

EQUAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DE PESO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth.) NA IDADE DE CORTE

Amilton João Baggio^{*}
Antônio Aparecido Carpanezzi^{**}
Alfonso Ayanz Sanmiguel^{***}

RESUMO

Este trabalho foi estimulado pela escassez de instrumentos para estimar a produtividade da bracatinga na idade de corte, visando estatísticas locais ou regionais. Foram amostrados cinco sítios, nos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul - PR. Em cada sítio selecionaram-se 40 árvores para a determinação dos pesos das frações lenha, galhos, biomassa verde (folhas e ramos tenros) e da biomassa total. Os pesos reais das frações e do total de cada árvore, mais as variáveis independentes altura total e diâmetro a 1,30 m (DAP) foram introduzidos no programa STATGRAPHICS, versão 4.0, para realizar os ajustes necessários para a obtenção das equações de regressão. Três modelos demonstraram ser adequados para estimar o peso de qualquer fração e da biomassa total, sendo que a mais precisa foi $Y = a.DAP^b$, onde $Y =$ peso; a e $b =$ constantes.

PALAVRAS-CHAVE: lenha, modelos de regressão, biomassa florestal.

ESTIMATIVE EQUATIONS FOR AERIAL BIOMASS WEIGHT OF BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth) IN EXPLOITATION AGE

ABSTRACT

The development of this study was stimulated by the scarcity of tools available for the estimation of bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) biomass at clearfelling age. Five locations in the municipalities of Colombo and Bocaiúva do Sul, State of Paraná, Brasil, were selected for sampling. Fourty trees were randomly chosen in each location and measured for firewood, branches, green biomass and total biomass. Data on the dry weight, total height and DBH for each tree were introduced on STATGRAPHICS - 4.0, in order to evaluate five different biomass models. Three models were found to be adequate for either partial or total biomass estimation but more precise estimates were obtained with the equation $Y = a.DBH^b$, were $Y =$ dry weight; a and b were constants.

* Eng. Florestal, Doutor, CREA/PR n° 4194/D, Pesquisador da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

** Eng. Florestal, Mestre, CREA/PR n° 27218, Pesquisador da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

*** Eng. Florestal, Doutor, Professor Titular da Universidade Politécnica de Madrid.

KEY-WORDS: firewood, regression models, forest biomass.

1. INTRODUÇÃO

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham, Mimosaceae) é cultivada há quase 100 anos, principalmente nos arredores de Curitiba, PR, segundo um sistema agroflorestal tradicional descrito em EMBRAPA(1988). A superfície atualmente ocupada por bracatingais, no sudeste paranaense, é estimada entre 50 - 70 mil hectares. Os principais produtos florestais do sistema são a lenha (composta por troncos e ramos grossos) e escoras para a construção civil.

No sistema agroflorestal tradicional, a exportação de nutrientes é realizada por vários canais, tais como: retirada de produtos agrícolas e florestais, queima dos resíduos pós-exploração e arraste das cinzas e solo pelas chuvas. A exportação de nutrientes, associada ao número médio elevado de rotações e à ausência de fertilizações, têm levado a decréscimos de produtividade (CARPANEZZI, 1994), o que concorre para a desestabilização sócioeconômica do meio rural local. A estimativa da biomassa da bracatinga na idade de corte é essencial para quantificar a ciclagem de nutrientes do sistema, e assim, indicar medidas para seu aperfeiçoamento.

As primeiras equações para estimativas do peso seco de árvores de bracatinga foram publicadas por SOARES & HOSOKAWA (1984), que amostraram 72 árvores de idades desconhecidas em três sítios distintos. Os autores propuseram equações para peso do tronco, peso da copa e peso total, não contemplando no entanto o peso da lenha. BAREMBUEM (1988) desenvolveu um estudo sobre a produtividade de bracatinga. A autora utilizou 25 árvores para cada talhão considerado no estudo, entre as idades de um a sete anos, no município de Quatro Barras, determinando equações de biomassa baseadas na reunião de dados de todas as idades.

Outro aspecto que não tem sido considerado nas estatísticas oficiais é o potencial de aumento de intensidade de uso dos produtos do sistema. O diâmetro mínimo para lenha decresceu nos últimos anos, de 6,0 cm para até 3,0 cm. Por outro lado, a valorização crescente da lenha estimula o uso das espécies dos sub-matas, que podem prover volumes adicionais significativos de madeira.

Neste trabalho, são apresentadas equações para a estimativa da biomassa aérea de árvores individuais de bracatinga, na idade de sete anos, separadas por componente vegetal, pretendendo-se que os resultados sejam válidos para a região do estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características gerais

O estudo foi desenvolvido nos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, PR, escolhidos pela alta densidade de bracatingais cultivados segundo o sistema agroflorestal tradicional. Os municípios são limítrofes, situando-se entre as coordenadas geográficas 25°10' S a 25°20' S e 49°00' W a 49°10' W (Figura 1). Esta superfície encontra-se na parte norte da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), no Primeiro Planalto Paranaense, o qual é limitado pela Serra do Mar ao leste e pela escarpa de Purunã a oeste.

Segundo MAACK (1981), a RMC localiza-se em uma faixa de clima quente-

temperado, subtropical, desde fresco até frio no inverno, com altitudes superiores a 850 metros. A temperatura média anual é de 16,5°C; a do mês mais quente, de 20,4°C; a do mês mais frio, de 12,7°C. A precipitação média anual é de 1450 mm e a umidade relativa do ar superior a 80%.

O relevo na região do estudo apresenta-se fortemente ondulado. Os cambissolos predominam, com diversos graus de fertilidade; são solos pobres, pouco desenvolvidos, ácidos, com elevados teores de alumínio e baixa saturação de bases.

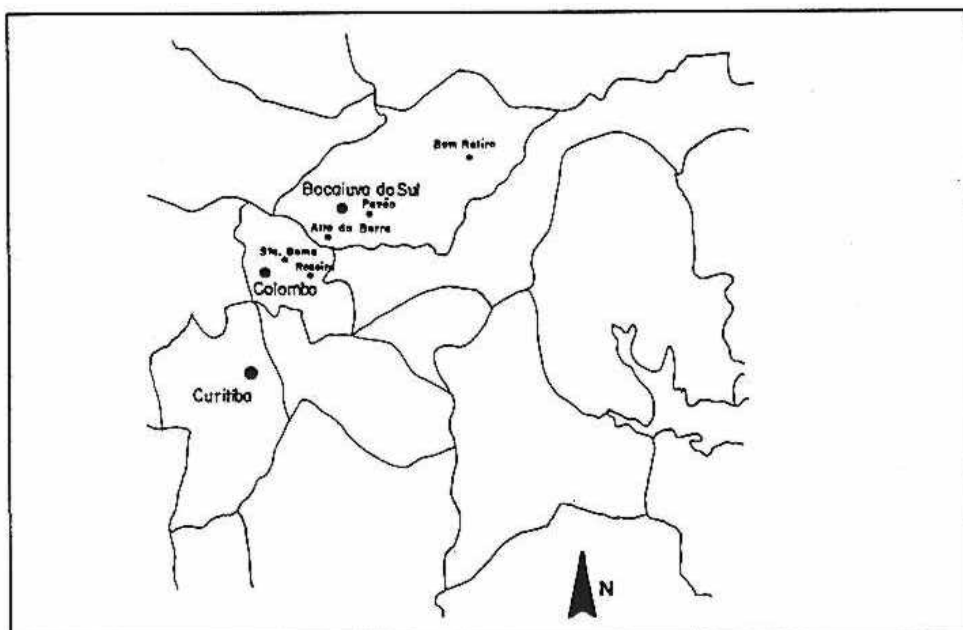


FIGURA 1. Situação dos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, e locais da amostragem.
Escala: 1:1000000.

2.2. Seleção dos bracatingais

Cinco locais de amostragem (Figura 1) foram percorridos para identificar talhões programados para o corte e que apresentassem características médias da região (idade de sete anos ou próxima a esta, densidade entre 1.800 a 2.500 plantas/ha, área mínima de 2,0 ha). A localização específica e a superfície de cada bracatingal escolhido são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Localização e tamanho dos talhões selecionados.

Localidade	Município	Área do talhão (ha)	Distância à sede do município (km)	Distância de Curitiba (km)
Roseira	Colombo	3,5	10	25
Santa Gema	Colombo	4,0	5	22
Alto da Barra	Bocaiúva do Sul	3,0	16	36
Bom Retiro	Bocaiúva do Sul	7,3	24	54
Pavão	Bocaiúva do Sul	4,5	4	35

2.3. Amostragem no campo

Com base em diversos inventários realizados na região (EMBRAPA..., 1988), foram definidas oito classes de diâmetro à altura do peito (DAP) para a distribuição das árvores que formariam a nuvem de pontos necessária para o ajuste das equações de biomassa por análise de regressão (Tabela 2).

TABELA 2. Classes diamétricas para amostragem das árvores.

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8
DAP	<5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	9,1-11,0	11,1-13,0	13,1-15,0	15,1-17,0	>17,1

Em cada bracatingal foram escolhidas 40 árvores (cinco para cada classe diamétrica), totalizando 200 árvores nos cinco locais. Para esta seleção cada talhão foi dividido em cinco estratos, com relevo do terreno homogêneo.

Em cada estrato foram selecionadas oito árvores, uma para cada classe de diâmetro. O critério foi aleatório, escolhendo-se a primeira de cada classe em uma caminhada em círculos, partindo do centro de cada estrato. Cada indivíduo foi marcado com um número sequencial, medindo-se também seu DAP. Posteriormente, em cada talhão, as árvores foram cortadas, medindo-se sua altura total no solo e separando-se a biomassa nos seguintes componentes:

- lenha: material lenhoso acima de 3,0 cm de diâmetro na ponta mais fina, com casca, oriundo do tronco, e por vezes, dos galhos grossos.
- galhos: material lenhoso entre 0,5 cm e 3,0 cm, na ponta mais fina.
- biomassa verde: folhas e raminhos tenros (menos de 0,5 cm de diâmetro).

Estes componentes da biomassa foram separadamente pesados no campo em uma balança mecânica com precisão de 25 gramas.

2.4. Quantificação da biomassa aérea

a) Fração lenha

Em campo, caule e galhos grossos foram divididos em segmentos de 1,5 m a 2,0 m, para facilitar a pesagem logo após o corte, e os segmentos assim obtidos foram numerados. As partes terminais das copas foram reunidas em um segmento especial. Imediatamente, foram retirados pelo menos três discos (meio e proximidades das pontas), os quais foram pesados em campo, em balança mecânica com divisões de 1,0 g, para determinação do teor de umidade.

Em laboratório, os discos de cada segmento foram secados em estufa a 75°C, até peso constante. A porcentagem média de matéria seca das amostras de cada segmento, multiplicada pelo peso verde de campo do segmento, permitiu determinar o seu peso seco.

Após a utilização de parte dos discos para retirada de amostras para análises químicas (não relatadas neste trabalho), um conjunto de discos foi, novamente, colocado para secar a 100°C até peso constante. Isto possibilitou obter um fator de correção que, aplicado aos valores dos pesos secos a 75°C, permitiu determinar os pesos secos a 100°C para cada segmento.

b) Fração galhos

Em campo, os galhos foram cortados e pesados. A seguir foram retiradas uma a quatro amostras por árvore, dependendo do peso da fração, para determinação do teor de umidade. Cada amostra foi composta por pedaços de 15 cm, cortados no centro de galhos escolhidos ao acaso, porém representativos de todos os diâmetros. Quando o peso da fração era muito baixo, como no caso das árvores mais finas, a amostra foi formada pelo total da fração (este procedimento foi estendido às outras frações).

A secagem das amostras foi feita em estufas a 75°C sem ventilação forçada, até apresentarem peso constante. Para estimar o peso de galhos por árvore seguiu-se o mesmo procedimento utilizado para a lenha.

c) Fração Biomassa Verde

A biomassa verde foi separada em campo, com o auxílio de facões, em cima de lonas. Em seguida, o material era ensacado para pesagem e amontoado para a retirada de uma a três amostras, de cerca de 1 kg cada uma, por árvore.

Em laboratório, as amostras foram colocadas para secar em estufa ventilada à temperatura de 75°C, até apresentarem peso constante. Para determinação dos pesos secos seguiu-se o mesmo procedimento relatado para a fração lenha.

2.5. Determinação das equações estimativas

Os dados dos pesos secos e as variáveis DAP e altura total foram introduzidas no computador para realizar os ajustes necessários para a obtenção das equações desejadas. O programa utilizado para este fim foi a versão 4.0 de STATGRAPHICS, disponível na Universidad Politécnica de Madrid. O objetivo era ajustar modelos simples, passíveis de utilização, inclusive por leigos, porém com precisão aceitável.

Assim sendo, depois da correspondente revisão bibliográfica, foram ajustados os seguintes modelos amplamente estudados e adotados para outras espécies e situações:

$$Y = a + b.DAP^2$$

$$Y = a + b.DAP^2.h$$

$$Y = a.DAP^2$$

$$Y = a.DAP^2.h$$

$$Y = a.DAP^b$$

sendo: Y = peso seco em kg; a e b = estimativa dos parâmetros do modelo; DAP = diâmetro do tronco a 1,30 m do solo, com casca, em cm; h = altura total, em m.

Para cada modelo foram ajustadas equações para todos os componentes da biomassa aérea (lenha, galhos, biomassa verde e biomassa total).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comparação entre as equações

Todos os modelos testados, mencionados no item 2.5, foram altamente significativos quanto à sua capacidade de explicar a variabilidade do peso seco entre as árvores incluídas na amostra. Este fato foi evidenciado pelos altos valores encontrados para os coeficientes de determinação. Entretanto, devido à conveniência de se utilizar critérios adicionais para uma avaliação comparativa (DRAPPER & SMITH, 1966; NETER & WASSERMAN, 1974), foram analisados também os valores das somas dos quadrados e da distribuição dos resíduos.

Com os resultados das análises de regressão, foram selecionados e incluídos na presente discussão os três modelos que melhores ajustes apresentaram, para todas as frações da biomassa, e que foram os seguintes:

Modelo I.....	$Y = a.DAP^2$	
Modelo II.....	$Y = a.DAP^2.h$	
Modelo III.....	$Y = a.DAP^b$	

sendo: Y = peso seco individual, em kg; a e b = estimativa dos parâmetros do modelo; DAP = diâmetro a 1,30 m, em cm; h = altura total, em m.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos ajustes obtidos e as características principais da análise de variância, para cada uma das equações ajustadas. Incluiu-se o erro padrão da estimativa (Syx) expresso em porcentagem, por refletir de forma mais clara o grau de dispersão que pode apresentar a equação estimativa.

Seguindo critérios numéricos, observa-se na Tabela 3 um aumento gradual na precisão dos modelos (III > I > II), para todas as frações da árvore. Entretanto, ao

comparar os valores para o erro padrão, observa-se diferenças insignificantes entre os modelos I e III, enquanto que a equação II aproxima-se em precisão somente no caso da fração lenha.

A equação potencial ou alométrica (III) é amplamente conhecida por sua capacidade em expressar proporcionalmente o incremento relativo entre o peso e o diâmetro das árvores. A substituição do índice quadrático no DAP por outra constante, calculada e ajustada para a variabilidade da amostra, parece aumentar ligeiramente sua precisão (HITCHCOK & MACDONNEL, 1979; RIBÉ, 1979).

TABELA 3. Ajustes obtidos com os modelos para cada fração da biomassa.

Fração	Modelo	a	b	R ² aj	Syx%	F
Lenha	I	0,357329	-	0,9795	18,6	9539
	II	0,025868	-	0,9781	19,2	8933
	III	0,186670	0,236000	0,9795	17,5	5358
Galhos	I	0,037880	-	0,8903	45,1	1623
	II	0,002667	-	0,8409	54,3	1057
	III	0,020750	2,218500	0,9988	44,8	822
Biom.verde	I	0,023167	-	0,9116	40,9	2072
	II	0,001649	-	0,8801	47,6	1468
	III	0,006062	2,486247	0,9216	38,6	1172
Biom.total	I	0,418376	-	0,9790	18,8	9334
	II	0,030184	-	0,9710	22,1	6697
	III	0,210100	2,249997	0,9816	17,7	5309

a e b = coeficientes; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa expresso em porcentagem; F = valores de "F".

Embora a inclusão da altura total geralmente melhore o ajuste para modelos deste tipo, isto não ocorreu no presente estudo. Para a bracatinga, SOARES & HOSOKAMA (1984) também determinaram equações mais precisas (logarítmicas no caso) tendo como variável independente somente o diâmetro. BAREMBUEM (1988), apesar de haver recomendado um modelo que contém a altura total, concluiu que esta não melhorava significativamente a precisão.

Os trabalhos referenciados no texto sobre estimativas do volume de lenha comercial da bracatinga demonstraram que houve uma melhoria significativa com a inclusão da altura total. Entretanto, deve ser considerado que volume e biomassa são formas complementares de expressar a produção florestal. Finalmente, convém ressaltar que a altura total de árvores individuais é difícil de ser medida com razoável acuracidade em bracatingais, salvo derrubando as árvores.

As importantes diferenças existentes entre as equações estimativas para peso dos galhos e da biomassa verde, com e sem a variável altura total, parecem ser devidas às diferenças observadas entre as alturas das copas entre os sítios, dentro das mesmas classes diamétricas. Os valores calculados para Syx% são bastante elevados (>40%) para todos os modelos provados com estas frações da biomassa, sugerindo certas reservas quanto ao seu uso generalizado. É possível que a inclusão

de outras variáveis naqueles modelos (como diâmetro ou altura das copas), melhorem os ajustes. Entretanto, gerariam equações pouco práticas devido à dificuldade de medição de tais variáveis.

Seguindo o conjunto de critérios utilizados na análise, recomenda-se o uso das equações potenciais para estimar as frações lenha e biomassa total dos bracatingais da região amostrada, a qual concentra a maior parte dos bracatingais da RMC. Para outras superfícies da RMC os modelos também podem apresentar ajustes adequados, recomendando-se neste caso a determinação de equações específicas, estratificadas segundo características microrregionais homogêneas.

3.2. Comparação entre pesos reais e estimados pelas equações

Com o objetivo de ilustrar a amplitude de dispersão entre os dados reais e estimados, para cada sítio amostrado (conjunto de todas as árvores) procedeu-se a uma comparação das equações para cada fração da biomassa (Tabela 4).

Embora os ajustes obtidos sejam de validade regional apenas, pelo grande número de amostras em cada propriedade rural, os desvios são bastante aceitáveis, no que se refere às frações lenha e biomassa total. Por outro lado, a variabilidade no peso das copas implica desvios importantes em suas frações, corroborando a limitação já comentada das equações.

TABELA 4. Amplitude de dispersão apresentada pela aplicação das equações estimativas ajustadas ao conjunto de árvores amostradas em cada sítio.

Sítios	Equação	(Peso real - Peso estimado) X 100			Total
		Lenha	Galhos	Biomassa verde	
Roseira	I	+6,3	-17,2	-12,7	+2,4
	II	-9,8	-31,7	-27,3	-13,7
	III	+3,9	-19,1	-8,6	-0,4
Santa Gema	I	+1,2	-7,0	-10,9	-0,3
	II	-5,8	-15,7	-28,3	-7,5
	III	-1,1	-9,2	-7,8	+3,1
Alto da Barra	I	+2,0	+8,5	+14,3	+3,2
	II	+5,5	+9,4	+16,2	+6,4
	III	+0,9	+7,4	-19,7	+1,5
Bom Retiro	I	-4,0	+30,6	+22,6	-0,4
	II	+2,2	+35,3	+28,2	+5,6
	III	-9,7	+22,8	+22,1	-6,9
Pavão	I	+12,5	+12,7	+28,1	+13,3
	II	+13,0	+16,5	+26,4	+13,4
	III	+8,5	+8,6	+26,8	+8,6
Total	I	+3,1	+3,1	+5,5	+3,3
	II	+0,8	-1,9	+1,3	+0,6
	III	+0,01	-0,05	+3,3	-0,4

3.3. Comparação com outras equações estimativas

Na Tabela 5, são apresentadas as diferenças obtidas ao aplicar-se as equações estimativas de peso, determinadas por SOARES & HOSOKAWA (1984) e BAREMBUEM (1988), às árvores amostradas neste trabalho.

TABELA 5. Diferenças entre os resultados obtidos pela aplicação de outras equações e os pesos reais do conjunto de árvores amostradas, por sítio (em %).

Autores	Sítios					Total
	Roseira	Sta.Gema	A.Barra	B.Retiro	Pavão	
SOARES & HOSOKAWA(1984) (biomassa total)	-15,1	-16,9	-12,6	-17,5	-5,9	-13,9
BAREMBUEM (1988) (Lenha**)	-33,1	-29,7	-20,2	-22,5	-20,5	-22,5

* $\text{LogP} = 0,7989 + 2,2966 \text{LogDAP}$.

** $\text{LogP} = 2,3024 + 1,1713\text{LogDAP}^2.H$.

Comparativamente às equações desenvolvidas neste trabalho, a aplicação das equações citadas na Tabela 5 implicam em desvios maiores, em valores absolutos, com subestimativa relevante dos pesos das árvores. Para o caso de SOARES & HOSOKAWA (1984), onde somente é possível comparar a biomassa total, as diferenças podem ser devidas à qualidade dos sítios, às densidades populacionais ou à idade da população, fatores não mencionados no texto documentado por aqueles autores. No caso de BAREMBUEM (1988), a equação foi ajustada com amostras de árvores de todas as idades (1 a 7 anos) e diâmetros mínimos de até 4,0 cm, o que explica sua inaplicabilidade em populações em idade de corte final. Segundo BRUNIG (1973), a variação da biomassa total, em igualdade de diâmetros, está relacionada principalmente com a fase de sucessão, a qualidade do sítio e a fisiografia.

Pelo exposto, parece recomendável a elaboração de equações estimativas para os bracingais da RMC por estratos de superfícies com características semelhantes. São necessárias análises dos principais parâmetros ecológicos e de cultivo para determinar as microrregiões específicas a serem amostradas. Assim, será possível estabelecer tabelas de produção mais seguras para prognoses a nível regional.

Finalmente, e prevendo um aumento gradual no aproveitamento dos sub-bosques, recomenda-se o ajuste de equações que incluam todas as espécies aproveitáveis para lenha no ecossistema. Neste caso, possivelmente a variável independente mais prática seja a área basal por unidade de superfície, tornando-se amostras por parcelas em lugar de árvores individuais. Esta orientação justificará ainda mais a necessidade de equações microrregionais, pelas variações fitossociológicas que acompanham os bracingais da RMC.

4.CONCLUSÕES

Dentre os cinco modelos de biomassa analisados, e para o conjunto de dados utilizados neste estudo, a equação potencial $Y = a.DAP^b$ foi a mais adequada para estimar o peso seco de árvores individuais de bracinga, em todas as frações da biomassa aérea. No entanto, as equações determinadas para as frações galhos e biomassa verde devem ser usadas com reserva, pelo baixo nível de precisão

apresentado. Os coeficientes determinados neste trabalho são aplicáveis a bracatingais típicos do sistema agroflorestal tradicional na região amostrada, recomendando-se determinações específicas para outras situações.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAREMBUEM, A. A. R. T. **Avaliação da biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) para fins energéticos.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. 71p. Tese Mestrado.
- BRUNIG, E. F. Biomass diversity and utilization in tropical rainforest. In: IUFRO. **IUFRO forest biomass studies.** Orono: University of Maine at Orono, 1973. p.35-42.
- CARPANEZZI, O.T.B. **Produtividades florestal e agrícola em sistemas de cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba - Paraná.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 77p. Tese Mestrado.
- DRAPPER, N.R; SMITH, S. **Applied regression analysis.** New York: J. Willey, 1966. 407p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Colombo, PR). **Manual técnico da bracatinga. (*Mimosa scabrella* Benth).** Colombo, 1988. 70p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 20).
- HITCHCOK, H. C.; McDONNELL, J. O. **Biomass measurements: a synthesis of the literature.** Norris: Tennessee Valley Authority, 1979. 59p.
- MAACK, R. **Geografia Física do Paraná.** 2. Ed. Rio de Janeiro: José Olímpio, 1981. 450p.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models-regression analysis of variance, and experimental designs.** Illinois: R. Irwin. 1974. 842p.
- RIBÉ, J.H. A study of multistage sampling and dimensional analysis of puckerbrush stands. **Bulletin of Complete Tree Institute**, Orono n.1, p.108, 1979.
- SOARES, R. V.; HOSOKAWA, R.T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). **Boletim Técnico do IBDF.** n.8, p.37-48, 1984.