

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA A FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS (Volume equations for the Tapajós National Forest)

José Natalino Macedo Silva^{*}
João Olegário Pereira de Carvalho^{*}
José do Carmo Alves Lopes^{**}
Manoel Sebastião Pereira de Carvalho^{***}

RESUMO

Com o objetivo de atender a demanda de informações acerca de relações quantitativas para a Floresta Nacional do Tapajós, Estado do Pará, selecionaram-se equações de volume para andiroba (*Carapa guianensis*), abiurana (diversos gêneros), jutaí-açu (*Hymenaea courbaril*), jarana (*Holopyxidium jarana*), ucuuba-da-terra-firme (*Virola* sp), taxi-vermelho (*Sclerolobium chrysophyllum*), maçaranduba (*Manilkara huberi*), além de equações abrangentes, para qualquer espécie.

Testaram-se 16 equações, nove das quais considerando o volume como uma função do diâmetro à altura do peito (DAP) e sete como uma função do DAP e da altura comercial. A escolha das melhores equações foi feita com base no coeficiente de determinação e no índice de Furnival.

Dentre as equações de uma entrada, a equação de Husch, $\ln V = b_0 + b_1 \ln d$, ajustou-se melhor aos dados de quase todas as espécies, com exceção de jarana e taxi-vermelho, cujas equações foram, respectivamente, $\ln V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$ e $\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d$.

Com relação às equações de duas entradas, a equação de Schumacher-Hall, $\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$, ajustou-se melhor aos dados de todas as espécies, com exceção de taxi-vermelho, cuja equação foi $\ln V = b_0 + b_1 \ln (d^2 h)$.

As equações de duas entradas foram mais precisas que as de uma entrada. Os coeficientes de variação situaram-se entre 4% e 10% no primeiro caso e entre 4% e 18% no segundo caso.

PALAVRAS-CHAVE: equações de volume, análise de regressão, *Carapa guianensis*, *Hymenaea courbaril*, *Holopyxidium jarana*, *Virola* sp, *Sclerolobium chrysophyllum*, *Manilkara huberi*, Floresta Nacional de Tapajós, floresta tropical, Amazônia.

ABSTRACT

In order to supply the information requirements on quantitative relations for the Tapajós National Forest, State of Pará, volume equations were selected for andiroba (*Carapa guianensis*), abiurana (several genera), jutaí-açu (*Hymenaea courbaril*), jarana (*Holopyxidium jarana*), ucuuba-da-terra-firme (*Virola* sp), taxi-vermelho

^{*} Eng. Florestal, M.Sc., Pesquisador da EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido - CPATU

^{**} Eng. Florestal, B.S., Pesquisador da EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido - CPATU.

^{***} Eng. Florestal, Bolsista do PIEP/CNPq/EMBRAPA

(*Sclerolobium chrysophyllum*), maçaranduba (*Manilkara huberi*) and also general equations were selected for the whole forest.

Sixteen equations were tested, nine of which considering the volume as a function of the diameter at breast height (DBH) and seven considering the volume as a function for the DBH and the commercial height. The choice of the best equation was made on the base of the coefficient of determination and on the Furnival index.

Among the one entry equations, the equation of Husch, $\ln V = b_0 + b_1 \ln d$, fit better the data for almost all species except jarana and taxi-vermelho, whose equations were, respectively, $\ln V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$ and $\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d$.

Concerning to the two entries equations, the equation of Schumacher-Hall, $\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$, fit better the data for all species except taxi-vermelho, whose equations was $\ln V = b_0 + b_1 \ln (d^2 h)$.

The two entries equations were more accurate than those of one entry. The coefficients of variation ranged from 4 percent to 10 percent in the first case and from 4 percent to eighteen percent in the second case.

KEY WORDS: volume equations, regression analysis, *Carapa guianensis*, *Hymenaea courbaril*, *Holopyxidium jarana*, *Virola* sp, *Sclerolobium chrysophyllum*, *Manilkara huberi*, Tapajós National Forest, tropical forest, Amazon.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos do inventário florestal é estimar a quantidade de madeira de uma floresta, de acordo com diversas classificações, tais como: espécies presentes, classes de diâmetro e qualidade do fuste, dentre outras.

A decisão sobre o método a ser empregado para transformar, em termos quantitativos, as dimensões das árvores ou dos povoamentos, deve ser tomada durante a fase de planejamento do inventário.

A expressão quantitativa mais usada em florestas é o volume de madeira, embora se utilize, com bastante frequência, o peso. Os volumes das árvores podem ser estimados através de relações previamente estabelecidas entre eles e dimensões facilmente mensuráveis. Diâmetro, altura e forma são as variáveis independentes comumente utilizadas para estimar o volume de madeira. O resultado final de uma relação desse tipo pode ser apresentado em forma de tabela, chamada de tabela de volume (HUSCH et al. 1972).

Com o emprego do processamento eletrônico de dados, as tabelas de volume perderam, atualmente, sua importância no inventário florestal. Equações de volume derivadas pelo método dos Quadrados Mínimos, através da análise de regressão, estão mais em uso no presente (LOETSCH et al. 1973).

HUSCH et al. (1972) classificam as tabelas de volume em três categorias: tabelas padrão (ou de dupla entrada), onde o volume é função do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura; tabelas locais, onde o volume é função apenas do DAP; e tabelas por classe de forma, onde o volume é função do diâmetro, altura e uma medida da forma de árvore. No Brasil, os dois primeiros tipos são os mais usados.

As tabelas padrão são mais precisas que as tabelas locais, porque elas envolvem, além do diâmetro, a altura como variável independente. A combinação das duas variáveis, na forma do quadrado do diâmetro multiplicado pela altura ($d^2 \cdot h$), é altamente correlacionada com o volume, explicando a maior parte da variação deste. Do mesmo modo, o quadrado do diâmetro é altamente correlacionado com o volume.

Embora mais precisas, as tabelas padrão são menos recomendáveis para as

florestas tropicais, porque a altura é uma variável de difícil medição. O ganho em precisão pode, muitas vezes, não compensar o aumento do custo do inventário (FAO 1974). As equações de simples entrada são mais apropriadas para as florestas tropicais, pela simplicidade de sua aplicação e pela facilidade de reproduzi-las, através de calculadoras eletrônicas de mesa (LANLY 1965a e 1965b).

Situada no Município de Santarém, Estado do Pará, a Floresta Nacional do Tapajós está destinada a tornar-se a primeira floresta de produção da Região Amazônica. O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal — IBDF iniciou a implantação de um plano piloto de exploração e manejo em uma área de 160 mil hectares daquela reserva florestal, com a proposição de demonstrar a viabilidade técnica e econômica da utilização de florestas de terra-firme da Amazônia para a produção de madeira.

Este trabalho teve por objetivo determinar equações de volume de simples e dupla entrada para algumas espécies de interesse econômico da Floresta Nacional do Tapajós, além de equações abrangentes que possam ser utilizadas de maneira genérica. Estas equações poderão ser empregadas para essa floresta e para outras que mostrem condições similares a ela.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para a determinação das equações de volume foram obtidos de árvores abatidas na exploração de uma área experimental de 64 hectares, pertencente à Floresta Nacional do Tapajós e situada no km 67 da Rodovia Santarém — Cuiabá.

Mediram-se diâmetros e espessura da casca, em intervalos regulares de dois metros, o DAP (diâmetro à altura do peito) ou o diâmetro 30 cm acima das sapopemas e o comprimento do fuste até a primeira bifurcação. Essas observações permitiram a estimação dos volumes reais, através da fórmula de Smalian, descrita por HUSCH et al. (1972).

Na Tabela 1, são mostradas as espécies selecionadas e o número de árvores-amostras medidas.

TABELA 1. Espécies selecionadas para a determinação de equações de volume e número de árvores amostras medidas — FLONA de Tapajós.
(Number of sample trees and species used in determination of volume equations for the Tapajós National Forest).

Espécie (Species)	Número de Árvores-Amostras (Number of sample trees)
maçaranduba (<i>Manilkara huberi</i>)	65
taxi-vermelho (<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>)	62
ucuuba-da-terra-firme (<i>Virola</i> , sp)	52
jarana (<i>Holopyxidium jarana</i>)	66
jutaí-açu (<i>Hymenaea courbaril</i>)	50
abiurana (diversos gêneros)	101
andiroba (<i>Carapa guianensis</i>)	183
diversas espécies	905

Das 16 equações testadas e mostradas na Tabela 2, nove são equações de uma entrada e sete são de duas entradas.

TABELA 2: Equações testadas para estimar volumes de árvores na Floresta Nacional do Tapajós.
(Equation tested to estimate the volumes of trees in the Tapajós National Forest).

Nº	Autor* (Author)	Equações (Equations)
1	_____	$V = b_0 + b_1 d$
2	_____	$V = b_0 + b_1 (1/d)$
3	_____	$V = b_0 + b_1 (1/d) + b_2 d$
4	KOPEZKY-GEHRHARDT	$V = b_0 + b_1 d^2$
5	HOHENADL-KRENN	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
6	_____	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d$
7	_____	$\ln V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
8	HUSCH (1963)	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$
9	BRENAC	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 (1/d)$
10	SPURR (1952)	$V = b_0 + b_1 d^{2h}$
11	STOATE	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^{2h} + b_3 h$
12	NÄSLUND	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^{2h} + b_3 dh^2 + b_4 h^2$
13	MEYER	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^{2h} + b_5 h$
14	MEYER modificada	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^{2h}$
15	SCHUMACHER-HALL	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$
16	SPURR (1952)	$\ln V = b_0 + b_1 \ln (d^{2h})$

* Citados por LOETSCH et al. (1973).
(According to LOETSCH et al. 1973).

V = Volume comercial
(Commercial volume)

d = Diâmetro à altura do peito ou a 30 cm acima das sapopemas.
(DBH or 30 cm above buttresses)

h = Altura comercial
(Commercial height).

ln = Logaritmo natural
(Natural logarithm).

b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅ = Coeficientes de regressão
(Regression coefficients)

A seleção das melhores equações foi feita com base no coeficiente de determinação (R²) e no Índice de Furnival (FURNIVAL 1961).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As melhores equações para o cálculo do volume (com e sem casca) das sete espécies selecionadas e as melhores equações genéricas são apresentadas nas Tabelas de 3 a 6.

TABELA 3. Resultados de equações de volume de uma entrada (com casca), para a FLONA do Tapajós.
(Results of one entry volume equations with bark for the Tapajós National Forest).

Espécies (Species)	Equações de volume (Volume equations)	Índice de FURNIVAL (Furnival Index)	R ²	C. V. %
andiroba	$\ln V = - 7,58355 + 2,14919 \ln d$	0,704503	0,804347	16
abiuarana	$\ln V = - 6,43080 + 1,86787 \ln d$	0,825458	0,823032	16
jutai-açu	$\ln V = - 6,83062 + 2,07904 \ln d$	1,505440	0,961751	4
jarana	$\ln V = - 1,46254 + 0,05932d - 0,00019d^2$	1,014120	0,921849	9
ucuuba-da-terra-firme	$\ln V = - 6,36922 + 1,89702 \ln d$	0,625655	0,755872	13
taxi-vermelho	$\ln V = - 12,17500 + 3,62778 \ln d - 0,02294d$	1,119140	0,805608	13
maçaranduba	$\ln V = - 6,36296 + 1,90014 \ln d$	1,182970	0,760468	11
Equação genérica (General equation)	$\ln V = - 7,62812 + 2,18090 \ln d$	1,249010	0,836307	16

V = Volume comercial, com casca
(Commercial volume with bark)

d = Diâmetro à altura de referência (a 1,30 m do solo ou imediatamente acima das sapopemas)
(Diameter at reference height - 1,30 m above the ground or just above the buttresses).

TABELA 4. Resultados de equações de volume de uma entrada (sem casca), para a FLONA do Tapajós.
(Results of one entry volume equations without bark for the Tapajós National Forest).

Espécies (Species)	Equações de volume (Volume equations)	Índice de Fúrnival (Furnival Index)	R ²	C.V. %
andioba	$\ln V = - 7,91241 + 2,21255 \ln d$	0,657727	0,808791	18
abiurana	$\ln V = - 6,70150 + 1,91522 \ln d$	0,766943	0,846954	16
jutai-açu	$\ln V = - 6,84288 + 2,06065 \ln d$	1,368400	0,961020	5
jarana	$\ln V = - 1,69570 + 0,06143d - 0,00020d^2$	0,897510	0,919843	10
ucuuba-da-terra-firme	$\ln V = - 6,44596 + 1,89276 \ln d$	0,569521	0,765914	13
taxi-vermelho	$\ln V = - 11,84970 + 3,50818 \ln d - 0,02142d$	1,039620	0,806984	14
maçaranduba	$\ln V = - 6,75353 + 1,96277 \ln d$	1,046260	0,757343	13
Equação genérica (General equation)	$\ln V = - 7,81370 + 2,20385 \ln d$	1,142950	0,846977	17

V = Volume comercial sem casca
(Commercial volume without bark)

d = Diâmetro à altura de referência (a 1,30 m do solo ou imediatamente acima das sapopemas)
(Diameter at reference height - 1.30 m above the ground or just above the buttresses).

TABELA 5: Resultados de equações de volume de duas entradas (com casca), para a FLONA do Tapajós.
(Results of two entries volume equations with bark for the Tapajós National Forest).

Espécies (Species)	Equações de volume (Volume equations)	Índice de Furnal (Furnal Index)	R ²	C.V.%
andiroba	$\ln V = -8,87887 + 1,95510 \ln d + 0,76298 \ln h$	0,391765	0,939831	9
abiurana	$\ln V = -8,68714 + 1,90132 \ln d + 0,76618 \ln h$	0,471531	0,942837	9
jutaí-açu	$\ln V = -8,79752 + 2,05032 \ln d + 0,62589 \ln h$	1,254740	0,973983	4
jarana	$\ln V = -8,37606 + 1,97136 \ln d + 0,57422 \ln h$	0,816794	0,949303	7
ucuba-da-terra-firme	$\ln V = -8,25861 + 1,89762 \ln d + 0,62461 \ln h$	0,418899	0,892750	8
taxi-vermelho	$\ln V = -7,92964 + 0,84181 \ln (d^2 h)$	0,567287	0,949205	7
macaranduba	$\ln V = -7,92437 + 1,80022 \ln d + 0,66289 \ln h$	0,930616	0,883783	8
Equação genérica (General equation)	$\ln V = -8,86102 + 1,93181 \ln d + 0,78683 \ln h$	0,629423	0,958476	8

V = Volume comercial com casca

(Commercial volume with bark)

d = Diâmetro à altura de referência (a 1,30 m do solo ou imediatamente acima das sapopemas)

(Diameter at reference height - 1.30 m above the ground or just above the buttresses)

h = Altura comercial (descontada a altura do toco)

(Commercial height - stump height not considered).

TABELA 6: Resultados de equações de volume de duas entradas (sem casca), para a FLONA do Tapajós.
(Results of two entries volume equations without bark for the Tapajós National Forest).

Espécies (Species)	Equações de volume (Volume equations)	Índice de Furrival (Furrival Index)	R ²	C.V. %
andiroba	$\ln V = -9,20315 + 2,01914 \ln d + 0,76028 \ln h$	0,365753	0,936427	10
abiurana	$\ln V = -8,73394 + 1,94535 \ln d + 0,69015 \ln h$	0,438134	0,942102	10
jutai-açu	$\ln V = -8,70445 + 2,03346 \ln d + 0,59238 \ln h$	1,140520	0,972165	4
jarana	$\ln V = -8,66971 + 2,04008 \ln d + 0,53366 \ln h$	0,722874	0,941221	9
ucuuba-da-terra-firme	$\ln V = -8,25786 + 1,89334 \ln d + 0,59900 \ln h$	0,381315	0,894042	9
taxi-vermelho	$\ln V = -7,98398 + 0,84010 \ln (d^2 h)$	0,526970	0,948484	7
maçaranduba	$\ln V = -8,29726 + 1,86398 \ln d + 0,65538 \ln h$	0,734623	0,869847	9
Equação genérica (General equation)	$\ln V = -8,97064 + 1,97011 \ln d + 0,73835 \ln h$	0,575978	0,953669	9

V = Volume comercial sem casca

(Commercial volume without bark)

d = Diâmetro à altura de referência (a 1,30 m do solo ou imediatamente acima das sapopemas)

(Diameter at reference height - 1.30 m above the ground or just above the buttresses)

h = Altura comercial (descontada a altura do toco)

(Commercial height - stump height not considered).

As equações logarítmicas ajustaram-se melhor aos dados, o que se pressupõe haver heterogeneidade de variâncias, fato em geral observado ao ajustar-se equações de volume para florestas tropicais.

Dentre as equações de uma entrada testadas, a equação nº 8, de Husch (Tabela 2), ajustou-se melhor a quase todas as espécies, com exceção de jarana e taxi-vermelho. Com relação às equações de duas entradas, o melhor ajuste se deu com a equação nº 15 de Schumacher-Hall para todas as espécies, com exceção de taxi-vermelho. Uma vez que o mesmo modelo ajusta-se a diversas espécies, é provável que essas espécies possam constituir um só grupo. Para isso, seria necessário verificar se as equações são semelhantes, isto é, se são paralelas e, assim sendo, se seus interceptos são coincidentes (KOZAK 1972, DECOURT 1971 e SILVA & SCHNEIDER 1979).

Como era de se esperar, as equações de duas entradas foram mais precisas que as de uma entrada. Os coeficientes de variação situaram-se entre 4% e 10%, no primeiro caso, e entre 4% e 18%, no segundo caso. Porém, o ganho de precisão, pelo uso de equações de duas entradas, pode não ser compensado pelo aumento de custo do inventário (FAO 1974).

Para melhorar a precisão das equações, as seguintes providências poderiam ser implementadas: a) aumentar o número de árvores-amostras para as espécies em estudo, com exceção de abiurana, andiroba e para a equação genérica; b) promover uma distribuição mais adequada das árvores-amostras nas classes de diâmetro, conforme recomendam KOZAK & DEMAERSCHALK (1974); c) realizar análise de resíduos para detectar possíveis pontos discrepantes (outliers). Este último procedimento, em particular, promove uma melhoria significativa nos critérios usados para a seleção de equações de volume (SILVA & CARVALHO 1984).

4. CONCLUSÕES

— Os modelos logarítmicos ajustaram-se melhor aos dados das sete espécies estudadas e aos dados da equação genérica;

— a equação de Husch, $\ln V = b_0 + b_1 \ln d$, ajustou-se melhor aos dados de quase todas as espécies, com exceção de jarana e taxi-vermelho, cujas equações foram, respectivamente, $\ln V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$ e $\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d$;

— no que concerne às equações de duas entradas, a equação de Schumacher-Hall ($\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$) ajustou-se melhor aos dados de todas as espécies, com exceção de taxi-vermelho, cuja equação foi: $\ln V = b_0 + b_1 \ln (d^2 h)$;

— dada à similaridade dos coeficientes encontrados nos modelos comuns a diversas espécies, presume-se que essas espécies possam constituir um só grupo, podendo ser representadas por uma única equação.

5. REFERÊNCIAS

DECOURT, M. Comparaison des équations de régression. Application au cubage des peuplements d'épicéa commun. **Ann. Sci. Forest.**, 28(1): 51-8, 1971.

DEMAERSCHALK, J.P. & KOZAK, A. Suggestions and criteria for more effective regression sampling. **Can. J. For. Res.**, 4:341-48, 1974.

FAO. **Manual de inventário florestal con especial referencia a los bosques mixtos tropicales**. Roma, 1974. 195p.

FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. **For. Sci.**, 7(4): 337-41, 1961.

- HUSCH, B.; MILLER, C.I. & BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York, The Ronald Press Co., 1972. 410p.
- KOZAK, A. A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear regressions. In: IUFRO Conference Advisory Group of Forest Statisticians, 3., Jouy-en-Josas, 1972. Paris, INRA, 1972. p.133-45.
- LANLY, J.P. Les tarifs de cubage. **Bois For. Trop.**, (100):19-35, 1965a.
- LANLY, J.P. Les tarifs de cubage (suite). **Bois For. Trop.**, (101):17-27, 1965b.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F. & HALLER, K.E. **Forest inventory**. Munich, BLV, 1973. v.2. 469p.
- SILVA, J.N.M. & SCHNEIDER, P.R. Comparação de equações de volume para povoamento de *Acácia mearnsii* (acácia negra) no Estado do Rio Grande do Sul. **Floresta**, 10(1); 36-42, 1979.
- SILVA, J.N.M. & CARVALHO, M.S.P. de. Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós, Belterra - Pará. **Boletim de Pesquisa Florestal**, (8/9), jun./dez. 1984.