

# Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA)

Samir Gonçalves ROLIM<sup>1</sup>, Hilton Thadeu Z. do COUTO<sup>2</sup>, Renato Moraes de JESUS<sup>1</sup>,  
Jaime Tadeu FRANÇA<sup>3</sup>

## RESUMO

Medidas precisas de volume de madeira são ferramentas importantes no planejamento do uso do recurso florestal. Neste estudo, foram investigados modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, na Serra dos Carajás (PA), baseados numa cubagem rigorosa de 55 árvores para obter o diâmetro, altura comercial do fuste e volume sólido. Um total de 8 modelos de dupla entrada e 4 de simples entrada foram testados para o diâmetro mínimo de 14 cm. Para seleção do melhor modelo foram usadas as estatísticas do coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos. Entre os modelos de simples entrada o modelo logarítmico de Husch se ajustou melhor aos dados ( $R^2 = 0,9105$ ) e entre os de dupla entrada o logarítmico de Schumacher & Hall se ajustou melhor ( $R^2 = 0,9942$ ). O uso do modelo da Flona de Tapajós ou o uso do modelo de volume cilíndrico com fator de forma 0,7 subestimam a volumetria na Flona do Tapirapé. Isso enfatiza a importância de modelos volumétricos locais para melhorar a precisão da estimativa de madeira.

## PALAVRAS-CHAVE

Equações de volume, modelos logarítmicos, manejo florestal, floresta tropical, Carajás.

## *Volumetric models for Tapirapé-Aquirí National Forest (Pará, Brazil)*

### ABSTRACT

*Accurate volume estimate is a crucial variable for effective forest management in the tropics. In this study, we investigated volumetric models for Tapirapé-Aquirí National Forest in Carajás, PA, Brazil, based on 55 cubed trees by obtaining dbh, stem commercial height, and solid stem volume. A total of 8 double- and 4 single-entry models were tested for minimum dbh at 14 cm. Statistical procedures, such as coefficient of determination ( $R^2$ ), distribution of residuals, and standard error of estimate, were used to evaluate the accuracy of the estimates. Among simple-entry models, Husch logarithmic model showed the best fit to the data ( $R^2 = 0.9105$ ), whereas Schumacher & Hall logarithmic model showed the best performance among double-entry models ( $R^2 = 0.9942$ ). One previously published regression model, developed for Tapajós National Forest, and a taper function with a form factor of 0.70 were also cross-validated against the trees of this study. These two models subestimated the true volume. This study therefore highlights the importance of developing local volumetric models in order to obtain accurate estimates.*

### KEYWORDS

*Volume equations, logarithmic model, tropical forest, forest management, Carajás.*

<sup>1</sup> Reserva Natural da Vale do Rio Doce, 29900-970, Caixa Postal 91, Linhares ES, Brasil. Fone: 27-33719712, Fax: 27-32641277, E-mail: sgrolim@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP

<sup>3</sup> Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, IBAMA/DF

## INTRODUÇÃO

Na região da Serra dos Carajás existe um conjunto de Unidades de Conservação de diferentes categorias de manejo: a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, a Reserva Biológica de Tapirapé, a Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, a Floresta Nacional de Carajás, a Reserva Indígena Xikrin do Cateté e a Floresta Nacional de Itacaiúnas, que formam um bloco contíguo de 1,31 milhões de ha. Isso possibilita otimizar a conservação da paisagem e da biodiversidade, através da proteção mais eficiente contra invasões, caça, garimpagem, retirada ilegal de madeiras e incêndios florestais. Também potencializa o uso racional dos recursos naturais, pois numa mesma região podem ser delimitadas áreas para o extrativismo vegetal, pesquisa, projetos agroflorestais, mineração, manejo florestal, conservação do solo, da água e da biodiversidade.

As florestas da região da Serra dos Carajás (PA) foram estudadas inicialmente em meados da década de 70, quando da publicação dos estudos do Projeto Radambrasil (Radambrasil, 1974). A partir de meados da década de 80 vários trabalhos com ênfase na composição florística e aspectos estruturais da vegetação foram conduzidos principalmente por técnicos do Museu Goeldi (Silva & Rosa, 1986; Silva *et al.*, 1986; Silva *et al.*, 1987; Salomão *et al.*, 1988; Silva & Rosa, 1989; Morellato & Rosa, 1991). Entretanto, nenhum estudo na região abordou o uso de equações volumétricas, que é uma ferramenta básica na atividade florestal. Todos os trabalhos dessa época realizavam o cálculo do volume com casca pela fórmula do volume cilíndrico, corrigido por um fator de forma de 0,7, que era uma recomendação de Heinsdijk & Bastos (1963).

Após a elaboração da equação de volume para a Flona do Tapajós (Queiroz, 1984), a mesma passou a ser utilizada tanto em Carajás, como em várias regiões da Amazônia, que careciam de estudos de cubagem de árvores. Uma equação para florestas secundárias (Silva & Carvalho, 1984) e outra para árvores de pequeno diâmetro, entre 15 e 45 cm, (Silva & Araújo, 1984), ambas obtidas na Flona de Tapajós, também eram opções para todo o estado. Novas equações continuam a ser desenvolvidas para outras regiões do Pará, como por exemplo, nos municípios de Moju (Baima *et al.*, 2001) e Tailândia (Menezes & Silva, 2003). Entretanto, essas equações são desenvolvidas em situações específicas e as características do sítio podem ser importantes na definição de um adequado modelo volumétrico regional (Couto & Bastos, 1987; Leite & Andrade, 2003), principalmente nas condições de alta variabilidade, inerente às florestas tropicais, e a marcante variabilidade topográfica da Serra dos Carajás.

As duas tipologias dominantes na região de Carajás são as Florestas Ombrófilas Densa e Aberta, que são muito similares entre si, diferindo principalmente por que a floresta aberta apresenta menor densidade de grandes árvores, muitas espécies semidecíduas, grande quantidade de lianas e a ocorrência de muitas palmeiras (Radambrasil, 1974; Pires & Prance, 1985; Silva & Rosa, 1989; Paradella *et al.*, 1994). Ambas ocorrem em diferentes posições no relevo (montanas, submontanas e de terras baixas) e as florestas abertas podem

variar ainda como matas com cipós ou matas com palmeiras. A Floresta Aberta com cipó pode estar relacionada à intensa dinâmica de clareiras, ocasionadas, na maioria das vezes, pela queda natural de grandes árvores ou por deslizamentos devido à instabilidade do terreno (Silva & Rosa, 1989). Na Floresta Aberta com palmeiras, a mais comum desse grupo é *Orbignya phalerata* Mart.. Uma das espécies arbóreas que mais caracteriza essa tipologia é *Cenostigma tocaninum* Ducke, todavia é comum encontrar concentrações de *Bertbolletia excelsa* H.B.K. e algumas vezes de *Pbenakospermum guyanense* (Rich) Miq.

Um relatório interno de inventário florestal na Flona do Tapirapé-Aquirí mostra um estudo, onde foram cubadas 55 árvores para elaboração de uma equação de volume (Jaakko Pöyry, 1995). No relatório apenas três modelos de dupla entrada foram testados (Spurr, Stoate e Schumacher-Hall), não detalhando a apresentação dos resultados. Visando aprofundar a análise e difundir o melhor modelo para a região, os resultados de cubagem serão utilizados aqui para um estudo mais completo abrangendo modelos de simples e dupla entrada. A hipótese deste estudo é que o modelo desenvolvido localmente irá melhorar a estimativa volumétrica na Flona do Tapirapé-Aquirí.

## MATERIAIS E MÉTODOS

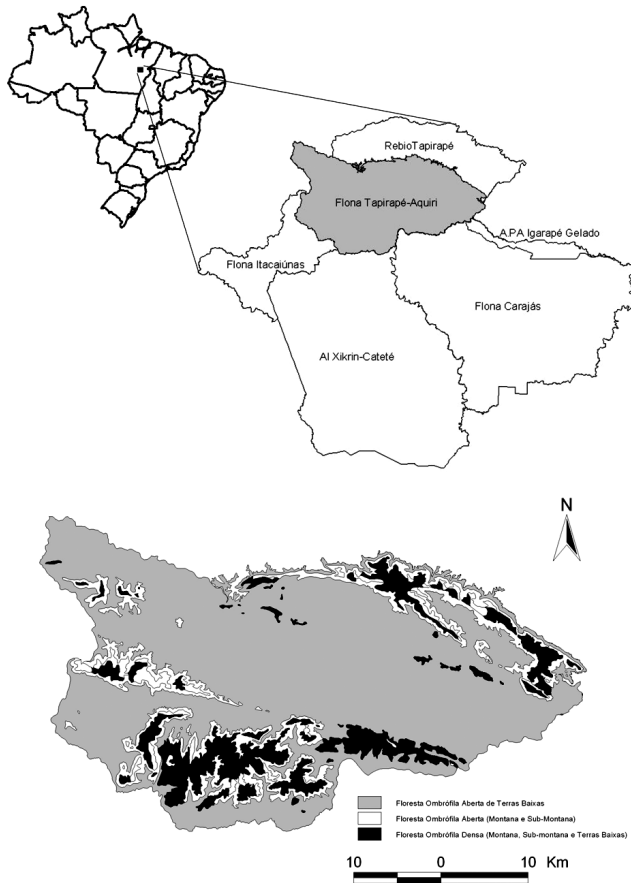
### Área de Estudo

A Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí está situada entre as coordenadas geográficas de 5°35' e 6°00' de latitude sul e 50°24' e 51°06' de longitude oeste, com área de 196.351,42 ha, em sua maior parte no município de Marabá (PA) e uma porção menor no município de São Félix do Xingu. Geologicamente, a área da Flona do Tapirapé-Aquirí é parte integrante da Província Mineral de Carajás, estando inserida na Plataforma Amazônica, onde se destaca um conjunto de rochas pré-cambrianas fortemente dobradas e falhadas, denominada Serra dos Carajás, cuja altitude média é de cerca de 700 metros, sendo os topos residuais aplainados e o relevo intensamente dissecado por vales encaixados (Radambrasil, 1974).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, pode ser enquadrado no tipo Aw, tropical chuvoso com seca de inverno, com precipitações anuais entre 2.000 e 2.400 mm e temperatura mensal sempre acima de 18°C. A região apresenta o período de estiagem com cinco meses consecutivos, de junho a outubro. Cerca de 87% da área da Flona do Tapirapé-Aquirí é coberta pela Floresta Ombrófila Aberta, 12% pela Floresta Ombrófila Densa, incluindo as áreas aluviais associadas aos cursos d'água, mais uma pequena parte de áreas antropizadas (Figura 1).

### Modelos Testados

Os dados da cubagem rigorosa foram obtidos através do método de Smalian em 55 árvores de várias espécies com diâmetros variando de 14 a 107 cm e alturas comerciais de 2 a



**Figura 1** - Localização e mapa de vegetação da Flona do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA).

28 m (Jaakko Pöyry, 1995). Com estes dados serão estudados quatro modelos volumétricos de simples entrada (dois logarítmicos e dois aritméticos), tendo o dap como variável independente e oito de dupla entrada (três logarítmicos e cinco aritméticos) onde as variáveis independentes foram o dap e a altura comercial do fuste, combinadas ou não.

Os modelos são apresentados a seguir, sendo todos de uso corrente na modelagem volumétrica (Jorge, 1982; Fernandes *et al.*, 1983; Silva & Carvalho, 1984; Queiroz, 1984; Higuchi & Ramm, 1985; Couto & Bastos, 1987; Souza & Jesus, 1991; Scolforo *et al.*, 1994; Belchior, 1996; Baima *et al.*, 2001; Chichorro *et al.*, 2003; Schneider & Tonini, 2003; Batista *et al.*, 2004), onde  $d$  é o diâmetro em metros medido na altura do peito (medido a 1,30 m),  $h$  é a altura comercial do fuste em metros e a variável dependente é o volume  $V$  em metros cúbicos com casca.

Os coeficientes dos modelos foram estimados pelo método dos mínimos quadrados e para testar a significância dos mesmos foi usado o teste  $t$ , sendo rejeitados os coeficientes quando  $p > 0,05$ . Para seleção do melhor modelo foi obtido o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e o

$$1. V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$$

Kopecky-Gehrhardt

$$2. V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$$

Hohenadl & Krenn

$$3. \ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$$

Husch

$$4. \ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 d^{-1} + \varepsilon$$

Brenac

$$5. V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$$

Spurr

$$6. V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + \varepsilon$$

Stoate

$$7. V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon$$

Näslund

$$8. V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$$

Meyer

$$9. V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \varepsilon$$

Meyer modificada

$$10. \ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h) + \varepsilon$$

Logarítmico de Spurr

$$11. \ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon$$

Logarítm. de Schumacher & Hall

$$12. \ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln^2(d) + \beta_3 \ln(h) + \beta_4 \ln^2(h) + \varepsilon$$

Logarítm. de Prodan

erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) (Draper & Smith, 1966; Parresol, 1999). Para análise dos resíduos foram plotados os valores observados contra os estimados, em relação a um eixo de 45°, que indica ajuste ideal.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{real_i} - V_{est_i})^2}{n - p}}$$

onde,  $S_{yx}$  é o erro padrão da estimativa ou erro padrão residual;  $V_{real_i}$  é o volume individual real em  $m^3$ ;  $V_{est_i}$  é o volume individual estimado em  $m^3$ ;  $n$  é o número de árvores amostradas; e,  $p$  é o número de parâmetros no modelo.

$S_{yx}$  também foi obtido em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) dividindo-se o valor absoluto pela média aritmética do volume real, sendo interpretado como o coeficiente de variação (Draper & Smith, 1966). Para os modelos logarítmicos o erro padrão da estimativa foi corrigido na escala original da variável dependente, para possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Essa correção foi feita com o índice de Furnival (Furnival, 1961) e para os modelos logarítmicos ele é dado por:

$$IF = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_{real_i})}{n}\right) * S_{yx}$$

onde, IF é o índice de Furnival;  $V_{real_i}$  é o volume individual real em  $m^3$ ;  $S_{yx}$  é o erro padrão da estimativa; n é o número de árvores amostradas.

Para corrigir o erro sistemático (ou discrepância logarítmica) na estimativa da variável dependente, causado pela linearização do modelo logarítmico (Meyer, 1941; Sprugel, 1983; Parresol, 1999) foi aplicado um fator de correção  $fc = \exp(0,5QMR)$ , onde QMR é o quadrado médio do resíduo. Embora essa correção possa muitas vezes ser insignificante (Leite & Regazzi, 1992), ela é facilmente obtida e deve ser considerada no modelo (Sprugel, 1983).

Para verificar a validade das estimativas volumétricas nos modelos selecionados em relação ao volume real foi aplicado o teste F proposto por Graybill (1976). Primeiro foi ajustada a equação de regressão entre o volume real ( $V_{real}$ ) e o estimado ( $V_{est}$ ):  $V_{real} = \beta_0 + \beta_1 V_{est} + \varepsilon$ . A hipótese nula é que  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ , ou seja, o intercepto é igual a zero e a inclinação é igual a 1, contra a hipótese alternativa de rejeição de  $H_0$ . O valor de F calculado é comparado com um F tabelado ( $\alpha$ ; p; n-p), com

um nível  $\alpha$  igual a 0,01, com p igual a 2 parâmetros do modelo e n-2 graus de liberdade. Se F calculado for menor que o tabelado aceita-se  $H_0$  e a estimativa obtida no modelo é igual ao volume real (Guimarães, 1994; Belchior, 1996; Chichorro *et al.*, 2003). Na forma matricial F calculado é dado por:

$$F_{calc} = \frac{[\beta_0 (\beta_1 - 1)] \left[ \sum V_{est} \quad \sum V_{est}^2 \right] \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 - 1 \end{bmatrix}}{2QMR}$$

onde, QMR é o quadrado médio do resíduo, n é o número de árvores amostradas e as outras variáveis já foram descritas.

O teste F de Graybill também foi usado para verificar se as volumetrias estimadas pelo modelo de Spurr da Flona do Tapajós  $V_c = 0,077476 + 0,517897 * (dap^2 * hf)$  (Queiroz, 1984) e pelo modelo de volume cilíndrico multiplicado por um fator de forma de 0,7 (Heinsdijk & Bastos, 1963), são estatisticamente iguais aos volumes observados na Flona do Tapirapé-Aquirí.

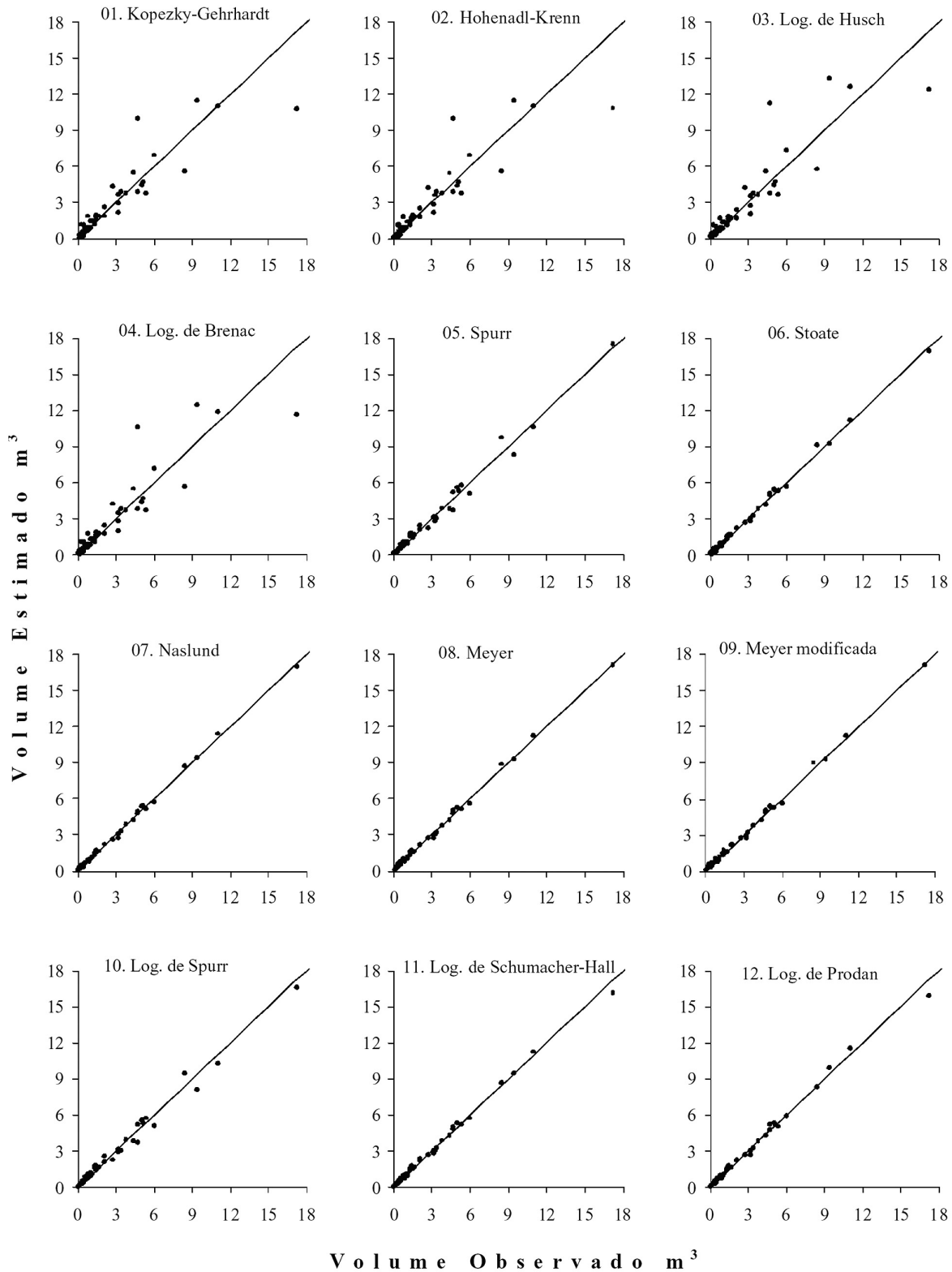
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume real obtido nas 55 árvores cubadas foi de 131,76  $m^3$ , com uma média de 2,4  $m^3$  e erro padrão da média igual a 0,429  $m^3$ . O volume estimado, o coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa, bem como os coeficientes da regressão são apresentados na Tabela 1, para cada modelo estudado. Um primeiro critério separa nitidamente os modelos de simples entrada (1 a 4) daqueles de dupla entrada (5 a 12). Os coeficientes de determinação são relativamente menores nos modelos de simples entrada ( $R^2_{aj} = 0,82$  a 0,91) e os resíduos não se distribuem aleatoriamente ao redor da reta, mas crescem com o valor absoluto do volume observado. Esse ajuste menor é esperado, pois esses modelos assumem que

**Tabela 1** - Volume estimado com casca (Vest em  $m^3$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$  em  $m^3$  e em%) e coeficientes estimados para os modelos volumétricos, na Flona do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). Para os modelos logarítmicos  $S_{yx}$  está corrigido pelo índice de Furnival.

MODELO	Vest	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$	$S_{yx}\%$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
1. Kopezky-Gehrhardt	150,0	0,8236	1,3350	55,73	-0,3321*	10,2838				
2. Hohenadl-Krenn	157,4	0,8203	1,3474	56,24	-0,1810*	-0,6205*	10,7889			
3. Husch	128,2	0,9105	0,4420	18,45	2,3503	2,4359				
4. Brenac	146,6	0,9097	0,4442	18,54	2,3886	2,1892	-0,0944*			
5. Spurr	126,9	0,9857	0,3803	15,88	0,0887*	0,5959				
6. Stoaate	123,8	0,9966	0,1860	7,76	0,1454*	1,9021	0,5252	-0,0232		
7. Näslund	130,7	0,9975	0,1596	6,66	0,0389*	1,0602	0,6335	-0,0035	-0,0001*	
8. Meyer	130,5	0,9972	0,1688	7,05	-0,5212	2,4100	0,0852*	-0,2576	0,7164	0,0505
9. Meyer modificada	116,0	0,9969	0,1760	7,35	-0,0075*	0,6423*	1,3834	-0,0912	0,5972	
10. Spurr (Logarítmico)	128,4	0,9860	0,1751	7,31	-0,4012	0,9468				
11. Schumacher-Hall	130,7	0,9942	0,1122	4,68	0,2831	2,0836	0,7320			
12. Prodan	158,9	0,9942	0,1111	4,64	0,1350*	2,1610	0,0402*	0,9167	-0,0443*	

\*coeficientes não significativos ( $p > 0,05$ ).



**Figura 2** - Desvios (em relação ao eixo de 45°) dos volumes observados e estimados pelos modelos volumétricos estudados na Flona do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA).

árvores de mesmo diâmetro têm a mesma altura, o que não é verdadeiro para florestas heterogêneas.

Os modelos de simples entrada de Kopecky-Gehradt e de Hoehnagl-Krenn são tendenciosos e com elevado  $S_{yx}\%$  e os modelos de Husch e Brenac, embora também sejam tendenciosos para estimativas de elevados volumes, apresentam menor  $S_{yx}\%$  (Tabela 1, Figura 2). Considerando que o coeficiente  $\beta_2$  não foi significativo no modelo de Brenac, ele fica equivalente ao de Husch. Assim, quando a variável independente for apenas o dap a sugestão é o uso do modelo logarítmico de Husch, que embora apresente um  $S_{yx}\%$  maior que 10%, apresenta  $R^2_{aj}$  maior que 0,90, permitindo a aceitação do modelo (Guimarães, 1994). Entretanto sua tendenciosidade também sugere cautela no seu uso, devendo ser testado com maior número de árvores de grande porte.

Para os modelos de dupla entrada não existem diferenças marcantes no coeficiente de determinação, com todos eles apresentando valores altos ( $R^2_{aj} = 0,986$  a  $0,997$ ), nem na distribuição dos resíduos. O modelo de Spurr é o que apresenta o pior resultado para o  $S_{yx}\%$ , em relação aos outros modelos de dupla entrada (Tabela 1). Os modelos de Schumacher-Hall e Prodan apresentam superioridade em relação aos demais modelos, considerando o  $S_{yx}\%$  e são semelhantes entre si em termos de precisão e distribuição dos resíduos (Tabela 1, Figura 2). Entretanto, o modelo de Prodan apresenta mais parâmetros, sem adicionar precisão ao ajuste (a não significância de três de seus coeficientes o torna equivalente ao modelo de Schumacher-Hall). No modelo de Prodan, assim como em Näslund e Meyer modificado, onde mais de um coeficiente  $b_i$  é não significativo, ou seja, não difere de zero, pode estar ocorrendo multicolinearidade (Batista *et al.*, 2004). Portanto, entre os modelos de dupla entrada, deve ser escolhido o modelo logarítmico de Schumacher-Hall, que apresenta elevado coeficiente de determinação, não é tendencioso e apresenta baixo erro padrão da estimativa. É ainda muito superior ao modelo logarítmico de simples entrada de Husch.

A correção da discrepância logarítmica nos modelos selecionados pode ser realizada multiplicando-se o antilogaritmo do volume pelos respectivos fatores encontrados. Ou, para apresentação da forma não linear, multiplicando-se o fator pelo antilogaritmo do coeficiente  $b_0$ . Essa correção quase não tem efeito no modelo de Schumacher-Hall ( $fc=1,0045$ ), mas possui um efeito considerável no modelo de Husch ( $fc=1,0727$ ). Após a aplicação dos fatores de correção e considerando a forma não linear, os modelos ficam:

Modelo de Husch:  $V = 11,2512 (d)^{2,4359}$

( $S_{yx}=0,4420$ ;  $R^2_{aj} = 0,91$ );

Modelo de Schumacher-Hall:  $V = 1,3332(d)^{2,0836} (h)^{0,7320}$

( $S_{yx}=0,1122$ ;  $R^2_{aj} = 0,99$ );

Para ambos os modelos o teste F de Graybill apresentou resultado não significativo ( $F_{cal}=1,697$  no modelo de Husch;  $F_{cal}=4,741$  no modelo de Schumacher-Hall; ambos menores que  $F_{tab}=5,029$ ), comprovando que os volumes estimados são estatisticamente iguais aos volumes reais, perfazendo uma linha reta que passa pela origem com declividade igual a 1. Usando-se os modelos da Flona do Tapajós e com fator de forma 0,7 nas 55 árvores da Flona do Tapirapé-Aquirí, obtém-se respectivamente volumes de 114,5 e 117,1 m<sup>3</sup>, mas o teste F de Graybill também foi útil para mostrar que estes volumes são estatisticamente inferiores aos volumes observados na Flona do Tapirapé-Aquirí ( $F_{cal}=66,9$  na Flona Tapajós e  $F_{cal}=29,1$  para fator de forma 0,7). Assim, esses modelos são menos precisos e subestimam o volume real em relação aos modelos desenvolvidos localmente.

## CONCLUSÃO

Foram analisados 12 modelos volumétricos para a Flona do Tapirapé-Aquirí, sendo indicado como mais adequado o modelo de dupla entrada de Schumacher-Hall, mas com possibilidade de uso do modelo de simples entrada de Husch. Estes dois modelos apresentam maior precisão na estimativa de volume do fuste que modelos atualmente usados no local, como o modelo da Flona do Tapajós ou o modelo com fator de forma 0,7, confirmando a necessidade de se desenvolver modelos específicos de cada localidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Henrique Nascimento e a dois revisores anônimos pelas valiosas críticas e sugestões na versão inicial deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Baima, A.V.; Silva, S.M.S.; Silva, J.N.M. 2001. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. In: Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P.; Yared, J.A.G. (eds). *A Silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto silvicultura tropical (Embrapa/DFID)*. Vol. 2. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. p.367-392.
- Batista, J.L.F.; Marchesini, M.; Viana, V.M. 2004. Equações de volume para árvores de caixeta (*Tabebuia cassinoides*) no estado de São Paulo e sul do estado do Rio de Janeiro. *Scientia Forestalis*, 65: 162-175.
- Belchior, P.R.M. 1996. *Estimação de volume total, de fuste e de galbos em mata secundária no município de rio Vermelho, MG*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

- Chichorro, J.F.; Resende, J.L.P.; Leite, H.G. 2003. Equações de volume e de *taper* para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. *Revista Árvore*, 27(6): 799-809.
- Couto, H.T.Z.; Bastos, N.L.M. 1987. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. *Revista Ipef*, 37: 33-44.
- Draper, N.; Smith, H. 1966. *Applied regression analysis*. John Wiley e Sons: New York, 709p.
- Fernandes, N.P.; Jardim, F.C.S.; Higuchi, N. 1983. Tabelas de Volume para a Floresta de Terra-firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. *Acta Amazonica*, 13(3/4): 537-545.
- Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science*, 7: 337-341.
- Graybill, F.A. 1976. *Theory and application of the linear model*. Duxbury Press: Massachusetts, 704 p.
- Guimarães, D.P. 1994. *Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Heinsdijk, D.; Bastos, A.M. 1963. Inventários florestais na Amazônia. *Boletim do Serviço Florestal*, 6: 1-100.
- Higuchi, N.; Ramm, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central amazon (Brazil). *Commonw. For. Rev.*, 64(1): 33-41.
- Jaakko Pöyry. 1995. *Inventário florestal do Projeto Salobo, Flona do Tapirapé-Aquirí, PA*. Relatório técnico Salobo Metais Ltda, 26p.
- Jorge, L.A.B. 1982. Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo. *Silvicultura em São Paulo*, 16(1): 456-467.
- Leite, H.G.; Andrade, V.C.L. 2003. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, 27(3):301-310.
- Leite, H.G.; Regazzi, A.J. 1992. Métodos estatísticos para avaliar a igualdade de equações. *Revista Árvore*, 16(1): 59-71.
- Menezes, N.P.; Silva, J.N.M. 2003. Equações de volume para florestas de terra firme nos Município de Tailândia e Paragominas. In: *Seminário de Iniciação Científica da Ufra, 1. Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental*, 7, 2003, Belém, PA. Resumos Expandidos. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia. Cd-Rom.
- Meyer, H.A. 1941. A correction for a systematic error occurring in the application to the logarithmic equation. *Journal Series of the Pennsylvania Agriculture Experimental Station*, paper 1058, 3p.
- Morellato, L.P.C.; Rosa, N.A. 1991. Caracterização de alguns tipos de vegetação na região amazônica, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 14: 1-14.
- Paradella, W.R.; Silva, M.F.F.; Rosa, N.A. 1994. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region Brazil) based on digital TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*, 15(8): 1633-1648.
- Parresol, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, 45: 573-593.
- Pires, M.P.; Prance, G.T. 1985. The Vegetation Types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E (eds). *Key environments: Amazonia*. Pergamon Press. Oxford. p.109-145.
- Queiroz, W.T. 1984. *Análise de fatores pelo método da máxima verossimilhança: aplicação ao estudo da estrutura de florestas tropicais*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- Radambrasil. 1974. *Levantamento de recursos naturais*. Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins. Rio de Janeiro, v.4.
- Salomão, R.P.; Silva, M.F.F.; Rosa, N.A. 1988. Inventário ecológico em floresta pluvial tropical de terra firme, Serra Norte, Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica*, 4(1): 1-46.
- Schneider, P.R.; Tonini, H. 2003. Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De Wild. *Ciência Florestal*, 13(2): 121-129.
- Scolforo, J.R.S.; Mello, J.M.; Lima, C.S.A. 1994. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. *Cerne*, 1: 123-134.
- Silva, J.N.M.; Araújo, S.M.A. 1984. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro na Floresta Nacional do Tapajós. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 8/9: 16-25.
- Silva, J.N.M.; Carvalho, M.S.P. 1984. Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós, Belterra – Pará. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 8/9: 1-15.
- Silva, M.F.F.; Rosa, N.A. 1986. Estudos botânicos na área do Projeto Ferro Carajás, Serra Norte, Pará. 2. Regeneração de castanheira em mata primária na bacia do Itacaiúnas. *Anais do 1º Simpósio do Trópico Úmido*, Embrapa/Cpatu, v.2, p.167-170.
- Silva, M.F.F.; Rosa, N.A. 1989. Análise do estrato arbóreo da vegetação sobre jazidas de cobre na Serra dos Carajás - PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica*, 5(2): 175-205.
- Silva, M.F.F.; Rosa, N.A.; Oliveira, J. 1987. Estudos botânicos na área do Projeto Ferro Carajás. 5. Aspectos florísticos da mata do rio Gelado, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica*, 3(1): 1-20.
- Silva, M.F.F.; Rosa, N.A.; Salomão, R.P. 1986. Estudos botânicos na área do Projeto Ferro Carajás. 3. Aspectos florísticos da

mata do aeroporto de Serra Norte, PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica*, 2(2): 169-187.

Souza, A.L.; Jesus, R.M. 1991. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares-ES. *Revista Árvore*, 15(3): 257-273.

Sprugel, D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64, 209-210.

**RECEBIDO EM 24/01/2005**

**ACEITO EM 02/01/2006**