

DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME PARA ÁRVORES DE *Acacia mangium* Willd

Ricardo Antonio de Arruda Veiga¹, Carlos Marchesi de Carvalho¹ e Maria Aparecida Mourão Brasil¹

RESUMO: A leguminosa arbórea *Acacia mangium* Willd é espécie de rápido crescimento, sobre a qual são raros os trabalhos publicados no Brasil. No presente estudo foram abatidas 125 árvores com sete anos de idade, em Botucatu-SP. As árvores amostradas apresentavam troncos múltiplos com valores médios de 14,9 m de altura total, 8,50 cm de dap, 10,82% de porcentagem de casca e 0,4704 de fator de forma. Foram testados sete modelos de equação de regressão para estimativas dos volumes totais de madeira com casca (vtcc) e sem casca (vtsc) e dos volumes comerciais com e sem casca (vccc e vcsc) ao diâmetro limite de 4 cm com casca, em função das variáveis dap com casca (d) e altura total (h). O modelo selecionado foi o de Meyer modificado.

PALAVRAS-CHAVE: Volume, equações de volume, *Acacia mangium*

TREE VOLUME EQUATIONS FOR *Acacia mangium* Willd

ABSTRACT: There are a few papers published about the fast growing tree species *Acacia mangium* Willd in Brazil. In this study 125 stems were sampled in 7-years-old trees, in Botucatu, State of Sao Paulo. The mean values of the sampled stems were: total height = 14.9 m; dbh = 8.50 cm (trees with multiple stems); form factor = 0.4704 and bark percentage = 10.82 %. Seven regression models were compared in order to estimate the tree total-stem wood volume outside bark (tvob), as a function of tree dbh outside bark (d) and total height (h). The same models were also compared to estimate total stem-volume inside bark (tvib), and merchantable-stem volumes outside and inside bark (mvob and mvib) to a 4.0 cm diameter top outside bark. Meyer's modified model was selected, resulting in the following four tree volume equations: $tvob = - 83781 + 38100d - 3373.921449d^2 - 1182.119898dh + 180.492446d^2h$; $tvib = - 75146 + 34932d - 3140.342475d^2 - 1101.933853dh + 168.089354d^2h$; $mvob = - 84854 + 38875d - 3430.779373d^2 - 1200.264989dh + 182.693837d^2h$ e $mvib = - 78752 + 35592d - 3187.349100d^2 - 1116.657350dh + 169.872490d^2h$ in which volumes are expressed in dm^3 , diameter in cm and height in m.

KEY-WORDS: Volume, volume equations, *Acacia mangium*

1. INTRODUÇÃO

A *Acacia mangium* é uma leguminosa pioneira que vem despertando a atenção dos técnicos e pesquisadores pela rusticidade,

rapidez de crescimento e, principalmente, por ser espécie nitrificadora.

O interesse na realização de pesquisas com essa espécie florestal foi destacado pela Nitrogen Fixing Tree Association (1987), que salientou a habilidade de desenvolvimento em grande

¹ Departamento de Recursos Naturais/UNESP - Botucatu - SP 18603-970 - raaveiga@fca.unesp.br; cmcarvalho@fca.unesp.br; mambrasil@laser.com.br.

amplitude de sítios e a sua importância para reflorestamentos e reabilitação de solos tropicais.

No Manual Agroflorestal para a região amazônica, Dubois (1996) refere-se ao potencial da espécie para recuperação de solos e para fins diversos como o uso da madeira para energia.

Essa leguminosa tem sido extensivamente plantada na Malásia desde 1973, tendo sido registrados, em regiões úmidas, crescimentos superiores aos atingidos pela *Gmelina arborea*, pelo *Eucalyptus deglupta* e outras espécies florestais (Mergen, 1983).

Plantios experimentais diversos com *Acacia mangium* foram realizados na Ásia, África e América do Sul. Contudo, poucos foram os trabalhos publicados sobre equações de volume, como os de Wan-Razali *et al.* (1989), que ajustaram, por regressão linear, equações para estimativas de volumes, com e sem casca, em povoamentos com cinco anos de idade, e Bustomi (1988), que elaborou tabela de volumes para árvores de cinco e seis anos de idade.

No que se refere à literatura nacional, há poucos estudos sobre essa leguminosa como os de Daniel *et al.* (1997), que analisaram efeitos de fósforo em mudas com oitenta dias de idade, Silva *et al.* (1996), que cotejaram dezoito procedências aos 63 meses de idade e Carvalho, Brasil e Veiga (1997), que determinaram equações de peso para árvores com sete anos de idade.

A literatura compulsada não permitiu localizar, para essa espécie de acácia, publicações nacionais referentes a equações de volume, por ocasião do primeiro corte do povoamento.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de selecionar equações de volume para árvores de *Acacia mangium*, por ocasião de primeiro corte, visando à estimativa dos volumes totais e comerciais da madeira do tronco, com e sem casca, em função de variáveis envolvendo os respectivos valores de altura total e diâmetro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área com povoamentos de sete anos de idade de *Acacia mangium*, na região de Botucatu - SP.

O solo dos locais em estudo é classificado como Latossolo vermelho-amarelo fase arenosa e o espaçamento adotado por ocasião do plantio foi o de 3 x 2 m.

As mudas de acácia foram obtidas de sementes coletadas de plantios experimentais da Empresa Agropecuária de Minas Gerais, em Governador Valadares - MG, os quais eram decorrentes de sementes trazidas de Queensland, Austrália.

Foram amostradas 125 árvores, igualmente distribuídas por classes de dap ("diâmetro à altura do peito", medido a 1,30 m do nível do solo). As árvores amostradas foram as utilizadas por Carvalho, Veiga e Brasil (1997) para estimativas de peso de matéria seca.

Em cada árvore-amostra foram realizadas determinações de altura total, dap com casca e altura comercial até o diâmetro limite de 4 cm com casca. Foram também medidos os diâmetros com e sem casca em cinco secções do tronco, nos pontos correspondentes a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

Com base nas determinações dendrométricas, foram calculados, para cada árvore amostrada, os volumes totais e comerciais, com e sem casca, fator de forma ordinário e porcentagem de casca.

Foram comparados modelos clássicos de equações de regressão linear, citados por Veiga (1984), para selecionar as melhores equações para estimativas dos volumes totais e comerciais, com e sem casca, em função das variáveis dependentes dap com casca e altura total.

Os modelos testados estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos de equações de regressão testados para seleção de equações para estimativa do volume (v) de uma árvore em função dos respectivos valores de dap (d) e altura total (h).

Table 1. Regression equations models compared in order to estimate the tree stem wood volume (v) as a function of dbh outside bark (d) and total height (h).

Equação	Modelo
1 (Variável combinada, de Spurr)	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \epsilon$
2 (Australiana, de Stoatl)	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 h + \beta_3 d^2 h + \epsilon_i$
3 (Meyer, modificada)	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \epsilon_i$
4 (Naslund)	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2 + \epsilon_i$
5 (Combinada logarítmica, de Spurr)	$\log_e v = \beta_0 + \beta_1 \log_e (d^2 h) + \log_e \epsilon_i$
6 (Logarítmica de Schumacher-Hall)	$\log_e v = \beta_0 + \beta_1 \log_e d + \beta_2 \log_e h + \log_e \epsilon_i$
7 (Variável combinada logarítmica)	$\log_e v = \beta_0 + \beta_1 \log_e (dh^2) + \log_e \epsilon_i$

\log_e = logaritmo natural

β_i = parâmetros a serem estimados

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As árvores amostradas apresentavam troncos múltiplos, com valores médios de 8,50 cm de dap com casca, 14,9 m de altura total, 0,4704 de fator de forma e 10,82% de porcentagem de casca.

Os resultados correspondentes aos parâmetros das equações de regressão para estimativas do volume total com casca de uma árvore (vtcc) em função de dap com casca (d) e altura total (h) estão sintetizados na Tabela 2. As equações foram estimadas com valores de volumes em dm^3 , diâmetros em cm e altura total em m. Os resultados correspondentes às estimativas análogas obtidas para volume total sem casca de uma árvore (vtsc), volume comercial com casca (vccc) e volume comercial sem casca (vcsc) estão também sintetizados na mesma tabela.

A Tabela 3 relaciona, para cada modelo, os respectivos valores de coeficiente de determinação r^2 e de coeficiente de variação CV. Tais valores foram utilizados, juntamente com a

análise da distribuição gráfica de resíduos, para selecionar, em cada caso, as melhores equações.

Comparando entre si os modelos 1 a 4, não logarítmicos, depreende-se que os melhores resultados para as estimativas de vtcc, vtsc, vccc e vcsc foram os correspondentes ao modelo 3.

Comparando-se os modelos 5 a 7, logarítmicos, os melhores resultados para as estimativas de vtcc, vtsc, vccc e vcsc foram as obtidas por meio do modelo 6.

Para cotejar-se os modelos selecionados 3 e 6, sendo o primeiro não logarítmico e o segundo logarítmico, foram calculados adicionalmente os respectivos valores do índice de Furnival (1961) que, para vtcc, foram de 5,654 e 7,150, para vtsc foram de 5,086 e 6,478; para vccc 5,685 e 7,576 e de 5,094 e 6,892 para vcsc.

Depreende-se, assim, que os melhores resultados do conjunto de equações foram obtidos por meio do modelo 3, o qual correspondente à equação de Meyer, modificada para as estimativas, tanto de vtcc como de vtsc, vccc e vcsc:

$$\begin{aligned}
 vtcc &= -83781 + 38100d - 3373,921449d^2 - 1182,119898dh + 180,492446d^2h \\
 &\quad (r^2=0,9501; CV=13,37\%) \\
 vtsc &= -75146 + 34932d - 3140,342475d^2 - 1101,933853dh + 168,089354d^2h \\
 &\quad (r^2=0,9484; CV=13,53\%) \\
 vccc &= -84854 + 38875d - 3430,779373d^2 - 1200,264989dh + 182,693837d^2h \\
 &\quad (r^2=0,9503; CV=13,96\%) \\
 vcsc &= -78752 + 35592d - 3187,349100d^2 - 1116,657350dh + 169,872490d^2h \\
 &\quad (r^2=0,9491; CV=14,08\%)
 \end{aligned}$$

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para determinações de volumes totais, com e sem casca (vtcc e vtsc) e de volumes comerciais, com e sem casca (vccc e vcsc) para *Acacia mangium* aos sete anos de idade.

Table 2. Results of regression parameters for total-stem wood volumes outside and inside bark (vtcc and vtsc) and merchantable-stem wood volumes outside and inside bark (vccc and vcsc) for *Acacia mangium* 7-years-old trees.

Modelo	β_i	vtcc	vtsc	vccc	Vcsc
1	β_0	8717,189232	7962,495120	7001,456982	6423,502665
	β_1	28,285324	24,958749	28,392393	25,080566
2	β_0	18176	18245	15984	16212
	β_1	77,478918	24,850204	95,591650	42,435543
	β_2	-1345,353527	-1307,432040	-1335,093497	-1293,641387
	β_3	32,191036	31,101328	31,398129	30,327997
3	β_0	-83781	-75146	-87854	-78752
	β_1	38100	34932	38875	35592
	β_2	-3373,921449	-3140,342475	-3430,779373	-3187,349100
	β_3	-1182,119898	-1101,933853	-1200,264989	-1116,657350
	β_4	180,492446	168,089354	182,693837	169,872490
4	β_0	25272	21831	23897	20556
	β_1	-435,294740	-459,009406	-425,525000	-449,448705
	β_2	29,350262	34,607879	27,718549	33,193946
	β_3	36,571617	26,742019	38,223176	28,133047
	β_4	-249,671968	-187,811668	-260,004003	-196,492896
5	β_0	4,183283	3,238666	3,675579	3,595146
	β_1	0,896113	0,937379	0,977053	0,971908
6	β_0	5,107350	5,055755	4,675983	4,612584
	β_1	2,387169	2,383240	2,631783	2,633032
	β_2	0,120424	0,099329	0,063435	0,042734
7	β_0	5,303066	5,217186	4,208675	4,143191
	β_1	2,446189	2,431922	0,832726	0,825950

β_i = parâmetros a serem estimados

Tabela 3. Resultados de coeficiente de determinação (r^2) e coeficiente de variação (CV) para os modelos testados para estimativa de volumes totais, com e sem casca (vtcc e vtsc) e comerciais, com e sem casca (vccc e vcsc), para *Acacia mangium* aos sete anos de idade.

Table 3. Coefficient of determination (r^2) and coefficient of variation (CV) for the regression models tested for total-stem wood volumes outside and inside bark (vtcc and vtsc) and merchantable-stem wood volumes outside and inside bark (vccc and vcsc) for *Acacia mangium* 7-years-old trees.

Modelo	vtcc		vtsc		vccc		vcsc	
	r^2	CV%	r^2	CV%	r^2	CV%	r^2	CV%
1	0,7497	29,57	0,7450	29,73	0,7436	31,34	0,7398	31,44
2	0,9134	17,53	0,9098	17,82	0,9124	18,47	0,9093	18,72
3	0,9501	13,37	0,9484	13,53	0,9503	13,96	0,9491	14,08
4	0,9481	13,63	0,9455	13,91	0,9477	14,32	0,9455	14,57
5	0,8420	2,54	0,8352	2,61	0,8258	2,93	0,8186	3,02
6	0,9060	1,96	0,9019	2,02	0,8987	2,24	0,8942	2,31
7	0,9046	1,97	0,9010	2,02	0,5647	4,63	0,5566	4,72

As equações de volume selecionadas serão as utilizadas na estimativa volumétrica na área florestal em questão, como parte de um projeto que objetiva quantificar a biomassa dessa espécie em termos de volume e de peso de matéria seca.

4. CONCLUSÃO

O modelo correspondente à equação de Meyer modificada ($v = \beta_0 + \beta_1d + \beta_2d^2 + \beta_3dh + \beta_4d^2h + \epsilon$) foi o mais adequado para estimar os volumes totais e comerciais, com e sem casca, para árvores de *Acacia mangium*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSTOMI, S. Local tree volume table for *Acacia mangium* in Balikpapan district, East Kalimantan. **Bul. Penelitian-Hutan**, n.495, p.31-8, 1988. In: **CAB ABSTRACT**, Wallingford, v.2, 1987-1989. (Abstract n. 880626130). 1 CD ROM.
- CARVALHO, C.M.; VEIGA, R.A.A.; BRASIL, M.A.M. Equations for dry weight estimation of seven-year-old *Acacia mangium* Willd bole in a southeastern brazilian forest plantation. In: MODELLING GROWTH OF FAST-GROWN TREE SPECIES' IUFRO CONFEREN-CE, 1997, Chile, Valdivia, **Anais...** Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, 1997. p.127-131.
- DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; ALOVISI, A.A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A.M.; PINHEIRO, E.R.; SOUZA, E.F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.163-168, abr./jun. 1997.
- DUBOIS, J.C.L. **Manual agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAF, 1996. v.1.
- FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. **Forest Science**, Washington, v.7, n.4, p.337-341, Dec. 1961.
- MERGEN, F. **Mangium and other acacias of the humid tropics**. Washington: National Academic Press, 1983. 62p.
- NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION. *Acacia mangium* - a fast growing tree for the umid tropics. NFT Highlight, 87-04, julho, 1987. Separata, 2p.
- SILVA, F.P.; BORGES, R.de C.G.; PIRES, I.E. Avaliação de procedências de *Acacia mangium* Willd, aos 63 meses de idade, no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.299-308, jul./set. 1996.
- VEIGA, R.A.A. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1984. 108p. (Boletim Didático, 1).
- WAN-RAZALI, W.M.; KLALI-AZIZI-HANZAH; CHEW, T.K. A volume table for planted *Acacia mangium* in Peninsular Malaysia. **Journal Tropical Forest Science**, Malaysia, v.2, n.2, p.110-121, 1989.