

AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DE VOLUME, BIOMASSA E CARBONO PARA TRÊS ESPÉCIES NATIVAS DA AMAZÔNIA

Robson Carmo Lima¹, Eleneide Doff Sotta¹, Aldine Luiza Baia²

¹ Embrapa Amapá, Macapá, Amapá, Brasil (robsoncl91@hotmail.com, esotta@gmail.com), ² Universidade do Estado do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil

MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

O manejo florestal sustentável possibilita o uso racional das florestas tropicas, por meio de métodos e ferramentas, como a análise de regressão, favorecendo o planejamento estratégico, o rendimento econômico e a manutenção da floresta em pé (ROLIM et al. 2006; SCHNNEIDER, P. R; SCHNNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M e SOUZA, 2009).

A ferramenta de análise de regressão é fortemente empregada no ajuste de equações que estimam com precisão o volume a biomassa e o estoque de carbono de uma floresta. A obtenção dessas estimativas facilita o gerenciamento do uso do solo, a quantidade de nutrientes exportada durante a exploração florestal e a quantidade de carbono emitido a partir das queimadas (HIGUCHI et al. 1998; HIGUCHI et al. 2004).

A quantificação da biomassa e do volume de madeira pode ser feita a partir de métodos diretos e indireto. O método direto (destrutivo) consiste basicamente da escolha, abate, cubagem rigorosa e pesagem das árvores. Enquanto que, no método indireto as variáveis (normalmente diâmetro e altura) são obtidas com a árvore em pé e aplicadas em equações ajustadas com o auxílio do método direto (SOARES, NETO e SOUZA, 2011).

Dessa forma, é possível estimar o volume e a quantidade de biomassa, acumulada em árvores da mesma espécie e até mesmo em grandes áreas de florestas somente com as variáveis alométricas (SOARES, NETO e SOUZA, 2011).

OBJETIVO

Ajustar equações para estimar volume comercial, biomassa e estoque de carbono para três espécies nativas da região amazônica: *Dinizia excelsa*, *Quelea paraenses* e *Goupia glabra*.

MATERIALE MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO:

O estudo foi realizado em uma unidade de manejo florestal da empresa Orsa Florestal localizada no município de Almeirim (00°27'00"S a 01°30'00"S e 51°40'00"W a 53° 20'00"W) Monte Dourado (PA) (Figura 1). A fitofisionomia da região é caracterizada por Floresta Ombrófila Densa com altura do dossel em torno de 30 a 35 m, com espécies emergentes ao dossel de até 50 m de altura.



Figura 1: Localização da área de manejo florestal da Orsa Florestal (Fonte: www.orsaflorestal.com.br)

O clima na região segundo Köppen é amw, quente e úmido. A precipitação oscila em torno de 2200 mm anuais, distribuída em duas estações: uma estação chuvosa (dezembro a julho) e uma seca (agosto a novembro). A temperatura média anual em torno de 26 ± 2 °C (ALVES e MIRANDA, 2008).

Os solos são classificados como Latossolos Amarelos e Podzólicos Vermelho Amarelos e apresentam drenagem e profundidade variáveis.

ESCOLHA DAS ESPÉCIES E MEDIÇÃO DAS AMOSTRAS:

As três espécies foram selecionadas em função das espécies com maiores volumes explorados no ano de 2010. O Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) Fabaceae que compôs 42 % do volume total explorado, a Mandioqueira escamosa (*Quelea paraenses* Ducke) Vochysiaceae com 9 % do volume total explorado e a Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.) Goupiaceae com 6,13 % do volume total explorado, representando 57,13 % do volume retirado das unidades de produção. A amostragem foi composta por 30 árvores, dez indivíduos de cada espécie selecionada. Os troncos das árvores foram cubados pelo método smalian e pesados seguindo a ordem de exploração do cronograma da empresa. Amostras dos troncos foram retiradas para determinação do teor de carbono e umidade.

QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO NA BIOMASSA

Para a quantificação do carbono na biomassa foi utilizada a seguinte equação:

C = Pu. % U. % C; Onde,

C = quantidade de carbono em toneladas (t);
Pu = biomassa (peso úmido) em toneladas (t);
% U = teor de umidade do tronco;
% C = teor de carbono.

RESULTADOS

Tabela 1: Médias de diâmetro a altura do peito (D), altura total (HT), altura comercial (HC) e volume real das três espécies amostradas (médias ± erro padrão, n = 10).

ESPÉCIE	D		HT		HC		Volume real do tronco	
Angelim vermelho	1,06 ± 0,26	a	46,1 ± 6,81	a	22,60 ± 4,01	a	15,62 ± 7,63	a
Cupiúba	0,76 ± 0,12	b	32,1 ± 9,70	b	19,15 ± 4,38	b	5,42 ± 1,74	b
Mandioqueira escamosa	0,79 ± 0,10	b	40,0 ± 8,50	ab	19,05 ± 3,65	ab	7,96 ± 3,29	c
Média geral	0,86 ± 0,21		39,6 ± 10,21		20,40 ± 4,15		9,70 ± 6,34	

Tabela 2: Médias do teor de umidade, teor de carbono, peso do tronco, carbono no tronco e biomassa do tronco.

ESPÉCIE	Umidade		Teor de carbono		Peso do tronco		Carbono no tronco		Biomassa do tronco	
Angelim vermelho	0,20 ± 0,03	a	0,39 ± 0,07	a	13,00 ± 7,62	a	1,04 ± 0,74	a	10,32 ± 5,91	a
Cupiúba	0,21 ± 0,25	a	0,35 ± 0,07	a	6,35 ± 5,65	a	0,51 ± 0,90	a	4,69 ± 2,75	b
Mandioqueira escamosa	0,31 ± 0,05	a	0,38 ± 0,08	a	6,48 ± 2,86	a	0,77 ± 0,47	a	4,42 ± 1,87	b
Média geral	0,24 ± 0,16		0,36 ± 0,08		8,37 ± 5,77		0,86 ± 0,71		6,27 ± 4,51	

Tabela 3: Equações volumétricas ajustadas para as espécies *Dinizia excelsa*, *Quelea paraense* e *Goupia glabra*. F = valor de F calculado, R²aj = coeficiente de determinação ajustado, Syx = erro padrão de estimativa, Syx% = coeficiente de variação.V= volume, D= diâmetro a altura do peito, HT=altura total, HC=altura comercial.

CO	EQUAÇÕES AJUSTADAS		F	R²aj	Syx	Syx%
1	V= -0,9735 + 0,0014*D² + ε		106,30	0,78	0,54	1,03
2	V= -0,8770 - 0,0021*D + 0,0014*D² + ε		51,31	0,77	0,56	1,07
3	LnV= -7,4294 + 2,1554*LnD + ε		82,23	0,73	0,43*	4,53*
4	LnV= -15,6099 + 3,6362*LnD + 132,8324*D¹ + ε		40,42	0,73	0,45*	4,67*
5	V= 1,4988 + 0,0001*D² HC+ ε		66,10	0,69	0,65	1,23
6	V= -0,7912 + 0,0004*D² + 0,0010*D² HC + 0,0001*HC + ε		35,81	0,78	0,54	1,03
7	V= -1,6016 + 0,0001*D² + 0,0174*D² HC + 0,0001*DHC² - 0,0003*HC² + ε		30,30	0,80	0,55	1,04
8	V= 3,9486 - 0,0588*D² + 0,0089*D² HC + 0,0007*DHC + 0,0381*DHC² - 0,0001*HC + ε		383,40	0,98	0,15	0,29
9	V= 7,3986 - 0,1360*D² + 0,0008*D² HC + 0,0001*DHC - 0,0001*DHC² + ε		28,81	0,79	0,56	1,06
10	LnV= -7,9512 + 0,8474*Ln (D² HC) + ε		98,80	0,77	0,40*	4,23*
11	LnV= -8,2529 + 1,9790*Ln D + 0,5310*Ln HC + ε		56,01	0,79	0,39*	4,11*
12	LnV= -3,9855 - 3,0682*Ln (D) + 5,1822*Ln²(D)*0,5547*Ln (HC) - 0,7474*Ln (D²) +ε		33,20	0,81	0,38*	4,00*

Tabela 4: Equações de volume com o melhor conjunto de medidas de precisão para cada espécie. F = valor de F calculado, R²aj = Coeficiente de determinação ajustado, Syx = erro padrão de estimativa, Syx% = coeficiente de variação. V= volume, D= diâmetro a altura do peito, HT=altura total, HC=altura comercial

ESPÉCIE	EQUAÇÕES		F	R²aj	Syx	Syx%
Angelim vermelho	V= 4,1744 - 0,0881* D² + 0,0015*D² HC - 0,0001*DHC + 0,0408*DHC² + ε		2395,01	0,99	0,09	0,19
Cupiúba	V= 32,553 - 0,9054*D² + 0,007*D² HC - 0,00004*DHC + 0,0469*DHC² + ε		77,61	0,97	0,12	0,70
Mandioqueira escamosa	V= -3,651 + 0,084*D² + 0,001*D² HC - 0,0001*DHC + 0,0545*DHC² + ε		115,02	0,98	0,13	0,53

Tabela 5: Equações de biomassa ajustadas para as espécies *Dinizia excelsa*, *Quelea paraense* e *Goupia glabra*. F = valor de F calculado, R²aj = Coeficiente de determinação ajustado, Syx = erro padrão de estimativa, Syx% = coeficiente de variação. Pu = peso úmido, Ps = peso seco, D=diâmetro a altura do peito, HC=altura comercial, DB=densidade básica.

CO	EQUAÇÕES AJUSTADAS		F	R²aj	Syx	Syx%
1	Ps = 97,8175 + 0,9215*D² + ε		25,94	0,49	643,92	1,98
2	Ps = 17007,3500 - 365,8350*D + 2,7739*D² + ε		17,01	0,55	615,84	1,89
3	Ln Ps = 0,9795 + 1,7330* Ln D + ε		12,58	0,31	533,38*	8,37*
4	Ln Ps = -40,4337 + 9,2328*LnD + 671,3196*D¹ + ε		9,12	0,38	513,52*	8,05*
5	Ps = 1174,8720 + 0,0376*D² HC+ ε		16,24	0,37	715,65	2,20
6	Ps = -1739,3600 + 101,6646*D² + 0,7946*D² HC + 0,0047*HC + ε		8,80	0,47	681,73	2,11
7	Ps = 2741,4880 - 1,4974*D² + 23,4677*D² HC + 0,1872*DHC² - 0,6410*HC² + ε		6,99	0,48	693,02	2,13
8	Ps = 1768,7150 + 946,6806*D² + 0,5378*D² HC + 0,1294*DHC - 23,3900*DHC² +0,0621*HC + ε		6,11	0,50	698,34	2,15
9	Ps = 4182,6660 + 1,9248*D² - 0,0315*D² HC - 12,7800*DHC + 0,4164*DHC² + ε		7,95	0,52	667,88	2,05
10	Ln Ps = 0,1656 + 0,7162*Ln (D² HC) + ε		10,13	0,26	551,65*	8,65*
11	Ln Ps = 0,1949 + 1,6579 *Ln D + 0,3738*Ln HC + ε		6,04	0,28	555,61*	8,71*
12	Ln Ps = 62,2998 - 29,9837* Ln (D)+ 6,6183*Ln²(D)*3,5098*Ln (HC) - 1,0740 Ln (D²) + ε		5,06	0,38	536,42*	8,41*
13	Ps = 1078,3140 + 0,3738 *VDB		66,70	0,72	479,96	1,48
14	Ln Pu = 1,6954 + 1,6385*Ln D + ε		10,08	0,26	551,90*	8,66*
15	Ln Pu = 1,0834 + 1,5800* Ln D + 0,2916* Ln HC + ε		4,84	0,23	574,90*	9,02*
16	Pu= - 8904,8500*D ²10,1008+ ε		18,05	0,40	896,39	2,76
17	P u= -10361,0000* D 206,2517*HC 117,0654+ ε		8,91	0,38	909,60	2,80

DISCUSSÃO

As equações 8, 9,12 e 7 respectivamente foram as que apresentaram o melhor conjunto de medidas de precisão como resultado do ajuste (Tabela 3), obtendo coeficientes de determinação ajustado (R²aj) mais próximos a um, e menores erro padrão da estimativa (Sxy) e coeficiente de variação (Sxy%). Comparado às equações anteriormente citadas, a equação 1, apesar de apresentar piores medidas de precisão, pode ser de mais fácil aplicação por usar apenas o DAP como variável independente.

Os melhores resultados das equações por espécie, foram obtidos no ajuste do modelo de Mayer modificada ($V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 HC + \beta_3 DHC + \beta_4 DHC^2 + \varepsilon$, Tabela 4). A inclusão da variável altura comercial (HC) nessa equação melhorou o ajuste, embora isso signifique mais custos e maior esforço de campo.

A equação 13 foi a que apresentou o melhor conjunto de medidas de precisão para biomassa (Tabela 4). Os baixos coeficientes de determinação ajustados (R²aj) e elevados erro padrão da estimativa (Sxy) e coeficiente de variação (Sxy%) obtidos podem ser explicados pelo pequeno número de amostras utilizadas para o ajuste das equações de biomassa (n = 26). Segundo Higuchi et al. (1998) é recomendável utilizar amostragens com n > 50 para estimar a biomassa e o estoque de carbono florestal acima do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As equações ajustadas com os modelos de Meyer, logarítmico de Prodan e Meyer modificada foram as que melhor se ajustaram aos dados, por isso, são indicadas para estimar o volume por espécie, como também, para o conjunto das três espécies.
- A amostragem foi suficiente para o ajuste das equações volumétricas.
- A amostragem utilizada (n=27) gerou equações de estimativa de biomassa de baixa precisão.

REFERÊNCIAS

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, DA R. P.; ROCHA R. DE M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. *Floresta*, Curitiba-PR, v 34, n 3, p. 295-304, 2004.
HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da floresta tropical umidade terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, Manaus-AM, v 28, n 2, p. 153-166, 1998 .
ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazônica*, Manaus-AM, V. 36, n 1, p 107-114, 2006.
SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. Análise de regressão aplicada a Engenharia Florestal. 2. Ed. FACOS-UFSM, Santa Maria, 2009, 294 p.
SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. Dendrometria e inventário florestal. In: _____. Biomassa e carbono. Viçosa: 2011, p 97-112.