

QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA E CARBONO DA REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREA DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Luan Demarco FIORENTIN¹
Ana Paula DALLA CORTE¹
Carlos Roberto SANQUETTA¹
Alexandre BEHLING¹

- RESUMO: Foi realizado o inventário das plantas componentes da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista, com o objetivo de conhecer a relação da biomassa seca e o carbono das plantas com as variáveis da floresta. As plantas foram classificadas nas seguintes categorias: plântulas arbóreas < 30 cm de altura, plântulas arbóreas ≥ 30 cm de altura e herbáceas. As maiores correlações do estoque de biomassa e carbono foram com as variáveis: diâmetro de colo e diâmetro de copa. O teor de carbono médio para as categorias de plântulas arbóreas foi estatisticamente superior em relação às herbáceas. A maior quantidade de biomassa e carbono estocada foi encontrada nas plantas herbáceas. Os modelos alométricos ajustados para biomassa e carbono apresentaram estatísticas de ajuste e precisão satisfatórias, mas sempre demonstraram tendenciosidade nas estimativas. A regeneração natural apresenta grande capacidade de estoque de biomassa e retenção de carbono.
- PALAVRAS-CHAVE: Mata Atlântica; inventário florestal; modelos alométricos.

1 Introdução

O Brasil é um país detentor de grandes áreas de florestas nativas e que abrigam elevada diversidade biológica. Segundo Serviço Florestal Brasileiro (2013), o bioma da Mata Atlântica e seus ecossistemas associados envolvem uma área de 1,1 milhão de km², equivalente a 13% do território brasileiro. No entanto, após décadas de ocupação, esta área foi reduzida drasticamente e encontra-se altamente fragmentada. Nascimento et al. (2001) ressaltam que a Floresta Ombrófila Mista é uma importante tipologia florestal deste bioma, pois é formada por diversas espécies de interesse econômico, como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, mas que possui suas reservas naturais reduzidas devido à exploração de madeira em décadas passadas.

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Ciências Florestais, CEP 8021-017, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: luanfiorentin@hotmail.com; anapaulacorte@gmail.com; carlos_sanquetta@hotmail.com; alexandre.behling@yahoo.com.br.

Além da importância econômica das áreas florestais e seu grande valor na manutenção da biodiversidade de espécies da fauna e flora, as florestas possuem também grande capacidade de acumular biomassa e estão entre os ecossistemas terrestres que apresentam a maior quantidade de biomassa por unidade de área, sendo que a maior parte desta é formada pelas árvores que compõem o dossel florestal (SATO E MADGWICK, 1982).

Sanquetta et al. (2014a) destacam que a biomassa florestal tem sido estudada com diversos propósitos, entre os quais está a ciclagem de nutrientes, para fins energéticos, na avaliação de crescimento de florestas, entre outros. Atualmente, as questões climáticas ligadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE), principalmente do dióxido de carbono (CO₂), também tem despertado o interesse devido ao papel que as florestas exercem quanto à fixação biológica de carbono e na remoção de CO₂ da atmosfera.

Embora grande parte dos estudos de biomassa em vegetação natural se concentre na avaliação do estrato superior da floresta, é fundamental quantificar o estoque de biomassa e carbono contidos nas plântulas arbóreas e herbáceas que formam a regeneração natural. De acordo com Silva (2007), aproximadamente 2% da biomassa viva acima do solo é encontrada na regeneração natural de espécies arbóreas. Apesar de ser uma porcentagem relativamente baixa, a partir destas informações é possível avaliar a real capacidade de retenção de biomassa do ecossistema florestal e seu potencial de absorção e estocagem de carbono.

Watzlawick et al. (2012) afirmam que a deficiência de informações sobre a quantificação de biomassa e carbono abaixo do solo (raízes), serapilheira e na vegetação do sub-bosque, principalmente em florestas naturais, muitas vezes dificulta a estimativa precisa do estoque de biomassa e carbono em ecossistema florestal. Os autores ainda ressaltam que é imprescindível que estudos sejam feitos no sentido de elucidar a porção representada pela biomassa e pelo carbono fixado pelos diferentes tipos de florestas, bem como nos diferentes componentes da biomassa, possibilitando a comparação entre diferentes ecossistemas florestais.

As estimativas de biomassa da vegetação podem ser feitas por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem na pesagem de toda biomassa, normalmente por processo destrutivo. Esta abordagem é inviável de se executar em áreas extensas, devido ao tempo e custo de execução. Por outro lado, os métodos indiretos consistem no emprego de modelos alométricos, que relacionam a variável biomassa ou carbono, variáveis de difícil obtenção, com variáveis comumente medidas em campo nos trabalhos de inventário florestal (SANQUETTA et al., 2014b; SCHIKOWSKI et al., 2013).

Haja a vista a existência de poucas informações sobre a capacidade da regeneração natural na Mata Atlântica em estocar biomassa e carbono, estudos com esse objetivo poderão contribuir significativamente para melhoria nas estimativas em projetos florestais. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a biomassa e o carbono contido em diferentes categorias da regeneração natural, bem como, ajustar modelos matemáticos para estimar a biomassa e carbono presentes na regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista, no município de São João do Triunfo, estado do Paraná.

2 Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados de parcelas permanentes pertencentes ao programa de Pesquisas de Longa Duração (PELD) – Sítio 9 (Floresta com araucária e suas transições), instaladas na estação experimental da Universidade Federal do Paraná no município de São João do Triunfo, região sul do estado do Paraná, Brasil, sob coordenadas geográficas 25°34'18" S e 50°05'56" W a 780 m de altitude, e que tem área aproximada de 32 hectares.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, caracterizado por ser mesotérmico, sempre úmido e com verões brandos. Com dados climáticos obtidos nas estações meteorológicas do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) próximas à área de estudo, verificou-se que a temperatura média do ar é de 17,4°C, umidade relativa média é de 80,1% e a precipitação média é de 1.615 mm (DURIGAN, 1999).

O solo predominante no local é do tipo Argissolos, caracterizado por grande acúmulo de argila, mas também é encontrado em pequena proporção Cambissolos, o qual é pouco desenvolvido (EMBRAPA, 2009). Segundo a classificação proposta pelo IBGE (2012), a tipologia florestal dominante na área de estudo é a Floresta Ombrófila Mista Montana. Em algumas partes da área experimental, apesar da floresta não ter sofrido cortes rasos, algumas intervenções podem ser observadas, as quais estão detalhadamente descritas em Schaaf (2001).

2.2 Dados utilizados

Os dados utilizados neste trabalho advêm de parcelas permanentes instaladas na estação experimental, no ano-base 2013. Foram instaladas 30 unidades amostrais, com dimensão de 1 x 1 metro cada (1 m²), totalizando 30 m² medidos. As parcelas foram implantadas pelo processo de amostragem aleatória (Figura 1), e os vértices foram materializadas com canos de PVC.

Em cada unidade foram amostrados os indivíduos nas seguintes categorias:

1. Plântulas arbóreas ≥ 30 cm: indivíduos jovens de espécies arbóreas que apresentaram altura superior ou igual a 30 cm e menor do que 1,30 m.
2. Herbáceas: todas as espécies de herbáceas que ocorrem na unidade amostral.
3. Plântulas arbóreas < 30 cm: indivíduos jovens de espécies arbóreas que apresentavam altura inferior a 30 cm.
4. As variáveis coletadas diferiram em função da classe dos indivíduos. Para as plântulas foi realizado um controle de cada indivíduo presente na parcela, tendo as seguintes variáveis biométricas levantadas: espécie, diâmetro do colo, diâmetro da copa (2 dimensões), altura total, altura do primeiro galho vivo, número de folhas, peso do caule, peso das folhas, peso de galhos, peso de raízes e área foliar, além do peso úmido total. Dos indivíduos menores do que 30 cm de altura e das herbáceas foram tomadas

apenas as medidas do peso úmido total presente dentro da unidade amostral. Ao todo, fizeram parte deste levantamento: 128 indivíduos contidos em 30 unidades amostrais para plântulas arbóreas ≥ 30 cm; 27 unidades amostrais para plântulas arbóreas < 30 cm de altura (3 parcelas não ocorreram presença dessas) e 30 unidades amostrais para plantas herbáceas.



Figura 1 - Localização geográfica ($25^{\circ}34'18''$ S e $50^{\circ}05'56''$ W) das 30 unidades amostrais no município de São João do Triunfo, PR.

Todo material coletado nas unidades amostrais foi acondicionado e encaminhado ao laboratório para a realização de análises complementares. No laboratório, todas as amostras foram secas até peso constante, visando à determinação dos pesos secos (em cada compartimento para as plântulas) e para a parcela (indivíduos < 30 cm e herbáceas).

Em seguida, as amostras foram moídas em um moinho do tipo facas, visando à redução a pó, com o objetivo de realizar as correspondentes análises de teores de carbono por via seca (combustão) pelo meio do equipamento C-144, da marca Leco. Em síntese, o processamento em laboratório foi efetuado de tal modo que no final do processo fossem obtidas amostras secas e moídas na quantidade de, aproximadamente, 10 gramas para as análises dos teores de carbono.

2.3 Processamento dos dados

Inicialmente, foi montado uma matriz de correlação linear simples entre a biomassa e carbono presente em cada categoria da regeneração natural e as variáveis biométricas coletadas das plântulas ≥ 30 cm, para analisar a relação entre as variáveis biométricas com a biomassa seca e carbono.

A partir das informações de biomassa seca e carbono, foi calculado o teor de carbono nas unidades amostrais para cada categoria da regeneração natural. Esses dados foram submetidos ao teste de Bartlett para análise de homogeneidade de variâncias, onde foi identificado a necessidade de transformação quadrática para atender um dos pressupostos da análise de variância. Assim, após a aplicação do teste de "F", foi identificada a rejeição da hipótese da nulidade e, em seguida, aplicou-se o teste de Tukey para comparação de médias. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, onde as análises foram feitas a 95% de probabilidade.

O processamento do inventário de biomassa e carbono foi realizado para a categoria plântulas arbóreas < 30 cm de altura, plântulas arbóreas ≥ 30 cm, plantas herbáceas e para o somatório dos três conjuntos de dados.

Em virtude da alta variabilidade dos indivíduos amostrados na categoria de plântulas arbóreas ≥ 30 cm de altura, optou-se por modelar a biomassa e carbono em nível global, sendo utilizadas as seguintes variáveis independentes: densidade (N), área basal (G), diâmetro do colo médio (d_{colo}), diâmetro de copa média (d_{copa}), altura total média (h) e área foliar média (A_f).

Após a definição das variáveis independentes, a matriz de correlação linear simples e o procedimento *Stepwise* foi aplicado para seleção de variáveis na análise de regressão. O procedimento *Stepwise* testa a inserção e remoção de todas as variáveis independentes no modelo, tendo como critério de seleção o coeficiente de correlação e a significância estatística, medida pelo valor de "F" parcial. Neste trabalho, foram consideradas as probabilidades de inserção e remoção das variáveis em 5 e 10%, respectivamente.

Posteriormente, foram criados e testados diversos modelos alométricos com a finalidade de estimar o conteúdo de biomassa e carbono na categoria de plântulas. Entretanto, em virtude da grande quantidade de modelos gerados, optou-se por apresentar apenas os modelos com melhores desempenhos, conforme apresentados na Tabela 1.

A análise do desempenho das equações ajustadas foi realizada com base nas estatísticas de ajuste e precisão recomendadas por Draper e Smith (1998) e comumente utilizadas na área florestal como: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa em porcentagem ($Sy_{x\%}$), e análise gráfica de resíduos (Resíduo %).

Tabela 1 - Modelos alométricos testados para estimar a biomassa seca e carbono da regeneração natural da categoria plântulas

Modelo	Fórmula
1	$y = \beta_0 + \beta_1 (d_{\text{colo}} * d_{\text{copa}}) + \beta_2 N$
2	$y = \beta_0 + \beta_1 d_{\text{colo}} + \beta_2 N + \beta_3 d_{\text{copa}}$
3	$y = \beta_0 + \beta_1 (d_{\text{colo}})^2 + \beta_2 N^2 + \beta_3 (d_{\text{copa}})^2$
4	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln (d_{\text{colo}} * d_{\text{copa}}) + \beta_2 \ln N^2$
5	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{\text{colo}} + \beta_2 \ln N + \beta_3 \ln d_{\text{copa}}$
6	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln (d_{\text{colo}} * d_{\text{copa}})^2 + \beta_2 \ln N^2 + \beta_3 \ln G^2$
7	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln (d_{\text{colo}} * d_{\text{copa}}) + \beta_2 \ln A_f$
8	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{\text{colo}} + \beta_2 \ln N + \beta_3 \ln d_{\text{copa}} + \beta_4 \ln G$

β s = coeficientes dos modelos; d_{colo} = diâmetro do colo médio (cm); d_{copa} = diâmetro de copa média (cm); h = altura total média (cm); A_f = área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$); N = densidade (plântulas. ha^{-1}); G = área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$); y = biomassa seca ou carbono ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

3 Resultados e discussão

3.1 Matriz de correlação

A matriz de correlação linear simples de biomassa e carbono para todas as categorias da regeneração natural e as variáveis da floresta está representados na Tabela 2.

De modo geral, foram obtidas relações fracas entre as variáveis, com valores positivos e negativos. Os valores baixos de correlação encontrados nessa pesquisa podem ser atribuídos ao fato de que os indivíduos regenerantes não possuem sua morfometria bem definida quando jovem, diferente do que ocorre na fase adulta ou quando já estão estabelecidos no ecossistema florestal, onde as correlações entre estas variáveis tendem a serem mais fortes.

A categoria de plântulas arbóreas ≥ 30 cm resultou nas maiores correlações significativas da biomassa e carbono com as variáveis biométricas da floresta, principalmente para diâmetro do colo médio (d_{colo}), diâmetro de copa médio (d_{copa}) e área foliar média (A_f). Esse resultado já era esperado, visto que as espécies de hábito arbóreo possuem boa relação da biomassa e carbono com as variáveis dendométricas (BURGUER e DELITTI, 2008; SANQUETTA et al., 2013; SCHIKOWSKI et al., 2013).

As plantas herbáceas apresentaram correlação inversa (negativa) com todas as variáveis biométricas, sendo que essas maiores correlações foram obtidas para número de árvores (N), área basal (G) e área foliar média (A_f), porém, essas relações não foram estatisticamente significativas. Esse resultado indica que quanto maior forem às dimensões das espécies componentes da regeneração natural e sua ocupação no terreno, menores serão os valores de biomassa e carbono das plantas herbáceas.

Por outro lado, as plântulas arbóreas < 30 cm apresentaram correlação significativa com área basal (G) e número de árvores (N), enquanto que correlações muito baixas foram obtidas para altura média e área foliar.

Tabela 2 - Matriz de correlação simples para as categorias da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR

	Biomassa			Carbono			Variáveis					
	≥ 30cm	Herbáceas	< 30cm	≥ 30cm	Herbáceas	< 30cm	N	G	d _{colo}	d _{copa}	h	A _f
Biomassa	≥ 30cm	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herbáceas	-0,35	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	< 30cm	0,11	-0,31	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbono	≥ 30cm	0,99**	-0,36	0,12	1,00	-	-	-	-	-	-	-
	Herbáceas	-0,35	0,99**	-0,31	-0,36	1,00	-	-	-	-	-	-
	< 30cm	0,11	-0,32	0,99**	0,11	-0,32	1,00	-	-	-	-	-
Variáveis	N	0,16	-0,32	0,48**	0,17	-0,32	0,50**	1,00	-	-	-	-
	G	0,20	-0,32	0,68**	0,20	-0,31	0,69**	0,77**	1,00	-	-	-
	d _{colo}	0,60**	-0,27	0,23	0,59**	-0,27	0,22	-0,06	0,37*	1,00	-	-
	d _{copa}	0,64**	-0,25	-0,21	0,64**	-0,25	-0,22	-0,20	-	0,56**	1,00	-
	H	0,45*	-0,18	-0,17	0,45*	-0,17	-0,18	-0,25	-	-	0,80**	1,00
	A _f	0,52**	-0,31	-0,10	0,51**	-0,31	-0,09	0,29	0,29	0,28	0,40**	0,25

em que: * significativo a 95% de probabilidade; ** significativo a 99% de probabilidade.

A Tabela 3 apresenta os teores médios de carbono em cada categoria da regeneração natural, juntamente com as medidas de variação dos dados. A porcentagem média de carbono encontrada na categoria de plântulas arbóreas ≥ 30 cm foi de 41,21%, esse valor é próximo aos 40,47% obtido para indivíduos < 30 cm. Contudo, as plantas herbáceas apresentaram baixo percentual médio de carbono, com valor de 37,43%, nessa categoria também foi verificada a maior amplitude de variação.

Tabela 3 - Teores de carbono (%) nas categorias da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR

Estatísticas (%)	≥ 30 cm	Herbáceas	< 30 cm	Total
Mínimo	37,54	29,36	35,76	36,44
Máximo	45,03	43,17	46,44	44,79
Média	41,21 a	37,43 b	40,47 a	39,90
Desvio Padrão	1,84	3,31	2,09	1,81
Coefficiente de variação	4,45	8,85	5,15	4,53

O maior teor de carbono nas categorias de plântulas arbóreas ≥ 30 cm e para as plântulas arbóreas menores < 30 cm, quando comparados com as plantas herbáceas, foi evidenciado pelo teste Tukey de comparação de médias, onde essas categorias diferenciaram-se estatisticamente, a nível de significância de 95%, conforme Tabela 4. Esse resultado já era esperado pelo fato de haver grande incorporação de carbono nas espécies florestais. Para indivíduos de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. em Guaratuba, PR, Melo et al. (2014) verificaram que a maior concentração de carbono encontra-se no fuste e nos galhos. No entanto, Sanquetta et al. (2014a) não encontraram um padrão nos teores de carbono nos compartimentos de madeira, galhos, casca e folhagem para *Acacia mearnsii* de Wild. no Rio Grande do Sul.

Tabela 4 - Análise de variância para o teor de carbono nas categorias da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR

Fonte de variação	GL	QM
Tratamento	2	696.345,60*
Resíduo	84	36.485,19

em que: * significativo a 95% de probabilidade.

Ribeiro (2010) encontrou teor médio de carbono igual a 45,25% da biomassa total de espécies da Floresta Amazônica na região de Manaus, AM, para categoria de regeneração natural equivalente as plantas com altura de 30 a 50 cm. Já Machado et al. (2006) avaliaram os teores de carbono aéreo em povoamentos de *Mimosa scabrella* (Benth.) na região de Curitiba, PR, onde a concentração variou de 43 a 46%. Para Sanquetta et al. (2014a), o teor de carbono médio em *Acacia mearnsii* foi de 45,01%, 45,65%, 46,50% e 45,68% para os povoamentos com 1, 3, 5 e 7 anos de idade, respectivamente.

Watzlawick (2003) encontrou variação no teor médio de carbono na biomassa aérea de 38,54% para casca do fuste e, de até 42,49% na folhagem de espécies nativas em área de Floresta Ombrófila Mista, no município de General Carneiro, PR. O autor ainda destaca que os teores de carbono em plantios florestais oscilam entre 40 a 50%, com média em torno de 45% da biomassa seca. Assim, é possível perceber que a concentração de carbono encontrada nessa pesquisa, para a categoria de plântulas arbóreas < 30 cm e ≥ 30 cm, está dentro dos limites que geralmente são encontrados em espécies de hábito arbóreo.

3.2 Inventário da regeneração natural

Na Tabela 5 estão apresentados os dados do inventário de biomassa e carbono da regeneração natural. Essas variáveis apresentaram grande amplitude de variação, sendo a maior amplitude encontrada na categoria de plantas herbáceas, seguido das plântulas arbóreas ≥ 30 cm e plântulas arbóreas < 30 cm.

A maior média de biomassa e carbono pertence a categoria das plantas herbáceas, juntamente com a maior variância e desvio padrão. O coeficiente de variação resultou em valores bastante elevados, notadamente para herbáceas e plântulas < 30 cm, em que o valor foi superior a 100%. É possível notar também que existe maior variabilidade nas estimativas de biomassa, visto que o carbono apresentou valores ligeiramente mais baixos nas medidas de dispersão.

As plântulas ≥ 30 cm, herbáceas e plântulas < 30 cm apresentaram, em média, biomassa de 1,2376 t.ha⁻¹ (±0,2741). Especificamente, as plântulas ≥ 30 cm contribuíram com 0,5019 t.ha⁻¹ (±0,1762), as herbáceas contribuíram com 0,6707 t.ha⁻¹ (±0,2880) e as plântulas < 30 cm com 0,0722 t.ha⁻¹ (±0,0072).

Sanquetta et al. (2014c) quantificaram a biomassa e carbono em diferentes compartimentos da vegetação em área de Floresta Ombrófila Mista, no Parque Nacional do Iguçu, PR. Para as plantas contidas nas classes de diâmetro de 0 a 0,70 cm e 0,71 a 2,50 cm, foram encontrados valores de biomassa de 0,35 e 0,18 t.ha⁻¹, respectivamente. Enquanto que a concentração de carbono nas classes de diâmetro citadas foram de 0,13 e 0,07 t.ha⁻¹. Estes valores são inferiores as médias encontradas para os compartimentos de plântulas ≥ 30 cm e herbáceas da presente pesquisa. Já Ribeiro et al. (2009) encontraram média de 166,67 t.ha⁻¹ de biomassa e 83,34 t.ha⁻¹ de carbono em diversos indivíduos com dap ≥ 5 cm da floresta Estacional Semidecidual Montana, no município de Viçosa, MG.

O erro relativo do inventário, apesar de ser superior a 10% em todas as categorias, foram valores satisfatórios devido à alta heterogeneidade encontrada na regeneração natural. É possível notar que o erro foi ligeiramente menor nas estimativas de carbono, quando comparados com os obtidos para biomassa. De acordo com Huston (1994), a comunidade apresenta alto padrão de heterogeneidade espacial e que, potencialmente, pode permitir a existência de grande número de espécies diferentes e, conseqüentemente, uma alta diversidade de espécies nesses locais. Este fato é mais marcante no estrato da regeneração natural, onde as plantas não estão estabelecidas no ecossistema florestal e, portanto, ficam suscetíveis as condições adversas.

Tabela 5 - Estatísticas do inventário de biomassa e carbono para regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR

Estatísticas	Biomassa				Carbono				
	≥ 30cm	Herbáceas	<30cm	Total	≥ 30cm	Herbáceas	< 30cm	Total	
Mínimo (t.ha ⁻¹)	0,0214	0,0072	0,0008	0,2348	0,0085	0,0025	0,0004	0,0884	
Máximo (t.ha ⁻¹)	2,5104	3,4805	0,3805	3,5019	1,0237	1,3106	0,1440	1,3192	
Média (t.ha ⁻¹)	0,5019	0,6707	0,0722	1,2376	0,2077	0,2567	0,0286	0,4902	
Variância (t.ha ⁻¹) ²	0,2227	0,5947	0,0064	0,5389	0,0377	0,0864	0,0010	0,0798	
Desvio Padrão (t.ha ⁻¹)	0,4719	0,7712	0,0803	0,7341	0,1942	0,2939	0,0310	0,2826	
Coefficiente de Variação (%)	94,02	114,99	111,18	59,31	93,50	114,47	108,27	57,65	
Erro Amostral (t.ha ⁻¹)	0,0502	0,0671	0,0072	0,1238	0,0208	0,0257	0,0029	0,0490	
Erro Padrão (t.ha ⁻¹)	0,0862	0,1408	0,0147	0,1340	0,0355	0,0537	0,0057	0,0516	
Variância da Média (t.ha ⁻¹) ²	0,0074	0,0198	0,0002	0,0180	0,0013	0,0029	0,0000	0,0027	
Erro Absoluto (t.ha ⁻¹)	0,1762	0,2880	0,0300	0,2741	0,0725	0,1097	0,0116	0,1055	
Erro Relativo (%)	35,11	42,94	41,52	22,15	34,91	42,74	40,43	21,53	
Intervalo de Confiança (t.ha ⁻¹)	Inferior	0,3257	0,3827	0,0422	0,9635	0,1352	0,1470	0,0170	0,3847
	Superior	0,6781	0,9586	0,1022	1,5117	0,2802	0,3665	0,0402	0,5957

3.3 Modelagem de biomassa e carbono

Na Tabela 6 estão apresentadas as equações alométricas selecionadas para estimar a biomassa e carbono para a categoria de plântulas ≥ 30 cm, juntamente com o fator de correção de Meyer (FM) para equações logarítmicas, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa ($Syx\%$). As equações ajustadas nesse estudo apresentaram grande amplitude de variação nas estatísticas de ajuste e precisão. No entanto, quando comparada as estimativas de biomassa e carbono feita pela mesma equação, nota-se desempenho semelhante, com valores ligeiramente superiores para as equações de biomassa.

Tabela 6 - Modelos alométricos ajustados para estimar a biomassa e o carbono para o estrato arbóreo em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR

Eq.	Coeficientes					FM	R^2_{aj}	$Syx\%$
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4			
Biomassa								
1	-0,27157	0,03976	4,88E ⁻⁶	-	-	-	0,666	54,36
2	-0,83874	0,88784	4,41E ⁻⁶	0,02713	-	-	0,527	64,65
3	-0,12270	0,74403	3,21E ⁻¹¹	0,00043	-	-	0,594	59,88
4	-13,30975	1,21511	0,43945	-	-	1,19263	0,793	63,31
5	-13,78574	1,10914	0,88735	1,31520	-	1,20016	0,786	64,31
6	-16,23594	1,34385	0,56111	-0,09989	-	1,19292	0,841	55,49
7	-8,79861	0,46350	0,70428	-	-	1,21701	0,753	69,07
8	-16,55581	1,64853	1,22009	1,17668	-0,29602	1,20147	0,839	55,84
Carbono								
1	-0,11061	0,01623	2,05E ⁻⁶	-	-	-	0,657	54,75
2	-0,34215	0,34510	1,88E ⁻⁶	0,01142	-	-	0,524	64,52
3	-0,04725	0,28960	1,36E ⁻¹¹	0,00018	-	-	0,585	64,23
4	-14,42394	1,22853	0,44871	-	-	1,19362	0,791	63,36
5	-15,23847	1,04720	0,91188	1,39981	-	1,20007	0,785	60,20
6	-17,66295	1,37104	0,58337	-0,11056	-	1,19429	0,836	56,20
7	-9,83087	0,45904	0,72107	-	-	1,21799	0,737	71,13
8	-17,85859	1,55738	1,22661	1,26879	-0,27999	1,20217	0,830	57,23

A estatística de ajuste R^2_{aj} apresentou grande amplitude de variação, onde os menores valores foram obtidos nas equações aritméticas. Esse resultado indica que as variáveis independentes, quando não transformadas, não foram capazes de explicar satisfatoriamente as variações de biomassa e carbono devido à alta variabilidade dos dados. Quanto ao $Syx\%$, foram obtidos valores elevados para todas as equações ajustadas, porém, as equações logarítmicas resultaram em valores ligeiramente mais baixos para essa estatística.

Analisando os gráficos de resíduos para as estimativas de biomassa (Figura 2) e carbono (Figura 3), é possível notar que todas as equações proporcionaram estimativas tendenciosas, principalmente em superestimar a variável dependente.

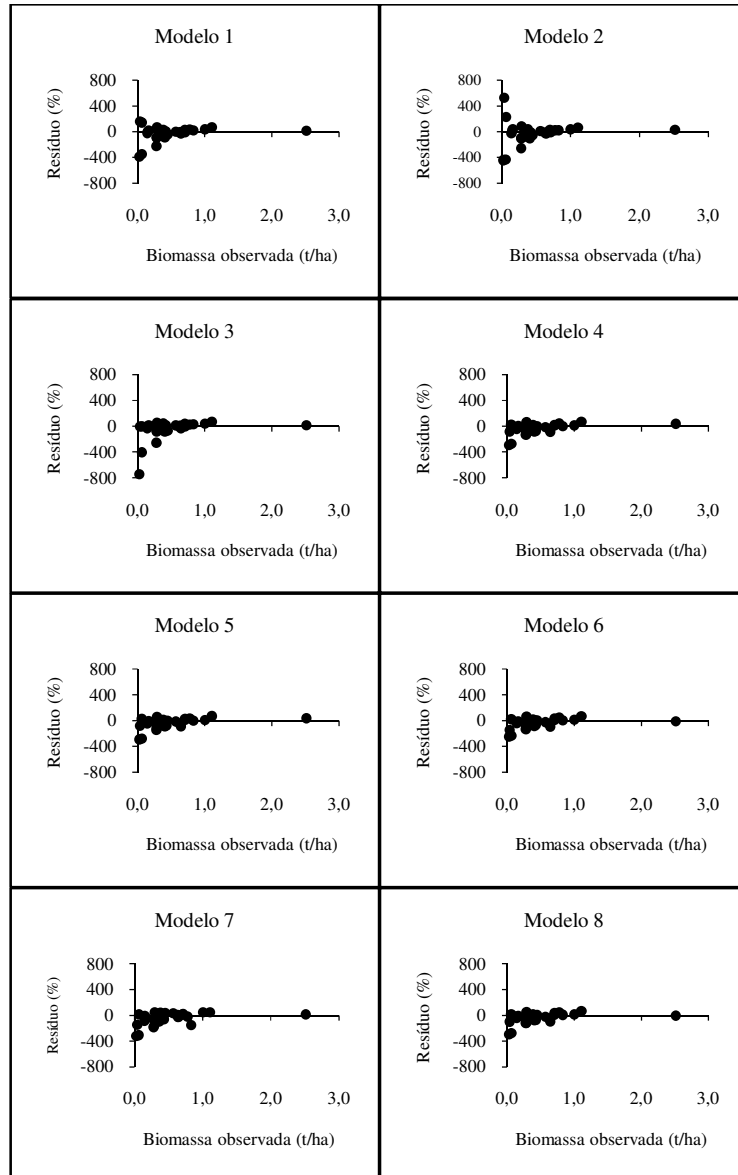


Figura 2 - Dispersão gráfica de resíduos para os modelos testados para estimar biomassa da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR.

Os maiores valores de dispersões são provenientes das equações aritméticas 1, 2 e 3, indicando que estes modelos não são adequados para se fazer estimativas de biomassa e carbono da regeneração natural.

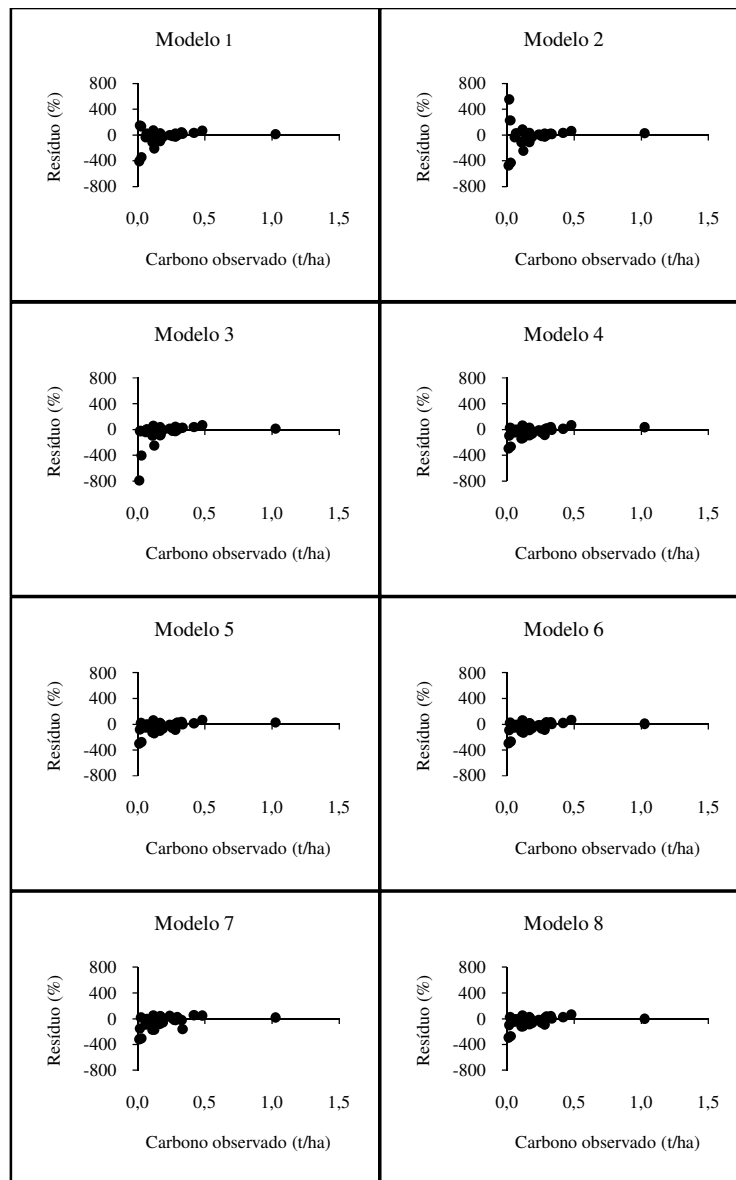


Figura 3 - Dispersão gráfica de resíduos para os modelos testados para estimar carbono da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR.

Os gráficos de resíduos também mostraram que as equações ajustadas não apresentaram dispersão residual ao longo de toda linha estimativa, tanto para biomassa quanto para carbono. De modo geral, a dispersão dos resíduos se concentrou nos menores valores observados, enquanto um único valor alto para estas variáveis foi encontrado, esse fato pode conduzir a valores elevados para R^2_{aj} , não condizendo com a realidade. Resultado semelhante foi obtido por Téó et al. (2009) na modelagem de micronutrientes da espécie *Mimosa scabrella*, na região Metropolitana de Curitiba, PR. Os autores afirmaram que este tipo de situação pode implicar em valores fictícios para esta estatística e que apenas um único valor pode fazer com que a equação ajustada não represente a verdadeira tendência de aumento ou diminuição da variável dependente em função das variáveis independentes, já que não há repetição para os valores mais altos.

O Modelo 6 foi selecionado como o mais adequado para estimar a biomassa e carbono da regeneração natural da categoria plântulas ≥ 30 cm. Essa equação apresentou bom desempenho nas estatísticas de ajuste e precisão, além de dispersão gráfica dos resíduos com menor tendenciosidades, quando comparada com as demais equações. O procedimento *Stepwise* resultou na equação com o maior número de variáveis independentes, como pode ser observado no Modelo 8, onde foi selecionada para compor o modelo as variáveis diâmetro do colo médio, diâmetro da copa médio, densidade e área basal, todas em sua forma logarítmica.

A inserção das variáveis diâmetro do colo médio e diâmetro de copa médio resultavam em estimativas mais precisas no ajuste das equações, principalmente quando usadas de forma combinada. A melhoria no desempenho das estimativas está diretamente relacionada a maior correlação dessas variáveis com a biomassa e carbono. Por outro lado, a variável altura total média não consta em nenhum dos modelos selecionados, mesmo apresentando correlação significativa (para 95% de probabilidade).

É possível observar que a variável diâmetro é comumente utilizada em estimativas de biomassa e carbono. Ribeiro (2010) ajustou diversos modelos alométricos para estimar a biomassa e carbono de espécies da Floresta Amazônica na região de Manaus, AM. Diferente do presente estudo, para categoria de regeneração natural, equivalente as plantas com altura de 30 a 50 cm, as melhores estimativas foram obtidas a partir da equação com diâmetro de colo e altura total como variáveis independentes. Chave et al. (2005) encontraram melhores estimativas do estoque de carbono em Florestas Tropicais usando o modelo alométrico composto das variáveis diâmetro à altura do peito e altura total. Por outro lado, Sanquetta et al. (2014b) alcançaram estimativas precisas de carbono em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze usando somente a variável diâmetro à altura do peito. Resultado semelhante também foi encontrado por Melo et al. (2014), onde o diâmetro à altura do peito proporcionou estimativas eficientes, tanto de biomassa quanto do carbono, para indivíduos de *Tabebuia cassinoides* em Guaratuba, PR.

Conclusões

A maior quantidade de biomassa foi obtida na categoria de plantas herbáceas. Por outro lado, a concentração de carbono presente na regeneração natural foi maior na categoria de plântulas. Este resultado evidencia a importância das florestas em absorver e incorporar o carbono atmosférico.

A relação da biomassa e carbono com as variáveis diâmetro de colo e diâmetro de copa resultaram em correlações satisfatórias, indicando uma grande importância destas variáveis em modelos alométricos para regeneração natural na categoria de plântulas.

Os modelos alométricos aritméticos não foram capazes de assimilar as variações de biomassa e carbono na regeneração natural da categoria de plântulas. Recomenda-se o uso de modelos logarítmicos, devido ao desempenho superior destes nas estimativas, desde que sejam respeitados os limites de variação dos dados.

Para uma avaliação mais apropriada da quantidade de biomassa e carbono presentes em florestas nativas e para geração de estimativa precisas, é necessário que se quantifique o estoque destas variáveis nas diversas categorias da regeneração natural.

FIorentin, L. D.; Dalla Corte, A. P.; Sanquetta, C. R.; Behling, A. Quantification and modelling of biomass and carbon at natural regeneration in the Ombrophylous Mixed Forest area. *Rev. Bras. Biom.* São Paulo, v.33, n.2, p.251-267, 2015.

- **ABSTRACT:** *Quantification and modelling of biomass and carbon at natural regeneration in the Ombrophylous Mixed Forest area. We conducted an inventory of plants components of natural regeneration in Ombrophylous Mixed Forest area where the objective was to assess the relationship among dry biomass and carbon with forest variables. The plants were classified in the following categories: tree seedlings < 30 cm of height, tree seedlings ≥ 30 cm of height and herbaceous. The strongest correlations of biomass and carbon stock were with collar diameter and crown diameter variables. The average carbon content for tree seedlings categories was statistically higher than herbaceous. The highest quantity of biomass and carbon stocked was found in herbaceous plants. The allometric models fitted to biomass and carbon showed satisfactory statistics of precision and adjustment, but always proved unbiased estimates. The natural regeneration has great capacity to stock biomass and carbon sequestration.*
- **KEYWORDS:** *Atlantic forest; forest inventory; allometric models.*

Referências

BURGUER, D.M.; DELITTI, W.B.C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, Campinas, v.8, n.4, p.131-136, 2008.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.G.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, v.145, n.1, p.87-99, 2005.

DURIGAN, M. E. *Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR*. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

DRAPER, N.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 706p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 2009. 397p.

HUSTON, M.A. *Biological Diversity: the coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 671p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro, 2012. 271 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 2).

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; JARSCHER, B.; TEO, S. J.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Relações quantitativas entre variáveis dendrométricas e teores de carbono para *Mimosa scabrella* Bentham da região metropolitana de Curitiba. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.52, p.37-60, 2006.

MELO, L. C.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; HENTZ, A. M. K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.34, n.77, p.21-29, 2014.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. L.; BRENA, A. D. Estruturas e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.1, p.105-119, 2001.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no Município de Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

RIBEIRO, G. H. P. M. *Desenvolvimento de modelos alométricos para estimar biomassa e carbono de mudas de espécies arbóreas, em áreas atingidas por tempestades de vento em Manaus (AM)*. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; DALLA CORTE, A. P.; SIMON, A.; PSCHIEDT H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.12, n.103, p.370, 2014a.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.44, n.1, p.1-8, 2014b.

SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; PINTO, C.; MELO, L.A.N. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in Iguaçu National Park. *Floresta*, Curitiba, v.44, n.2, p.185-194, 2014c.

SANQUETTA, C.R.; WOJCIECHOWSKI J., DALLA CORTE, A.P.; RODRIGUES, A.L. MAAS, G.C.B. *On the use of data mining for estimating carbon storage in the trees*. *Carbon Balance and Management*, v.8, n.6, 2013.

SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. *Forest biomass*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1982. 152p.

SCHIKOWISKI, A. B.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.33, n.75, p.269-278, 2013.

SCHAAF, L. B. *Florística, estrutura e dinâmica no período de 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná*. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. *Florestas do Brasil em Resumo*. Brasília: SFB, 2013. 188p.

SILVA, R. P. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. 88f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais do INPA) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2007.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; REISSMANN, C. B. Modelagem de micronutrientes para *Mimosa scabrella* na região metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n.59, p.15-26, 2009.

WATZLAWICK, L. F. *Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II*. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BAILBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.95, p.353-362, 2012.

Recebido em 03.02.2015

Aprovado após revisão em 23.04.2015