as respectivas equações para altura comercial, onde ocorrem o diâmetro superior d desejado para determinado uso, e a equação para volume total ou de parte do tronco (Lima, 1986). O número de toras foi definido, levando-se em consideração o comprimento e o diâmetro mínimo em função do uso estabelecido.

3. RESULTADOS

3.1. Árvores Selecionadas para Cubagem

Das 165 árvores medidas, foram contempladas 62 espécies, representando 32,0% do total de espécies amostradas, e 28 famílias, representando 53,8% do total, em relação ao inventário do segundo nível de abordagem da Gleba C.

3.2. Ajuste da Equação de Volume Comercial

A análise de correlação simples da variável volume com o *dap* e *Hc* apresentou, respectivamente, os coeficientes de 0,9790 e de 0,7675, o que indica um alto grau de associação das variáveis explicativas com a variável dependente.

A equação ajustada para estimar o volume comercial individual com casca foi:

$$\begin{aligned} Ln(Vcc_i) = & -9,97595150 + 2,05409213 \cdot Ln(dap_i) \\ & + 0,87842365 \cdot Ln(Hc_i) \end{aligned}$$

Quadro 2 – Critérios utilizados para avaliação do ajuste da equação de *taper*

Table 2 – Criteria used for evaluating taper equation adjustment

Caso	Teste F	R ² (%)	Erro (%)	Situação
1	n. s.	≥ 90 (Alto)	< 10 (Baixo)	Ideal
2	n. s.	≥ 90 (Alto)	≥ 10 (Alto)	Aceitável
3	n. s.	< 90 (Baixo)	< 10 (Baixo)	Inaceitável
4	n. s.	< 90 (Baixo)	≥ 10 (Alto)	Inaceitável
5	sig.	≥ 90 (Alto)	< 10 (Baixo)	Aceitável
6	sig.	≥ 90 (Alto)	≥ 10 (Alto)	Inaceitável
7	sig.	< 90 (Baixo)	< 10 (Baixo)	Inaceitável
8	sig.	< 90 (Baixo)	≥ 10 (Alto)	Inaceitável

A análise de variância da regressão para validação da equação gerou a estatística F significativa ($P<0,01$) e R^2 ajustado igual a 0,9815. Os coeficientes de regressão foram todos significativos pela estatística t ($P<0,01$), com valores de $t(\beta_0) = -78,4655$, $t(\beta_1) = 58,9433$ e $t(\beta_2) = 14,3703$, o que confirma a importância das variáveis explicativas *dap* e *Hc* na equação.

Os volumes observados *versus* os volumes estimados e os resíduos desses volumes estão representados graficamente na Figura 1. A Figura 1(a e b) mostra a proximidade entre os volumes estimados e observados, uma vez que eles se distribuem bem próximos à linha de tendência apresentada. A Figura 1(b) comprova graficamente a distribuição normal dos resíduos desses volumes, o que dá suporte às inferências estatísticas do teste de validação.

3.3. Aplicação da Equação de Volume Comercial

Com a equação ajustada foram estimados os volumes comerciais com casca para árvores individuais, em função do diâmetro a 1,30 m do solo e da altura comercial (Quadro 3), para todas as espécies. Como na cubagem foram consideradas apenas árvores com qualidade de fuste QF1, as estimativas de volume para essas árvores certamente são mais precisas, o que torna possível estimar com maior segurança o volume de madeira do tronco para uso em serraria e, ou, laminação.

3.4. Ajuste da Equação de *Taper*

Dos dois modelos de *taper* (Kozak e Demaerschalk) submetidos à análise de regressão (Lima, 1986), optou-se pelo modelo de Demaerschalk, por ter sido o mais preciso, de acordo com os resultados das análises estatísticas. Como o ajuste dos modelos de *taper* visava a obtenção de estimativas precisas e aceitáveis estatisticamente, os resultados foram apresentados apenas para um dos modelos, cuja análise de regressão gerou a seguinte equação:

$$d = 10^{0,09603699} \text{ } dap^{0,94493101} \text{ } L^{0,42390648} \text{ } Ht^{-0,44170002}$$

O ajuste da equação foi significativo pela estatística F ($P < 0,01$), com R^2 ajustado igual a 0,9346. Os coeficientes da regressão foram todos significativos pela estatística t ($P<0,01$), com $t(\beta_0) = 2,7755$, $t(\beta_1) = 61,5581$, $t(\beta_2) = 34,9149$ e $t(\beta_3) = -11,8978$.

Na Figura 2 estão a distribuição dos diâmetros observados *versus* os diâmetros estimados e a análise da distribuição dos resíduos. A Figura 2(a) mostra que os diâmetros distribuem-se uniformemente ao longo da linha, indicando precisão entre o valor observado e o estimado. A Figura 2(b) mostra a distribuição normal dos resíduos, comprovando as inferências estatísticas tiradas do teste de validação da equação de *taper*.

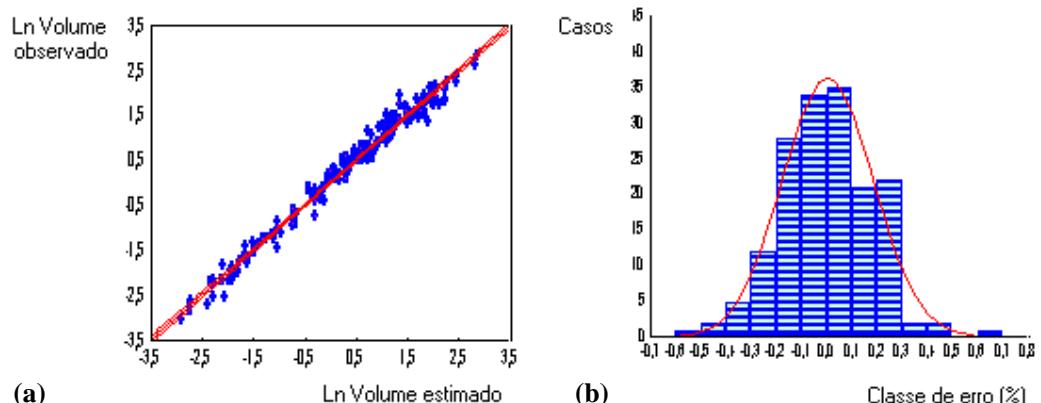


Figura 1 – Volumes observados *versus* volumes estimados (a) e distribuição dos resíduos puros (b), a partir da equação de volume comercial com casca (*Vc*).

Figure 1 – Observed *versus* estimated volumes (a) and residual distribution (b), based on commercial volume (with bark equation) (*Vc*).

Quadro 3 – Volumes individuais (m^3) estimados para árvores de diferentes diâmetros e alturas na Gleba C, da FNRP
Table 3 – Estimated tree volume (m^3) for tree species of plot C of FNRP

DAP (cm)	Altura Comercial (m)																
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30				
15	0,0585	0,0753	0,0916	0,1075	0,1231												
25	0,1669	0,2149	0,2615	0,3069	0,3514	0,3951	0,4382	0,4807									
35	0,3332	0,4290	0,5219	0,6125	0,7014	0,7887	0,8746	0,9594	1,0432	1,1261							
45	0,5583	0,7189	0,8745	1,0264	1,1753	1,3215	1,4656	1,6077	1,7481	1,8869							
55		1,0856	1,3207	1,5500	1,7748	1,9957	2,2132	2,4278	2,6399	2,8495	3,0571						
65			1,5300	1,8613	2,1846	2,5014	2,8127	3,1193	3,4217	3,7205	4,0161	4,3086	4,5984				
75				2,0528	2,4973	2,9311	3,3561	3,7738	4,1851	4,5910	4,9919	5,3884	5,7809	6,1697			
85					3,2294	3,7904	4,3400	4,8801	5,4121	5,9369	6,4553	6,9681	7,4757	7,9785	8,4770		
95						4,7633	5,4540	6,1327	6,8012	7,4607	8,1123	8,7566	9,3945	10,0264	10,6528		
105							5,8504	6,6988	7,5324	8,3535	9,1636	9,9638	10,7552	11,5386	12,3148	13,0842	
115								7,0525	8,0751	9,0801	10,0699	11,0463	12,0110	12,9650	13,9094	14,8450	15,7725
125									10,7764	11,9511	13,1100	14,2548	15,3871	16,5079	17,6183	18,7191	
135										13,9979	15,3552	16,6962	18,0223	19,3351	20,6357	21,9250	

Obs.: Os valores em negrito referem-se aos limites da dispersão das árvores-amostra.

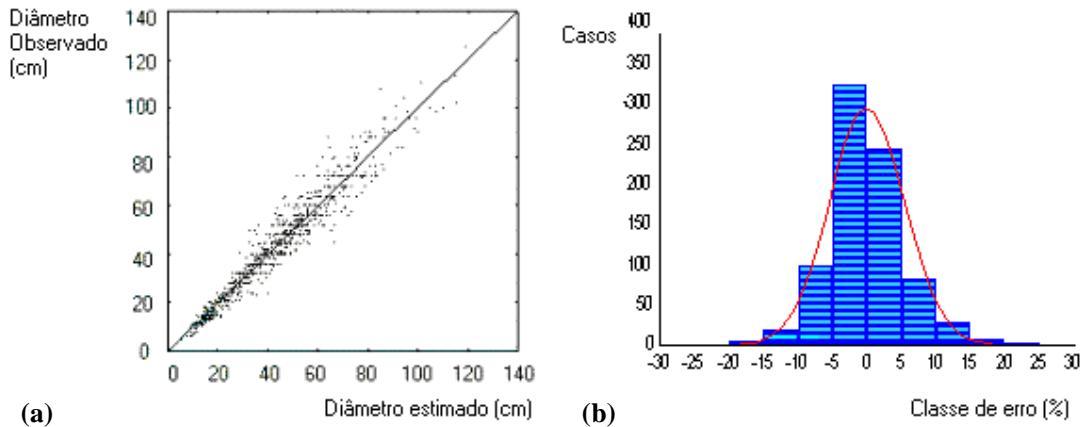


Figura 2 – Diâmetros observados versus estimados (a) e distribuição dos resíduos puros (b), obtidos com a equação de taper.
Figure 2 – Observed versus estimated diameters (a) and residual distribution (b), obtained from taper equation.

Para aplicar o teste F (Graybill, 1976), ajustou-se o modelo proposto e obteve-se a equação $D_{obs} = -0,51772490161 + 1,0096552003Dest$, que apresentou a estatística R^2 ajustado igual a 0,9349, CV igual a 12,58, e % igual a -0,2147 e $F_{(H_0)}$ igual a 0,65.

O teste F foi não-significativo, portanto não se rejeita H_0 , verificando-se que o coeficiente estimado β_0 é igual

a 0 e o β_1 é igual a 1. Assim, existe similaridade entre os valores de diâmetros observados e dos diâmetros estimados, os quais são estatisticamente coincidentes, perfazendo uma linha reta, que passa pela origem e tem declividade igual a 1.

Os resultados obtidos estão de acordo com o caso 1, definido por Guimarães (1994), com teste $F_{(H_0)}$

não-significativo, coeficiente de determinação alto (R^2 ajustado = 0,9349) e erro médio baixo (e% = -0,1247%), além do CV = 12,58%.

Esse teste, segundo Silva (1996), constitui uma forma analítica de realizar a análise de resíduos, uma vez que algumas tendências observadas apenas pela análise visual dos gráficos podem ser enganosas, levando à rejeição de modelos que, na realidade, apresentam estimativas confiáveis.

Quanto à precisão da equação de *taper*, Demaerschalk (1973), citado por Lima (1986), considera que o mais importante benefício de um sistema compatível é obter resultados consistentes e que a precisão da equação de *taper* depende da precisão da equação de volume da qual deriva. Considera, também, que a melhor função para estimar *taper* não é necessariamente a melhor para estimar volume.

Esse modelo, além do bom ajuste, fornece estimativas precisas e resultados consistentes e aceitáveis estatisticamente, na estimativa de diâmetros ao longo do tronco.

Bons ajustes de modelos de *taper* para diâmetro, altura e volume foram obtidos para dados provenientes de florestas equilíneas puras ou mistas, onde existe maior regularidade no perfil e nas dimensões dos troncos. Florestas tropicais apresentam grande variedade de espécies, árvores de diferentes idades e formas de troncos, mesmo para árvores com tronco de qualidade QF1.

3.5. Equação de *Taper* para Estimar o Volume de Toras para Diferentes Usos

Para estimar o volume de toras da árvore em pé, considerando os usos em serraria, laminação e energia, foi necessário obter a equação para altura comercial em que ocorre o diâmetro superior d , definido em função do uso, e a equação para volume total ou de parte do tronco, apresentadas a seguir.

- Equação para estimar a altura comercial (h)

A partir da equação

$$d = 10^{\beta_0} D^{\beta_1} L^{\beta_2} H^{\beta_3} \quad (1)$$

e com algumas manipulações algébricas (Lima, 1986; Chichorro, 1999), obteve-se a equação representada por

$$\hat{h} = H - \left(d 10^{-\beta_0} D^{-\beta_1} H^{-\beta_3} \right)^{1/\beta_2} \quad (2).$$

Substituindo os coeficientes, obteve-se a equação para altura, em que

$$h = H - \left(d 10^{-0,09603699} D^{-0,94493101} H^{(-0,44170002)} \right)^{1/0,42390648} \quad (3)$$

- Equação para estimar o volume do tronco ou de parte dele

Partindo da equação

$$\left(\frac{d}{D} \right)^2 = 10^{2\beta_0} D^{2\beta_1-2} L^{2\beta_2} H^{2\beta_3} \quad (4)$$

e após algumas manipulações algébricas, substituição do diâmetro na expressão da área do tronco ao longo do seu eixo para o comprimento L na equação de volume e integrando-se esta expressão (Lima, 1986; Chichorro, 1999), obteve-se a equação para estimar volume, definida por

$$\hat{V} = K 10^{2\beta_0} D^{2\beta_1} H^{2\beta_3} \left(\frac{(H-h_1)^{2\beta_2+1} - (H-h_2)^{\beta_2+1}}{2\beta_2+1} \right) \quad (5)$$

Com a substituição dos coeficientes, obteve-se a equação para estimar o volume, representada por

$$\hat{V} = K 10^{2(-0,096037)} D^{2(-0,944931)} H^{2(-0,441700)} \left(\frac{(H-h_1)^{2(0,423906+1)} - (H-h_2)^{(0,423906+1)}}{2(0,423906)+1} \right) \quad (6)$$

Com a equação (3) estimou-se à que altura do fuste ocorria o diâmetro superior d , mínimo, necessário para determinado uso, e, consequentemente, o número de toras. Então, com a equação (6) foi estimado o volume referente a essas toras.

Para fazer as estimativas, definiu-se que os fustes, ou parte deles, com qualidade QF1 e com as dimensões mínimas especificadas (diâmetro d e comprimento da tora) seriam destinados ao uso em serraria e laminação, enquanto os fustes de qualidades inferiores (QF2 e QF3) seriam aproveitados na fabricação de dormentes e mourões, ou usados como lenha ou carvão. No entanto, ressalta-se que fustes de qualidade QF2 podem ser aproveitados parcialmente, desde que a espécie tenha valor no mercado.

O volume estimado e o respectivo número de toras com uso na produção de madeira serrada encontram-se no Quadro 4. Considerou-se a tora com diâmetro mínimo superior d desejado igual a 25,0 cm e o comprimento igual a 3,0 m. Assim, uma árvore na classe de diâmetro de 85,0 cm e com a altura de 16,0 m teve o volume estimado de 3,5978 m³, o que corresponde a quatro toras de 3,0 m de comprimento.

O mesmo procedimento, com os resultados mostrados no Quadro 5, foi utilizado para estimar o volume e o

respectivo número de toras com diâmetro mínimo d desejado, agora com o uso para lamination.

Em florestas secundárias, embora em estádio sucessional avançado, é normal que haja poucas árvores nas maiores classes diamétricas. Essa distribuição é característica do regime de manejo e do sistema de exploração aplicados. Neste caso, como as dimensões das toras (diâmetro e comprimento) para serraria e lamination são próximas, houve semelhança dos resultados estimados nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Estimativas do volume (m³) e respectivo número de toras de 3,0 m de comprimento e d comercial igual a 25,0 cm, para uso em serraria, amostradas na Gleba C da FNRP^{1/}

Table 4 – Volume estimates (m³) and number of 3.0 m long logs and “ d ” commercial “ d ” equal to 25,0 cm, for sawn wood production sampled in plot “C” of FNRP

Altura Comercial (m)	Classe de Diâmetro (cm) e Número de Toras (T)																						
	35	T	45	T	55	T	65	T	75	T	85	T	95	T	105	T	115	T	125	T	135	T	
4											0,4153	1	0,5442	1									
6			0,2390	1	0,3493	1	0,4789	1	0,6277	1													
8	0,1576	1	0,2534	1	0,7372	2	1,0108	2	1,3247	2	1,6782	2	2,0708	2	2,5020	2							
10	0,1624	1	0,5525	2	0,8073	2	1,1070	2	1,4508	2	1,8380	2	2,2679	2	3,5395	3	4,2035	3					
12	0,1654	1	0,5827	2	1,1616	3	1,5929	3	2,0875	3	2,6446	3	3,2632	3	3,9427	3	4,6823	3	5,4814	3			
14	0,3751	2	0,8498	3	1,2418	3	1,7027	3	2,6338	4	3,3366	4	4,1171	4	4,9744	4	5,9075	4	6,9158	4	7,9985	4	
16	0,3842	2	0,8892	3	1,5803	4	2,1670	4	2,8399	4	3,5978	4	4,4394	4	5,3637	4	6,3699	4	8,1908	5	9,4731	5	
18	0,3910	2	1,1400	4	1,6658	4	2,5815	5	3,3832	5	4,2860	5	5,2886	5	6,3898	5	7,5885	5	8,8836	5	10,2744	5	
20	0,5855	3	1,1852	4	1,9949	5	2,7354	5	3,5849	5	4,9134	6	6,0628	6	7,3252	6	8,6993	6	10,1840	6	11,7784	6	
22	0,5968	3	1,4260	5	2,0836	5	3,1480	6	4,1255	6	5,2265	6	6,4491	6	7,7919	6	9,2535	6	10,8328	6	12,5288	6	
24	0,6058	3	1,4751	5	2,4063	6	3,2995	6	4,6264	7	5,8610	7	7,2321	7	8,7379	7	10,3770	7	12,1481	7	14,0499	7	
26	0,7924	4	1,7090	6	2,4971	6	3,7102	7	4,8624	7	6,1600	7	7,9649	8	9,6233	8	11,4285	8	13,3791	8	15,4737	8	
28							4,0951	8	5,3668	8	6,7990	8	8,3895	8	10,1363	8	12,0377	8	14,0923	8	16,2985	8	
30																		13,1059	9	15,3428	9	17,7448	9

^{1/} Os valores em negrito referem-se aos limites da dispersão das árvores amostradas para cubagem. T = número de toras por árvore.

Quadro 5 – Estimativas do volume (m³) e respectivo número de toras de 2,5 m de comprimento e d comercial igual a 30,0 cm, para uso em lamination, amostradas na Gleba C da FNRP^{1/}

Table 5 – Volume estimates (m³) and number of 2.5 m long logs and commercial “ d ” equal to 30.0 cm, for production of veneer sampled in plot “C” of FNRP

Altura Comercial (m)	Classe de Diâmetro (cm) e Número de Toras (T)																						
	35	T	45	T	55	T	65	T	75	T	85	T	95	T	105	T	115	T	125	T	135	T	
4							0,3383	1	0,4434	1													
6		0,1878	1	0,2744	1	0,3762	1	0,4931	1														
8		0,1962	1	0,6411	2	0,8791	2	1,1521	2	1,4595	2	1,8009	2	2,1759	2								
10		0,4692	2	0,6856	2	1,3031	3	1,7077	3	2,1634	3	2,6695	3	3,2254	3	3,8304	3						
12	0,1266	1	0,4883	2	1,0263	3	1,4073	3	1,8443	3	2,7975	4	3,4519	4	4,1706	4	4,9530	4	5,7984	4			
14	0,1277	1	0,7377	3	1,0779	3	1,8267	4	2,3940	4	3,0329	4	3,7423	4	5,0523	5	6,0001	5	7,0242	5	8,1238	5	
16	0,1284	1	0,7631	3	1,4062	4	2,2150	5	2,9028	5	3,6775	5	4,5377	5	5,4825	5	6,5110	5	7,6223	5	8,8156	5	
18	0,1289	1	0,7821	3	1,7095	5	2,3442	5	3,3832	6	4,2860	6	5,2886	6	6,3898	6	7,5885	6	8,8836	6	10,2744	6	
20	0,1292	1	1,0296	4	1,7823	5	2,7354	6	3,5849	6	4,5416	6	6,0070	7	7,2577	7	8,6192	7	10,0903	7	11,6699	7	
22	0,3274	2	1,0529	4	2,0836	6	2,8571	6	4,0733	7	5,1603	7	6,3675	7	8,0956	8	9,6143	8	11,2552	8	13,0172	8	
24	0,3293	2	1,2913	5	2,1554	6	3,2499	7	4,5429	8	5,7552	8	7,1015	8	8,5801	8	10,1897	8	11,9288	8	14,3265	9	
26	0,3309	2	1,3177	5	2,4551	7	3,6265	8	4,7527	8	6,3310	9	7,8120	9	9,4386	9	11,2092	9	13,1223	9	15,1766	9	
28							3,7599	8	5,2292	9	6,6246	9	8,5034	10	10,2739	10	12,2012	10	14,2836	10	16,5198	10	
30																		13,1704	11	15,4183	11	17,8321	11

^{1/} Os valores em negrito referem-se aos limites da dispersão das árvores amostradas para cubagem. T = número de toras por árvore.

Quadro 6 – Estimativas do volume (m^3) e respectivo número de toras de 2,0 m de comprimento e d comercial igual a 5,0 cm, para uso em energia, amostradas na Gleba C da FNRP^{1/}

Table 6 – Volume estimates (m^3) and number of 2.0 m long logs and commercial “ d ” equal to 5.0cm, for energy use in plot C of FNRP

Altura Comercial (m)	Classe de Diâmetro (cm) e Número de Toras (T)																											
	15	T	25	T	35	T	45	T	55	T	65	T	75	T	85	T	95	T	105	T	115	T	125	T	135	T		
4	0,0152	1	0,0399	1	0,0754	1	0,1213	1	0,1773	1	0,2431	1																
6	0,0406	2	0,1066	2	0,2014	2	0,3238	2	0,4732	2	0,6488	2	0,8503	2														
8	0,0633	3	0,1661	3	0,3138	3	0,5045	3	0,7372	3	1,0108	3	1,3247	3	1,6782	3	2,0708	3	2,5020	3								
10	0,0847	4	0,2224	4	0,4201	4	0,6754	4	0,9869	4	1,3533	4	1,7736	4	2,2469	4	2,7725	4	3,3498	4	3,9782	4						
12	0,1055	5	0,2769	5	0,5230	5	0,8410	5	1,2288	5	1,6850	5	2,0282	5	2,7975	5	3,4519	5	4,1706	5	4,9530	5	5,7984	5				
14	0,1258	6	0,3303	6	0,6238	6	1,0030	6	1,4656	6	2,0097	6	2,6338	6	3,3366	6	4,1171	6	4,9744	6	5,9075	6	6,9158	6	7,9985	6		
16	0,1458	7	0,3829	7	0,7231	7	1,1627	7	1,6989	7	2,3296	7	3,0530	7	3,8677	7	4,7725	7	5,7662	7	6,8479	7	8,0166	7	9,2717	7		
18	0,1656	8	0,4348	8	0,8213	8	1,3206	8	1,9296	8	2,6459	8	3,4675	8	4,3929	8	5,4205	8	6,5491	8	7,7777	8	9,1051	8	10,5306	8		
20			0,4864	9	0,9186	9	1,4770	9	2,1582	9	2,9594	9	3,8784	9	4,9134	9	6,0628	9	7,3252	9	8,6993	9	10,1840	9	11,7784	9		
22			0,5375	10	1,0152	10	1,6324	10	2,3852	10	3,2707	10	4,2864	10	5,4302	10	6,7005	10	8,0956	10	9,6143	10	11,2552	10	13,0172	10		
24					1,1112	11	1,7861	11	2,6108	11	3,5801	11	4,6918	11	5,9439	11	7,3343	11	8,8615	11	10,5238	11	12,3199	11	14,2486	11		
26							1,2068	12	1,9404	12	2,8353	12	3,8879	12	5,0952	12	6,4549	12	7,9649	12	9,6233	12	11,4285	12	13,3791	12	15,4737	12
28													4,1943	13	5,4968	13	6,9637	13	8,5927	13	10,3818	13	12,3293	13	14,4336	13	16,6932	13
30																				13,2264	14	15,4838	14	17,9079	14			

^{1/} Os valores em negrito referem-se aos limites da dispersão das árvores amostradas para cubagem. T = número de toras por árvore.

As árvores das outras qualidades de fuste e sem valor comercial para serraria e lamination devem ser usadas como energia, e, da mesma forma, foram estimados o número de toras e o respectivo volume, mostrados no Quadro 6.

A parte do tronco a partir do diâmetro superior d menor que o mínimo estabelecido para serraria e, ou, lamination pode ser convertida em energia ou destinada a outro uso.

Considerando que a equação de taper permite estimar o volume de madeira do tronco da árvore em pé, para o uso mais adequado, o potencial volumétrico também pode ser estimado economicamente, desde que seja conhecido o valor do metro cúbico de madeira.

4. CONCLUSÕES

A análise realizada permite concluir que:

- A equação de volume ajustou-se bem aos dados observados, conforme as estatísticas consideradas para validação, e apresentou estimativas precisas.
- A equação de volume permite gerar uma tabela de dupla entrada, para estimar a quantidade de madeira comercial em m^3/ha .
- O modelo de taper de Demaerschalk gerou equação para estimar diâmetros ao longo do tronco, com precisão conforme estatísticas consideradas para validação.

- A equação de taper ajustada permitiu estimar o diâmetro superior d , útil na definição de uso da tora e na conversão em multiprodutos.
- Com algumas transformações algébricas da equação de taper ajustada, foi possível estimar o número de toras e o volume correspondente, avaliando-se a árvore em pé, considerando o uso para serraria, lamination e energia.
- Estudos desta natureza permitem ao manejador da floresta estimar o volume comercial de madeira e também o volume aproveitável do tronco conforme o uso desejado, em função do comprimento da tora e de seu diâmetro superior d mínimo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H. G. *Inventário das florestas nativas dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo*. Brasília: MA/IBDF/DE, 1984. 204 p.

BIGING, G. S. Taper equations for second mixed-conifers of Northean California. *Forest Science*, v. 30, n. 4, p. 1103-1117, 1984.

BRASIL. *Presidência da República*. Brasília: Secretaria da Imprensa. O desafio do desenvolvimento sustentável. Relatório do Brasil para a conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. Brasília CIMA - Comissão Interministerial para preparação da Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento, 1991. 204 p.

- BURKHART, H. E. Cubic-foot volume of Loblolly Pine to any merchantable top limit. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 1, n. 2, p. 7-9, 1977.
- CECON, P. R. **Métodos estatísticos I**. Viçosa: UFV, 1996. não publicado
- CHICHORRO, J. F. **Análise estrutural e econômica de multiprodutos da madeira em florestas naturais**. 1999. 241 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C. Avaliação de dois modelos de *taper* em árvores de *Pinus patula*. **Revista Árvore**, v. 6, n. 2, p. 140-149, 1982.
- DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.
- EMBRAPA **Atlas do meio ambiente do Brasil**. Brasília: Terra Viva, 1994. 130 p.
- FINLAYSON, W. **The relascope: Bitterlich's spiegel relaskop**. Edinburgh: s.n., 1969. 32 p.
- GARAY, L. **Tropical forest utilization system**. VIII. A taper model for entire stemprofile including buttressing. Coll. Forest. Resour., Inst. Forest Prod. Univ. Wash., 1979. 64 p. (contrib., 36).
- GARCIA, S. L. R.; LEITE, H. G.; YARED, J. A. G. Análise do perfil do tronco de morototó (*Didymopanax morototoni*) em função do espaçamento. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura e Sociedade Brasileira de Engenheiro Florestais. 1993. v. 2, p. 485-491.
- GOULDING, C. J.; MURRAY, J. C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 5, n. 3, p. 313-322, 1976.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of linear model**. s.l.: Belmont Duxbury, 1976. 704 p.
- GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 170-180, 1992.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York: The Ronald Press Company, 1972. 410 p.
- KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper function and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.
- LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n. 1, p. 65-79, 1995.
- LIMA, F. S. **Análise de funções de “taper” destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***. 1986. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. München: BLV, 1973. v.2. 469 p.
- REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão: teoria e aplicações em manejo florestal**. Viçosa, UFV/SIF, 1992. 236 p. (Apostila).
- SCHNEIDER, P. R. et al. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Maiden para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.
- SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Volumetria**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1993. 126 p.
- SILVA, G. F. **Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto**. 1996. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- SILVA, J. A. Aplicação do relascópio de banda larga em inventários de florestas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Silvicultura em São Paulo, v. 16A, n. 1, p. 601-603, 1982.
- VANCLAY, G. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994. 312 p.