

Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.)

Adjustment of mathematical models for biomass estimative of distinct components of japanese grapes (*Hovenia dulcis* Thunb.)

Alvaro Felipe Valerio¹
Luciano Farinha Watzlawick²
Robi Tabolka dos Santos³
Raul Silvestre⁴
Henrique Soares Koehler⁵

Resumo

O interesse em relação ao “sequestro de carbono” por espécies florestais exóticas tem crescido, em razão de sua elevada taxa de crescimento e grande capacidade de fixar o dióxido de carbono da atmosfera. Considerando a espécie *Hovenia dulcis* Thunb. de grande importância para o sequestro de carbono atmosférico, haja vista sua alta produtividade, este estudo tem como objetivo o ajuste de equações para estimativa de biomassa em seus diferentes componentes e para árvores com diferentes idades. Para isto foram analisados vários modelos de regressão para estimar a biomassa total e dos componentes: fuste, folhas e galhos vivos da espécie *Hovenia dulcis* Thunb. (uva-do-japão), com o objetivo de selecionar a melhor equação para as condições edafoclimáticas da região de Irati, Paraná. Utilizando o método destrutivo, foram derrubadas e pesadas trinta árvores-amostras, com $DAP \geq 7$ cm, no *campus* da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, no município

1 Engenheiro Florestal; Mestrando em Ciências Florestais na Universidade Estadual do Centro-Oeste; Bolsista CAPES; Email: alvarofvalerio@yahoo.com.br

2 Dr. Engenheiro Florestal; Prof. do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Email: luciano.watzlawick@pq.cnpq.br

3 Engenheiro Florestal; Mestrando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande; Email: robytabolka@yahoo.com.br

4 Acadêmico de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste; E-mail: silvestre@yahoo.com.br

5 Dr. Engenheiro Florestal; Prof. do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná; Email: koehler@agrarias.ufpr.br

Recebido para publicação em 21/08/2006 e aceito em 15/08/2007

de Irati, PR. As variáveis medidas foram: peso total (Pto) da árvore, peso do fuste (Pt), peso das folhas (Pf), peso de galhos (Pg), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht), altura comercial (Hc), sendo as quatro primeiras consideradas como variáveis dependentes e as três últimas, como independentes. Após a quantificação da biomassa, os dados foram organizados e todas as relações dimensionais analisadas via matriz de correlação. Testou-se sete modelos para cada variável dependente. A escolha do melhor modelo baseou-se nos critérios clássicos de análise de regressão, como maior coeficiente de determinação e menor erro-padrão residual, assim como o comportamento mais uniforme e homogêneo dos valores residuais. Dentre os modelos testados, os lineares proporcionaram os melhores resultados, e entre estes selecionou-se a equação resultante do modelo $B = B_0 + B_1 * DAP + B_2 * DAP^2 + B_3 * (DAP^2 * H)$, para as quatro variáveis dependentes. A maior parte das variáveis analisadas neste trabalho são altamente correlacionadas entre si. De forma geral, as estimativas para biomassa do Fuste e biomassa Total da árvore em função de variáveis de inventário (DAP e altura) são excelentes, enquanto as demais são um pouco inferiores.

Palavras-chave: equações alométricas; análise de regressão; *Hovenia dulcis* Thunb.

Abstract

The interest in relation to the “carbon kidnapping” by exotic forest species has grown, because of its high growing rate and great capacity to fix the carbon dioxide in the atmosphere. Considering the great importance of the species *Hovenia dulcis* Thunb. to the kidnapping of the atmospheric carbon, since its high productive, this study had as an objective the adjustment of equations to estimate the biomass in its different components and for trees with different ages. For that, several regression models were analyzed to estimate the total biomass, and the components: stem leaves and alive branches of the species *Hovenia dulcis* Thunb. (Japanese grape), aiming to select the best equation to the edafoclimatic conditions of the region of Irati, Paraná. Using the destructive method, 30 trees-samples, with DBH ≥ 7 cm were knocked down and weighed, in the campus of Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, in the city of Irati, PR. The variable measures were: total tree’s weight, stem’s weight, leave’s weight, branch’s weight, diameter in the chest high, total high, commercial high, being the first four ones considered as dependent variables and the last three ones as independents. After the biomass quantification, the data were organized

and all of the dimensions relations analyzed, via matrix of correlation. Seven models were tested for each dependent variable. The best model choice was based on the classic criteria of regression analysis, as the biggest coefficient of determination and the smallest error-pattern waste, as well as the most uniform and homogeneous behavior of wasting values. From the tested models, the linear models provided the best results, and among these a resultant equation was selected from the model $B = B_0 + B_1 * DBH + B_2 * DBH^2 + B_3 * (DBH^2 * H)$, for the four dependent variables. The most part of the variables analyzed in this paper are highly correlated among themselves. Generally, the biomass estimative of stem and total three biomass due to inventory variables (DBH and high) are excellent, while the others are a little inferior.

Key works: allometric equations; regression analysis; *Hovenia dulcis* Thunb.

Introdução

A *Hovenia dulcis* Thunb. mais conhecida popularmente como Uva-do-Japão, pertence à família Rhamnaceae, ocorre naturalmente na China, Japão e Coréia. Fora da área de ocorrência, nas regiões do sudeste da Ásia, na Argentina e no Paranguai. No sul do Brasil, é largamente difundida pelo cultivo em pequenos talhões ou de forma isolada (CARVALHO, 1994).

O mesmo autor, comenta que a espécie apresenta características morfológicas desejadas para industrialização podendo ser utilizada na construção civil, geração de energia, produtos beneficiados e na produção de laminados e compensados para a indústria moveleira. Apresenta rápido incremento, destacando-se em relação a espécies nativas, com crescimento bastante variável, atingindo até $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

O interesse em relação ao “seqüestro de carbono” por espécies florestais exóticas tem aumentado em razão de sua

elevada taxa de crescimento e grande capacidade de fixar o dióxido de carbono da atmosfera. As florestas naturais ou implantadas têm sido apontadas como drenos de dióxido de carbono (CO_2) através do processo de fotossíntese, havendo posterior armazenamento em diferentes compartimentos do ecossistema. Para a determinação da quantidade de carbono fixado, faz-se necessário estudos de quantificação de biomassa, que são trabalhosos, demorados e muito onerosos. A biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta (MARTINELLI et al. 1994). Tipos diferentes de florestas e locais diferentes dentro da mesma tipologia florestal apresentam variações significativas na quantidade de biomassa e armazenam quantidades de carbono diferenciadas (HOUGHTON, 1994).

Conforme Watzlawick (2003) a estimativa de biomassa pode ser realizada por meio de métodos diretos e indiretos, sendo que, pelo método

direto, as árvores são cortadas e seus componentes separados e pesados, e pelo método indireto são utilizadas equações alométricas ou imagens de satélite para realização das estimativas.

Os métodos indiretos obviamente não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações e, portanto, os métodos indiretos devem ser empregados conjuntamente com os métodos diretos. No ajuste de equações deve-se ter sempre o cuidado de avaliar com objetividade as melhores equações, por meio da avaliação das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste (Syx , R^2 , entre outras), além de um exame gráfico do comportamento dos resíduos (KOEHLER et al. 2002).

Assim, torna-se necessário aperfeiçoar métodos indiretos para se chegar a estimativas mais confiáveis, a partir do desenvolvimento de equações matemáticas apropriadas, podendo-se monitorar as mudanças nessas florestas. Alguns trabalhos utilizando-se de estimativas de volume e quantificação de biomassa nas diferentes tipologias florestais e para componentes estruturais distintos da vegetação tem sido desenvolvidos para estimar a quantidade de carbono estocada através da utilização de modelos ajustados, tais como: Cooper (1983), Brown et. al. (1986), Schroeder (1992), Koehler et al., (2002) e Watzlawick et al. (2003).

Diante do exposto e considerando a espécie *Hovenia dulcis* Thunb. de grande importância para o seqüestro de carbono atmosférico, haja visto o seu rápido crescimento e a sua alta produtividade, este estudo tem como objetivo o ajuste

de equações para estimativa de biomassa em seus diferentes componentes, para árvores com diferentes idades.

Materiais e Métodos

Os dados foram coletados de árvores provenientes da regeneração natural em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, localizado no *campus* da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, no município de Irati, Paraná (Figura 1).

A composição da flora do local caracteriza-se como uma Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 1992), em estágios iniciais e secundários de sucessão (CONAMA, 1993) com alto grau de interferência antrópica.

O clima regional é do tipo *Cfb* de acordo com a classificação de Köppen, apresentando estações climáticas bem definidas, com chuvas distribuídas durante todo o ano e com geadas severas. Em geral, com umidade relativa do ar acentuada e moderado índice pluviométrico. A temperatura média anual é de aproximadamente 18 °C, com mínima de -2 °C e máxima de 32 °C. O limiar médio das temperaturas de Irati varia aproximadamente entre 13 e 23,5 °C. A média mensal de precipitação pluviométrica é de aproximadamente 190 mm e da umidade relativa do ar de 80% (SIMEPAR, 2006).

Geologicamente o solo da área de estudo pertence ao permiano carbonífero, com topografia ondulada e acidentada; solos acinzentados/vermelhos ao Norte e castanhos ao Sul. A Geologia e Paleontologia asseguram que a região

Figura 1. Localização geográfica do município de Irati, PR.

há mais de 250 milhões de anos foi fundo de mar. Os tipos de solos predominantes são: podzólico vermelho amarelo, terras brunas, cambissolo e litólico, de acordo com Maack (1968) representa a região dos sedimentos paleozóicos e mesozóicos não perturbados por movimentos orogênicos.

Para este estudo, foram coletadas através de processo aleatório, trinta árvores-amostras, com o uso do método destrutivo, sendo que todas as árvores abatidas possuíam diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 7 cm. As variáveis coletadas foram: peso total (Pto) da árvore, peso do fuste (Pt), peso das folhas (Pf), peso de galhos (Pg), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura comercial (Hc), sendo as quatro primeiras consideradas como variáveis dependentes e as três últimas, como independentes. Cada árvore foi totalmente pesada, obtendo-se seu peso

verde, e esta passou a ser considerada uma amostra.

Após a quantificação da biomassa, os dados foram organizados e todas as relações dimensionais analisadas via matriz de correlação. Testou-se sete modelos, sugeridos por Higuchi e Carvalho Jr. (1994), (Tabela 1), cinco destes lineares e dois não lineares. Os coeficientes de ajuste (R^2_{Aj} % e S_{yx} %) foram calculados para cada caso. A escolha do melhor modelo baseou-se nos critérios clássicos de análise de regressão, como maior coeficiente de determinação e menor erro-padrão residual, assim como no comportamento mais uniforme e homogêneo dos valores residuais.

Foi realizada a correção da discrepância logarítmica, empregando-se a fórmula apresentada por Baskerville (1972), apesar da significância desse erro não ser constatada em alguns casos (LEITE e REGAZZI, 1992).

Resultados e Discussões

Conforme apresenta a estatística descritiva da tabela 2, as árvores abatidas demonstram variação significativa do peso total, conseqüentemente, do volume de biomassa obtido, apesar da pequena amplitude diâmetrica. Segundo Brunig (1973), isso ocorre porque a variação da biomassa total, em igualdade de diâmetros, está relacionada com o estágio de sucessão, a qualidade do sítio e a fisiografia.

Pode-se observar que o maior volume de biomassa está concentrado no fuste, esta maior concentração, em relação aos outros componentes foi também verificado em outros estudos, entre eles, de Resende et al (1983), com *Eucalyptus grandis*; de Valeri (1988) com *Pinus taeda* e de Caldeira et al. (2000) com *Acacia mearnsii*. A variação da biomassa nos diferentes componentes da planta varia de espécie para espécie

De acordo com os resultados apresentados na tabela 3, houve uma alta correlação entre todas as variáveis analisadas neste estudo, sendo que a maior correlação foi encontrada entre as variáveis peso total da árvore (Pto) e peso do fuste (Pt), a qual foi de 99,78%, enquanto a menor correlação foi observada entre altura total (Ht) e peso das folhas (Pf), com correlação simples de 66,72%, inferior ao encontrado em estudo com *Grevillea robusta* por Ferreira et al. (2004) o qual encontrou uma correlação de 79,25% entre estes dois componentes.

O diâmetro a altura do peito (DAP), mesmo não sendo uma variável biológica, apresentou as maiores correlações entre as variáveis independentes sendo o DAP altamente significativo, por ser de fácil obtenção, permitindo o desenvolvimento

Tabela 1. Modelos de biomassa testados para os distintos componentes da *Hovenia dulcis* Thunb

Modelo N	Formulação Matemática
1	$B = a D^b$
2	$B = a + bD + c D$
3	$B = a + b D + c (D^2H)$
4	$B = a + b D + c D^2 + d (D^2H)$
5	$B = a + b D^2 + c (D^2H)$
6	$B = a + b D + c H$
7	$B = a D^b H^c$

Onde: B = Biomassa (kg); D = DAP (cm); H = altura total (m); a, b, c, d: coeficientes de regressão linear.

e até mesmo, em uma população da mesma espécie (ABRAHAMSON e GADGIL, 1973), sendo afetada por fatores que interferem na fotossíntese e na respiração, bem como por características edafoclimáticas e idade (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001).

de equações que possibilitarão a estimativa das variáveis dependentes de forma rápida e eficiente para *Hovenia dulcis* devido a sua alta correlação.

Os resultados do ajuste para os modelos testados podem ser observados na tabela 4.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis coletadas das árvores amostras de *Hovenia dulcis* Thunb

Variáveis	Número	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
DAP	30	7,00	31,51	16,75	7,10
Pto	30	26,50	942,50	265,61	272,82
Pt	30	13,00	706,00	191,33	202,27
Pf	30	1,00	87,00	21,35	26,17
Pg	30	7,00	169,00	52,38	47,60
Ht	30	5,30	23,50	13,51	4,70
Hc	30	2,82	16,40	9,13	3,98

DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; Pto = peso total da árvore, em Kg; Pt = peso do fuste, em Kg; pf = peso das folhas, em Kg; pg = peso de galhos, em Kg; ht = altura total, em m; hc = altura comercial, em m.

Tabela 3. Correlação percentual entre os distintos componentes analisados da *Hovenia dulcis* Thunb

Variáveis	DAP	Ht	Hc	Pto	Pt	Pg	Pf
DAP	100,00						
Ht	77,13	100,00					
Hc	92,09	87,13	100,00				
Pto	94,25	71,98	86,57	100,00			
Pt	93,99	72,18	87,16	99,78	100,00		
Pg	92,06	69,07	81,96	96,40	94,75	100,00	
Pf	87,80	66,72	79,24	95,59	94,74	90,07	100,00

Onde: DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; Ht = altura total, em m; Hc = altura comercial, em m; Pto = peso total da árvore, em Kg; Pt = peso do fuste, em Kg; Pf = peso das folhas, em Kg; Pg = peso de galhos, em Kg

A inclusão da altura total melhorou o ajuste dos modelos testados diminuindo o erro padrão da estimativa. Porém, o coeficiente de determinação não sofreu influência significativa, resultado semelhante ao encontrado por Lima et al. (1996) para o grau de precisão de equações testadas para estimativas de biomassa de espécies do gênero *Prosopis*. Convém ressaltar que a altura total de árvores individuais de *Hovenia dulcis* em pé, é difícil de ser medida devido à sua estrutura simpodial, exceto quando se faz a derrubada da árvore.

Ao analisar os resultados da tabela 4, ressalta-se que todos os modelos demonstraram em geral bons resultados quanto ao ajuste dos dados relacionados à variável peso total da árvore (Pto), destacando-se o modelo (4) por apresentar a melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figura 2), uma vez que suas correlações foram bastante expressivas, bem como seu R^2_{Aj} (%) e S_{yx} (%), existindo muita consistência entre ambas as variáveis. O modelo (6) apresentou o pior ajuste, sendo o menos apropriado para esta variável, demonstrando tendência de

Tabela 4. Indicadores de ajuste para biomassa de *Hovenia dulcis* Thunb.

Variável dependente	Modelo	Resultados do ajuste					
		a	b	c	d	R ² Aj. (%)	Syx (%)
FOLHAS	1	-1,8464	2,4312			75,34	58,58
	2	24,6088	-4,1001	0,1988		89,95	38,05
	3	6,3922	-0,8638	0,0055		89,77	38,40
	4	20,0363	-3,0365	0,1114	0,0029	90,75	22,58
	5	-2,3224	-0,0021	0,0046		89,19	39,48
	6	-32,1834	3,3035	-0,1327		75,12	59,85
	7	-1,6688	2,7926	-0,5494		75,58	60,40
FUSTE	1	-0,9524	2,5099			84,46	24,84
	2	97,8160	-18,5501	1,2287		96,81	18,49
	3	-38,2799	3,9067	0,0307		94,97	23,22
	4	87,1184	-16,0616	1,0242	0,0068	96,78	11,49
	5	-31,1483	0,4237	0,0155		96,00	20,70
	6	-255,5453	26,9486	-0,3302		87,33	36,85
	7	-1,0346	2,3427	0,2543		84,08	24,36
GALHOS	1	-0,7243	1,9133			77,55	34,53
	2	18,3094	-2,6767	0,2399		89,94	28,21
	3	-2,8635	1,1435	0,0067		90,09	28,01
	4	12,1955	-1,2545	0,1230	0,0039	90,17	17,25
	5	2,9583	0,0761	0,0046		90,49	27,43
	6	-48,5983	6,4193	-0,4831		83,51	36,12
	7	-0,6262	2,1128	-0,3033		77,24	35,48
TOTAL	1	-0,5862	2,3447			85,81	24,80
	2	139,4312	-25,1285	1,6629		97,41	16,18
	3	-36,1842	4,3682	0,0428		96,01	20,09
	4	118,5537	-20,2721	1,2639	0,0132	97,53	9,77
	5	-30,7157	0,5059	0,0243		96,84	17,89
	6	-335,9374	36,7452	-1,0261		87,87	35,02
	7	-0,5958	2,3251	0,0297		85,20	24,69

Figura 2. Distribuição gráfica de resíduos para o peso total de biomassa (Pto) com o modelo (4)

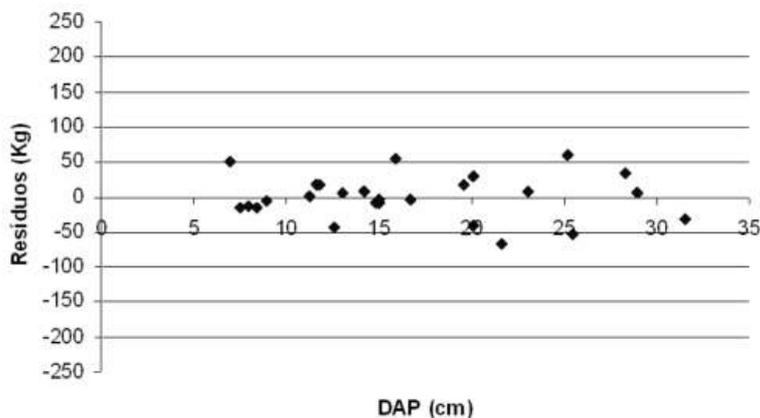


Figura 3. Distribuição tendenciosa dos resíduos para o peso total de biomassa (Pto) com o modelo (6)

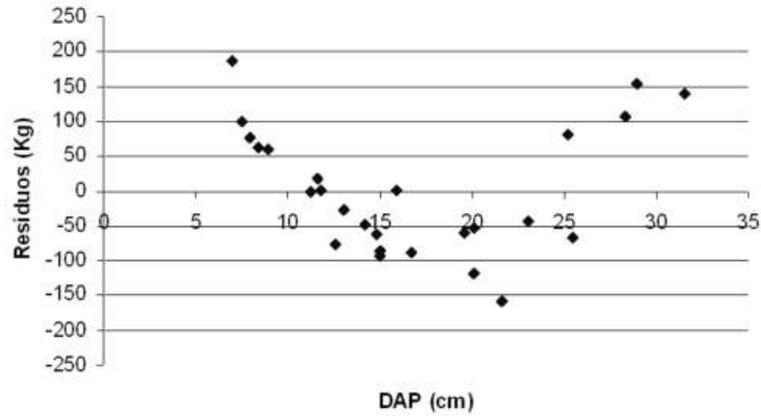


Figura 4. Distribuição gráfica de resíduos para o peso do fuste (Pt) com o modelo (4)

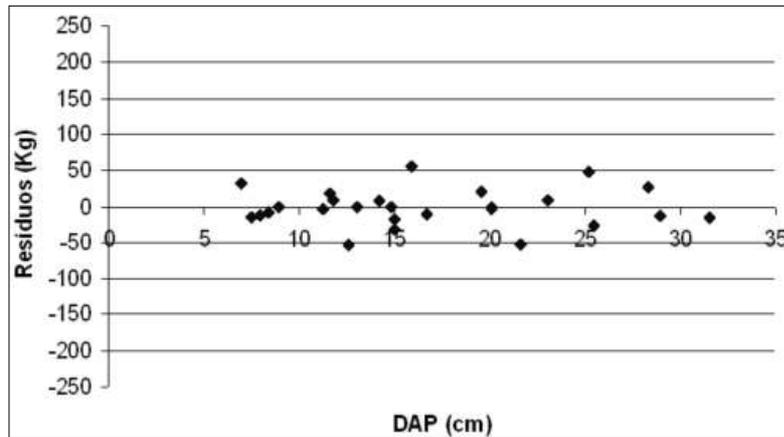


Figura 5. Distribuição gráfica de resíduos para o peso das folhas (Pf) com o modelo (4)

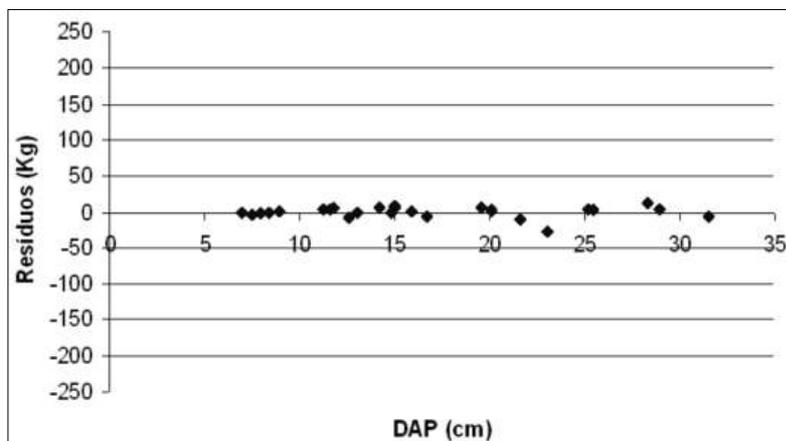
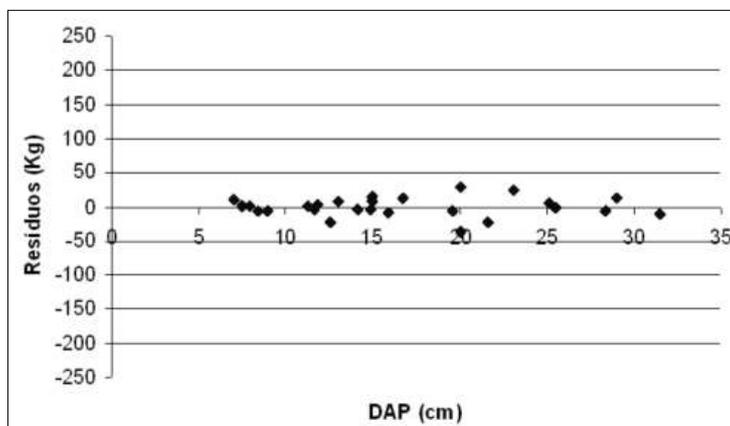


Figura 6. Distribuição gráfica de resíduos para o peso de galhos (Pg) com o modelo (4)



discrepância para o erro padrão da estimativa e na distribuição gráfica dos resíduos, conforme mostra a figura 3.

A utilização de equações não apropriadas para estimativas de biomassa, levam a valores consideravelmente diferentes do real, desta forma o ideal é o uso de modelos matemáticos ajustados para cada espécie, bem como para os diferentes componentes da árvore.

Ao analisar o ajuste para o peso das folhas (Pf), peso do fuste (Pt) e peso de galhos (Pg), nota-se que o modelo (4) apresentou os melhores resultados, com coeficientes de determinação de 90,75%, 96,78% e 90,17%, e erros padrões da estimativa mais baixos, de 22,58%, 11,49% e 17,25%, respectivamente. Estes resultados podem ser comprovados através da distribuição gráfica dos resíduos apresentadas nas figuras 4, 5 e 6. Ressalta-se que os modelos (1), (6) e (7) foram os que apresentaram os piores resultados nestes casos, diferindo dos

resultados obtidos por Silva et al. (2004) em estudos com *Eucalyptus benthamii*.

Conclusões

A maior parte das variáveis analisadas neste trabalho são altamente correlacionadas entre si. De forma geral, as estimativas para biomassa do Fuste e Total em função de variáveis DAP e altura foram superiores. Isto se deve a mais alta correlação entre as medidas do tronco em relação às demais partes da árvore.

Dentre os modelos testados, os lineares proporcionaram os melhores resultados do que os logaritmizados, e entre estes selecionou-se a equação resultante do modelo $B = B_0 + B_1 * DAP + B_2 * DAP^2 + B_3 * (DAP^2 * H)$, para as quatro variáveis dependentes.

Deverão ser realizados estudos complementares, considerando a parte radicial da espécie aqui analisada.

Referências

ABRAHAMSON, W. G.; GADGIL, M. Growth and reproductive affect in goldenrods solidago (compositae). *American Naturalist*, Lancaster, v. 107, p. 651-661, 1973.

BASKERVILLE, G.L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal Forest Research*, v. 2, p. 49-53, 1972.

BROWN, S.; LUGO, A. E.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implication for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 13, p. 390-394, 1986.

BRUNIG, E. F. Biomass diversity and utilization in tropical rainforest. In: I UFRO. *IUFRO forest biomass studies*. Orono: University of Maine at Orono, 1973. p. 35-42.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. V quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* De Wild. procedência australiana. *Ciência Rural*, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000.

CARVALHO, P. E. R. *Ecologia, silvicultura e usos da Uva-do-Japão*. Colombo: EMBRAPA-CNPFFloresta, 1994. 24 p. (Circular Técnica, 23).

COOPER, C. F. Carbon storage in managed forest. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 13, n. 1, p. 155-165, 1983.

FERREIRA, C. A.; MARTINS, E. G.; SILVA, H. D. da. Equações para cálculo do volume e peso de compartimentos aéreos de árvores de *Grevillea robusta* (Cunn.) aos oito anos de idade. *Boletim de Pesquisas Florestais*. Colombo, n. 49, p. 31-45, jul.dez. 2004.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, p.125–153. 1994.

HOUGHTON, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 1994, p. 38-76.

IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: 1992. 92p.

KOEHLER, H. S. ; WATZLAWICK, L. F. ; KIRCHNER, F. F. Fontes e Níveis de Erro nas Estimativas do Potencial de Fixação de carbono. In: Sanquetta, C R ; Watzlawick, L F ; Balbinot R. (Org.). *As Florestas e o Carbono*. 1 ed. Curitiba - Paraná: Sanquetta, C R ; Watzlawick, L F; Balbinot, R ; Ziliotto, M A; Gomes, F S, 2002, v. , p. 251-264.

LEITE, H.G.; REGAZZI, A.J. Métodos estatísticos para avaliar a igualdade de equações volumétricas. *Revista Árvore*, v. 16, n. 1, p.59-71, 1992.

LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A. Equações para estimativa de biomassa de espécies de *Prosopis* no semi-árido brasileiro. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 32/33, p. 67-79, Jan/Dez. 1996.

MAACK, R. 1968. *Geografia física do estado do Paraná*. BADEP/UFPR/IBPT. 350p.

MARTINELLI, L.A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 1994, p. 197-221.

RESENDE, G. C. et al, Produção e macronutrientes em florestas de Eucalipto sob duas densidades de plantio. *Revista Árvore*, Viçosas, v. 7, p. 165-196, 1983.

SCHROEDER, P. Carbon storage potencial of short rotation tropical tree plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 50, p. 31-41, 1992.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *maidenii*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; CORRÊA, R. S.; BELLOTE, A. F. J.; TUSSOLINI, E. L. Alocação de Biomassa e Ajuste de Equações para Estimativa de Biomassa em Compartimentos Aéreos de *Eucalyptus benthamii*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 49, p. 83-95, Jul/Dez. 2004.

VALERI, S. V. *Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de Pinus taeda L., desbastados em diferentes idades*. Curitiba, 1988. 164f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WATZLAWICK, L. F. *Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista em plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II*. Curitiba, 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WATZLAWICK, L. F. ; SANQUETTA, C. R. ; ARCE, J. E. ; BALBINOT, R. Quantificação de Biomassa Total e Carbono Orgânico em Povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. *Revista Acadêmica*, Curitiba - PR, v. 1, n. 2, p. 63-68, 2003