

DETERMINAÇÃO DE MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA DO TRONCO E DA COPA DE *Acacia mangium**

Ricardo Antonio de Arruda VEIGA**

Maria Aparecida Mourão BRASIL**

Carlos Marchesi de CARVALHO**

Demétrio Vasco de TOLEDO FILHO***

RESUMO

Foram amostradas 152 árvores de *A. mangium* Willd em plantações experimentais com 94 meses de idade, em Botucatu, Estado de São Paulo, objetivando selecionar modelos para determinações de biomassa de tronco, folhas e ramos. Em 125 das árvores amostradas foram coletadas secções transversais dos troncos na base (0%) e a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, as quais foram processadas em laboratório para determinações da densidade básica da madeira e da densidade da casca. Em outras 27 árvores foram pesados separadamente ramos e folhas, e coletadas amostras para determinação das relações de peso entre matéria seca e matéria verde. Sete modelos de regressão, em função de DAP com casca (d_i) e altura total (h_i), foram testados para estimar: peso total de matéria seca do tronco com casca, peso total de matéria seca de folhas, peso total de matéria seca de ramos e peso total de matéria seca da copa. O modelo selecionado para as estimativas de biomassa (w_i) do tronco com casca e dos ramos, foi o de Meyer, modificado ($w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i + \beta_2 d_i^2 + \beta_3 d_i h_i + \beta_4 d_i^2 h_i + \epsilon$), e para as de biomassa das folhas e da copa foi o de Schumacher-Hall ($l_n w_i = \beta_0 + \beta_1 l_n d_i + \beta_2 l_n h_i + \epsilon$).

Palavras-chave: *Acacia mangium*; equações de peso; modelos; biomassa; tronco; copa.

1 INTRODUÇÃO

A leguminosa florestal *A. mangium* vem sendo testada em alguns plantios experimentais no Brasil, ante a rusticidade, rapidez de crescimento e potencialidade para algumas das regiões do país.

Até recentemente, raros eram os trabalhos nacionais que se referiam a essa espécie, sobre a qual começam a ser publicados estudos em diferentes áreas do conhecimento. Podem ser citados, dentre outros, os de SILVA *et al.* (1996), comparando 18 procedências; DANIEL *et al.* (1997), analisando o

ABSTRACT

A total of 152 trees were sampled in experimental plantation of 94-month old *A. mangium* Willd, in Botucatu, State of São Paulo, Brazil, to select models for stem, leaves and branches biomass determinations. Cross sections were collected in 125 sample trees at ground level (0%), 25%, 50%, 75% and at the merchantable-stem top diameter of 4.0 cm outside bark (100%), and were processed in laboratory to establish the wood basic density and the bark density. Another 27 trees were separated into the crown components of branches and leaves, which were weighted green, and samples were collected to determine the dry mass/green mass ratios for those components. Seven regression models, based on diameter at breast height outside bark (d_i) and tree total height (h_i), were tested for biomass (w_i) estimations of: total-stem wood dry weight outside bark; total leaves dry weight; total branches dry weight; total crown dry weight. The selected model for stem and branches biomass equations was the one from Meyer, modified ($w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i + \beta_2 d_i^2 + \beta_3 d_i h_i + \beta_4 d_i^2 h_i + \epsilon$), and for leaves and crown biomass was the one from Schumacher-Hall ($l_n w_i = \beta_0 + \beta_1 l_n d_i + \beta_2 l_n h_i + \epsilon$).

Key words: *Acacia mangium*; weight equations; models; biomass; stem; crown.

efeito do fósforo em mudas; CARVALHO *et al.* (1997), determinando equações para estimativas do peso de madeira sem casca.

Sendo espécie nitrificadora, serão de especial relevância estudos que analisem seu comportamento em comparação com outras espécies florestais de rápido crescimento, em diferentes condições edafo-climáticas. Dentre as comparações, deverá haver interesse em se cotejar rendimentos em termos de peso da madeira e em termos de determinação do total de biomassa do tronco e copa.

(*) Aceito para publicação em dezembro de 1999.

(**) UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Departamento de Ciências Florestais, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, Brasil.

(***) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

A literatura internacional reúne algumas publicações sobre quantificação de biomassa de *A. mangium*, podendo-se citar, dentre outras: BERNHARD-REVERSAT *et al.* (1983) encontraram boa correlação entre DAP e o peso de matéria seca, aos 7 anos de idade, com biomassa total acima do solo entre 120 e 130 t/ha, similar às de plantações de eucalipto no mesmo tipo de solo; SCHUBERT & WHITESELL (1985) estudaram 28 espécies entre 2 e 5 anos de idade, constatando bom crescimento para essa espécie de acácia e sua tendência em apresentar troncos múltiplos; LIM (1985) descreveu, para amostra de apenas 6 árvores, a média de 64,1 kg de peso de matéria seca aos 3,5 anos de idade, com elevada correlação com o valor da circunferência à altura do peito; LIM & MOHD-BASRI (1985) determinaram a biomassa acima do solo de árvores com 3,5 anos de idade, relatando o valor médio de 54,4 t/ha; LIM (1986), em ensaio de fertilização, encontrou para uma amostra de 11 árvores a média anual de 18,2 t/ha, e analisando árvores de 4 anos de idade (LIM, 1988) obteve o valor de 80,4 t/ha de biomassa total acima do solo; DUDLEY & FOWNES (1992) selecionaram equações para essa espécie aos 2 anos de idade, sendo que a estimativa do peso da biomassa acima do solo foi determinada em função apenas da variável DAP, pois a variável altura não contribuiu de forma significativa para a regressão; LATIF & HABIB (1994) selecionaram equações de peso visando estimar o peso verde de toda a árvore, e os pesos de ramos, tronco e folhas, apresentando fatores de conversão para peso de matéria seca; TANOUCI *et al.* (1994) determinaram a biomassa aos 5 anos de idade, encontrando o valor de 147 t/ha.

No Brasil, raros são os estudos sobre o assunto, caso do trabalho de CARVALHO *et al.* (1997) sobre equações de peso do tronco sem casca.

Ante essa lacuna na literatura nacional, são de relevância pesquisas que possibilitem caracterizar essa espécie em termos da biomassa da parte aérea de povoamentos. Daí a realização do presente trabalho, onde são conduzidos estudos sobre *A. mangium* referentes à seleção de modelos de regressão que permitam a estimativa da biomassa da árvore - do tronco com casca, das folhas e dos ramos - em função de variáveis envolvendo os respectivos valores de DAP e altura total.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram amostradas 152 árvores de povoamento de *A. mangium* com 94 meses de idade, igualmente distribuídas aleatoriamente por classes de diâmetro, em área de Latossol Amarelo fase arenosa, em Botucatu - SP, implantado ao espaçamento original de 3 x 2 m.

As árvores amostradas tinham amplitude de variação de diâmetros de 4,0 a 16,0 cm de DAP com casca e de 6,0 a 17,8 m de altura total.

Em 125 das árvores-amostras foram coletadas secções transversais de troncos nas porções correspondentes à base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, considerando-se o diâmetro comercial de despona de 4,0 cm com casca.

Para cada uma das secções foi determinada a densidade básica de madeira, em função dos respectivos valores de peso de matéria seca, obtidos em estufa, e volume saturado, determinado em balança hidrostática.

Foi também estimada a densidade média da casca correspondente a cada árvore.

Com base nas determinações de campo e de laboratório, foram calculados, para todas as unidades amostradas, os valores do peso total do tronco com casca a partir de seus volumes e densidades.

Nas demais 27 árvores-amostras foram realizadas determinações dendrométricas e coletado todo o material da copa, com pesagem das folhas e dos ramos. Foram também coletadas amostras para determinações das relações entre peso de matéria seca e peso de matéria verde, para estimativas individuais dos pesos totais de matéria seca das folhas e dos ramos.

Para a seleção de equações de peso, as variáveis estudadas foram as seguintes: peso total de matéria seca do tronco com casca (ptt_i), peso total de matéria seca de folhas (ptfl_i), peso total de matéria seca de ramos (ptr_i) e peso total de matéria seca da copa (ptc_i), este considerado como a soma dos valores correspondentes a ramos e folhas.

Para cada uma dessas variáveis dependentes foram cotejados os 7 modelos de equação de regressão relacionados na TABELA 1, para estimativas de peso de matéria seca em função dos valores de DAP com casca (d_i) e altura total (h_i). Tratam-se de modelos clássicos, escolhidos dentre os utilizados por VEIGA (1984, 1992) e TIMONI *et al.* (1997).

TABELA 1 - Modelos de equações de regressão testados para seleção de equações para estimativa da biomassa de uma árvore, em termos de peso de matéria seca (w_i), em g, em função dos valores de DAP (d_i), em cm, e altura total (h_i), em m.

| Modelos | Relação Funcional |
|--|---|
| Não logarítmicos | |
| 1 Variável combinada, de Spurr | $w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i^2 h_i + \varepsilon$ |
| 2 Australiano, de Stoat | $w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i^2 + \beta_2 h_i + \beta_3 d_i^2 h_i + \varepsilon$ |
| 3 Meyer, modificado | $w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i + \beta_2 d_i^2 + \beta_3 d_i h_i + \beta_4 d_i^2 h_i + \varepsilon$ |
| 4 Naslund | $w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i^2 + \beta_2 d_i^2 h_i + \beta_3 d_i h_i^2 + \beta_4 h_i^2 + \varepsilon$ |
| Logarítmicos | |
| 5 Variável combinada logarítmica, de Spurr | $\ln w_i = \beta_0 + \beta_1 \ln (d_i^2 h_i) + \varepsilon$ |
| 6 Logarítmico de Schumacher-Hall | $\ln w_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d_i + \beta_2 \ln h_i + \varepsilon$ |
| 7 Variável combinada logarítmica | $\ln w_i = \beta_0 + \beta_1 \ln (d_i h_i^2) + \varepsilon$ |

3 RESULTADOS

Os principais resultados correspondentes às equações de peso, para estimativas dos pesos totais de matéria seca do tronco, obtidos a partir de $N = 125$ observações, e das folhas, dos ramos e do total da copa, obtidos a partir de $N = 27$ observações, estão sintetizados nas TABELAS 2 e 3.

Os coeficientes estimados para as variáveis correspondentes às equações estudadas constam na TABELA 2. Os respectivos valores de coeficiente de variação (CV), coeficiente de determinação total (r^2) e índice (i) de Furnival (FURNIVAL, 1961) estão relacionados na TABELA 3.

TABELA 2 - Estimativas dos coeficientes β_i dos modelos de regressão testados para determinação da biomassa acima do nível do solo de *A. mangium* aos 94 meses de idade, em termos de peso de matéria seca (ptt = peso total do tronco com casca; ptfl = peso total de folhas; ptr = peso total de ramos; ptc = peso total da copa).

| Modelo | $b_i = \hat{\beta}_i$ | ptt | ptfl | ptr | ptc |
|--------|-----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | b_0 | 3435,408873 | -193,501403 | 1423,520486 | 1230,019083 |
| | b_1 | 15,046066 | 1,090259 | 3,248577 | 4,338835 |
| 2 | b_0 | 13004 | 1139,724708 | -277,115670 | 862,609038 |
| | b_1 | -63,013955 | -39,020618 | 172,052003 | 133,031385 |
| | b_2 | -991,749450 | -79,157732 | -42,149921 | -121,307653 |
| | b_3 | 23,514248 | 3,488052 | -6,300197 | -2,812145 |
| 3 | b_0 | -44897 | 1698,027993 | 8397,141385 | 10095 |
| | b_1 | 21327 | -358,203968 | -4064,638803 | -4422,842771 |
| | b_2 | -1973,229246 | -9,743085 | 484,543145 | 474,800060 |
| | b_3 | -704,590913 | -1,026198 | 142,956321 | 141,930123 |
| 4 | b_4 | 107,485531 | 2,824350 | -20,611713 | -17,737363 |
| | b_0 | 12058 | 455,301419 | -750,123922 | -294,827503 |
| | b_1 | -310,823595 | -74,156462 | 163,671762 | 89,515301 |
| | b_2 | 23,458598 | 8,068715 | -5,040747 | 3,027968 |
| 5 | b_3 | 15,268779 | -2,992780 | -0,979585 | -3,972365 |
| | b_4 | -108,668268 | 12,274995 | 4,336672 | 16,611667 |
| | b_0 | 3,243866 | -1,015015 | 4,321430 | 4,171388 |
| | b_1 | 0,946525 | 1,113090 | 0,603098 | 0,650848 |
| 6 | b_0 | 4,204248 | -2,036212 | 6,487374 | 6,119424 |
| | b_1 | 2,543616 | 1,732941 | 2,252351 | 2,242600 |
| | b_2 | 0,069457 | 1,903792 | -1,073971 | -0,857497 |
| 7 | b_0 | 3,753327 | -1,907177 | 3,975191 | 3,778095 |
| | b_1 | 0,807648 | 0,900005 | 0,473289 | 0,512817 |

TABELA 3 - Resultados de coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de variação (CV) e índice de Furnival (i) para os 7 modelos testados para estimativa da biomassa acima do nível do solo de *A. mangium* aos 94 meses de idade, em termos de peso de matéria seca (ptt = peso total do tronco com casca; ptfl = peso total de folhas; ptr = peso total de ramos; ptc = peso total da copa)

| Modelo | ptt | | | ptfl | | | ptr | | | ptc | | |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | r^2 | CV% | i |
| 1 | 0,732 | 32,68 | 6,96 | 0,650 | 54,11 | 0,68 | 0,745 | 28,13 | 1,62 | 0,791 | 27,09 | 1,90 |
| 2 | 0,897 | 20,47 | 4,54 | 0,675 | 54,32 | 0,68 | 0,822 | 24,52 | 1,41 | 0,824 | 25,92 | 1,82 |
| 3 | 0,933 | 16,60 | 3,54 | 0,682 | 54,99 | 0,69 | 0,834 | 24,20 | 1,39 | 0,833 | 25,78 | 1,81 |
| 4 | 0,931 | 16,87 | 3,59 | 0,686 | 54,64 | 0,69 | 0,822 | 25,08 | 1,44 | 0,825 | 26,43 | 1,85 |
| 5 | 0,828 | 3,00 | 5,02 | 0,753 | 8,21 | 0,45 | 0,722 | 3,80 | 1,58 | 0,775 | 3,48 | 1,78 |
| 6 | 0,899 | 2,30 | 3,90 | 0,758 | 8,29 | 0,44 | 0,799 | 3,29 | 1,40 | 0,832 | 3,07 | 1,56 |
| 7 | 0,567 | 4,76 | 7,90 | 0,758 | 8,12 | 0,45 | 0,685 | 4,04 | 1,81 | 0,741 | 3,74 | 2,07 |

4 DISCUSSÃO

Depreende-se dos resultados referentes a peso total de matéria seca do tronco, relacionados na TABELA 3, que dos modelos 1 a 4, não logarítmicos, destaca-se o modelo de Meyer modificado (modelo 3), que apresentou para essa variável dependente o menor valor de coeficiente de variação e o maior valor de coeficiente de determinação. De modo similar, cotejando-se entre si os modelos 5 a 7, logarítmicos, sobressai-se o de Schumacher-Hall (modelo 6), que apresentou menor valor de coeficiente de variação e maior valor de coeficiente de determinação. Para poder-se comparar este modelo logarítmico selecionado com aquele não logarítmico selecionado, levou-se em conta os valores obtidos para o índice de Furnival, optando-se pela escolha do que apresentou o menor valor desse índice, o modelo 3.

Para estimativas de peso total de matéria seca de ramos, os resultados constantes na TABELA 3 permitem escolher, de maneira análoga, o modelo não logarítmico de Meyer modificado (modelo 3) e o logarítmico de Schumacher-Hall (modelo 6), optando-se pelo primeiro em razão do índice de Furnival correspondente.

Com relação a peso total de matéria seca da copa, os resultados apresentados na TABELA 3 permitem igualmente optar-se pelos modelos não logarítmico e logarítmico, respectivamente, de Meyer modificado (modelo 3) e de Schumacher-Hall (modelo 6), selecionando-se este último em razão do menor valor apresentado pelo respectivo índice de Furnival.

Quanto aos resultados obtidos em relação a peso total de matéria seca de folhas, cabe ressaltar os elevados valores de coeficiente de variação constatados, que indicam menor precisão nas estimativas correspondentes. Para esta variável dependente, optou-se pelo modelo 6, de Schumacher-Hall, com base nos resultados inseridos na TABELA 3.

Para cada equação de peso selecionada para essas quatro variáveis dependentes analisadas, os coeficientes correspondentes aos valores dos coeficientes $b_i = \hat{\beta}_i$ podem ser extraídos da TABELA 2.

Assim sendo, as equações de peso selecionadas nas condições do presente estudo para estimativas da biomassa da parte aérea de *A. mangium* aos 94 meses de idade, são as seguintes:

$$\text{ptt} = -44897 + 21327d, - 1973,229246d^2 - 704,590913d,h + 107,485531d^2,h,$$

$$(r^2 = 0,933, CV = 16,60\%)$$

$$l_n \text{ ptfl} = -2,036212 + 1,732941 l_n d, + 1,903792 l_n h,$$

$$(r^2 = 0,758, CV = 8,29\%)$$

$$\text{ptr} = 8397,141385 - 4064,638803d, + 484,543145d^2 + 142,956321d,h, - 20,611713d^2,h,$$

$$(r^2 = 0,834, CV = 24,20\%)$$

$$l_n \text{ ptc} = 6,119424 + 2,242600 l_n d, - 0,857497 l_n h,$$

$$(r^2 = 0,832, CV = 3,07\%)$$

sendo os valores de peso expressos em gramas, os de diâmetro em centímetros e os de altura em metros.

Os resultados obtidos vêm complementar outros referentes a equações para estimativa do peso de madeira sem casca (CARVALHO *et al.*, 1997), e deverão ser utilizados pelos autores para condução de estudos de rendimento em comparação com outras espécies de rápido crescimento.

5 CONCLUSÕES

a. O modelo selecionado para estimativas dos valores de peso total de matéria seca do tronco com casca e de peso total de matéria seca de ramos foi o de Meyer, modificado:

$$w_i = \beta_0 + \beta_1 d_i + \beta_2 d_i^2 + \beta_3 d_i h_i + \beta_4 d_i^2 h_i + \varepsilon.$$

b. O modelo selecionado para estimativas dos valores de peso total de matéria seca de folhas e de peso total de matéria seca da copa foi o modelo logarítmico de Schumacher-Hall:

$$\ln w_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d_i + \beta_2 \ln h_i + \varepsilon.$$

c. As equações de biomassa selecionadas para estimativas dos pesos totais de matéria seca do tronco, das folhas, dos ramos e da copa foram, respectivamente, as seguintes:

$$ptt = -44897 + 21327d_i - 1973,229246d_i^2 - 704,590913d_i h_i + 107,485531d_i^2 h_i,$$

$$\ln ptf = -2,036212 + 1,732941 \ln d_i + 1,903792 \ln h_i,$$

$$ptr = 8397,141385 - 4064,638803d_i + 484,543145d_i^2 + 142,956321d_i h_i - 20,611713d_i^2 h_i,$$

$$\ln ptc = 6,119424 + 2,242600 \ln d_i - 0,857497 \ln h_i,$$

com valores de peso em gramas, de diâmetro em centímetros e de altura em metros.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores consignam seus agradecimentos à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, por auxílios recebidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNHARD-REVERSAT, F.; DIANGANA, D. & TSATSA, M. 1983. Biomasse, mineralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, Montpellier, (238):35-44.

CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. & BRASIL, M. A. M. 1997. Equations for dry weight estimation of *Acacia mangium* Willd bole in a southeastern brazilian forest plantation. In: MODELLING GROWTH OF FAST-GROWN TREE SPECIES' IUFRO CONFERENCE, Valdivia, Chile, 1997. *Proceedings...* Valdivia, Universidad Austral de Chile. p. 127-131.

DANIEL, O. *et al.* 1997. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. *Revista Árvore*, Viçosa, 21(2):163-168.

DUDLEY, N. S. & FOWNES, J. H. 1992. Preliminary biomass equations for eight species of fast-growing tropical trees. *Journal of Tropical Forest Science*, Kuala Lumpur, 5(1):68-73.

FURNIVAL, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science*, 7(4):337-341.

LATIF, M. A. & HABIB, M. A. 1994. Biomass tables for *Acacia mangium* grown in the plantations in Bangladesh. *Journal of Tropical Forest Science*, Kuala Lumpur, 7(2):296-302.

LIM, M. T. 1985. *Biomass and biomass relationship of 3.5 year-old open-grown Acacia mangium*. Serdang, University Pertanian Malaysia, Faculty of Forestry, 13p. (Occasional Paper, 2)

LIM, M. T. & MOHD-BASRI, H. 1985. Biomass accumulation in a naturally lowland secondary forest and an *Acacia mangium* stand in Sarawak. *Pertanika*, Selangor, 8(2):237-242.

LIM, M. T. 1986. Biomass and productivity of a 4.5 year-old *Acacia mangium* in Sarawak. *Pertanika*, Selangor, 9(1):81-87.

_____. 1988. Studies on *Acacia mangium* in Kemasul Forest, Malaysia. I. Biomass and productivity. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, 4(3):293-302.

SCHUBERT, T. H. & WHITESELL, C. D. 1985. *Species trials for biomass in Hawaii: a first appraisal*. Berkeley, USDA, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 13p. (Research Paper PSW, 176)

SILVA, F. P.; BORGES, R. C. G. & PIRES, I. E. 1996. Avaliação de procedências de *Acacia mangium* Willd, aos 63 meses de idade, no Vale do Rio Doce-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, 20(3):299-308.

TANOUCI, H. *et al.* 1994. Size distribution and production structures of a secondary forest after selective cutting in the mixed dipterocarp forest, Brunei Darussalan. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute*, Ibaraki, (366):17-30.

TIMONI, J. L.; VEIGA, R. A. A. & PINHEIRO, G. S. 1997. Determinação de equações para quantificação da biomassa da copa de arvores de *Eucalyptus saligna* Smith aos 22 anos. *Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, 9(1):109-121.

VEIGA, R. A. de A. *et al.* Determinação de modelos para estimativas de biomassa do tronco e da copa de *Acacia mangium*.

VEIGA, R. A. A. 1984. *Dendrometria e inventário florestal*. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. 108p.

_____. 1992. Tree models for biomass estimation in *Eucalyptus* and *Pinus* inventories in Brazil. *The Finnish Forest Research Institute Research Papers*, Helsinki, (444):195-200.