

Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná

Stock of biomass and carbon in the montane mixes shade forest, Paraná

Luciano Farinha Watzlawick¹, Marcos Vinicius Winckler Caldeira², Márcio Viera³,
Mauro Valdir Schumacher⁴, Tiago de Oliveira Godinho⁵ e Rafaelo Balbinot⁶**Resumo**

Objetivou-se estudar a distribuição do estoque de biomassa e carbono orgânico em uma Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no município de General Carneiro, PR. Foram instaladas 20 unidades amostrais de 12 m x 12 m, nas quais todas as árvores com CAP (Circunferência à Altura do Peito) $\geq 31,4$ cm foram abatidas. Com as árvores abatidas obtiveram-se as seguintes informações: altura total, altura comercial (convencionada como o ponto de inversão morfológica na floresta natural e altura do primeiro galho vivo nas plantações), CAP, identificação e coleta de exsicatas no caso das espécies ocorrentes na floresta natural. Para a quantificação da biomassa no sub-bosque e raízes foram instaladas três subunidades de 1 m x 1 m em cada unidade amostral (12 m x 12 m), dispostas no canto inferior esquerdo, centro da diagonal e canto superior direito. Para a quantificação da serapilheira acumulada foram coletadas, de forma aleatória, oito amostras em cada unidade amostral (12 m x 12 m), utilizando-se um gabarito metálico com 0,25 m x 0,25 m. A Floresta Ombrófila Mista Montana apresenta mais de 85% de sua biomassa total e do carbono orgânico total estocado na estrutura vegetal acima do solo. O estoque total de carbono orgânico encontrado neste estudo (104,7 Mg ha⁻¹) demonstra a importância da manutenção e preservação desses ecossistemas naturais como forma de manutenção desse estoque de carbono orgânico fixado na biomassa vegetal.

Palavras-chave: Floresta de araucária, ciclagem de nutrientes, serapilheira

Abstract

The aim of this study was to estimate the stock of biomass and organic carbon in a montane mixed shade forest located near General Carneiro, PR. 20 plots of 12 m x 12 m were installed, in which all trees with a CBH (Circumference at Breast Height) ≥ 31.4 cm were felled. From these the following information was obtained: total height, commercial height (agreed as being the morphological inversion point in the natural forest and the height of the first live branch), CBH, identification and collection of herbarium specimens. For the quantification of biomass in the understory and roots, three subunits 1 m x 1 m in each sampling unit were installed (12 m x 12 m) arranged in the lower left corner, center and diagonal upper right corner. To quantify accumulated litter at random, eight samples in each sampling unit were collected (12 m x 12 m), using a metal device measuring 0.25 m x 0.25 m. The montane mixed shade forest has more than 85% of its total biomass and total organic carbon stored in above ground plant structures. The total stock of organic carbon found in this study (104.7 Mg ha⁻¹) demonstrates the importance of maintaining and preserving natural ecosystems as a way of maintaining this stock of organic carbon fixed in plant biomass.

Keywords: Araucaria forest, nutrients cycling, litter

¹D.Sc. Prof. Setor de Ciências Agrárias e Ambientais. UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Rua Salvador Renna - Padre Salvador, 875 - Santa Cruz, CEP: 85015-430 - Guarapuava /PR. E-mail: luciano.watzlawick@pq.cnpq.br. Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

²D.Sc. Prof. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Centro de Ciências Agrárias - UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Alto Universitário, s/n - Guararema. CP 16, CEP: 29500-00 - Alegre/ES. E-mail: caldeiaramv@pq.cnpq.br. Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq. Autor para correspondência.

³Doutor Pesquisador IV - Fepagro Florestas - Centro de Pesquisas em Florestas - BR 287, Acesso VCR 830, Km 4,5, Caixa Postal 346, CEP: 97001-970 - Boca do Monte, Santa Maria/RS. E-mail: marcio-vieira@fepagro.rs.gov.br.

⁴D.Sc. Prof. Departamento de Ciência Florestal, Centro de Ciências Rurais. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Cidade Universitária "Prof. Mariano da Rocha Filho", Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP 97105-900 - Santa Maria/RS. E-mail: schumacher@pq.cnpq.br. Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

⁵Doutorando em Recursos Florestais. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP - Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Florestais. Caixa Postal 9. CEP: 13400-970. Piracicaba/SP E-mail: godinhoto@hotmail.com. Bolsista Fapesp.

⁶D.Sc. Prof. Departamento de Engenharia Florestal, Campus de Frederico Westphalen. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Rodovia BR 386 - km 40, Linha Sete de Setembro, s/nº, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, RS. E-mail: rbalbinot@smail.ufsm.br.

INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista cobria originalmente cerca de 200.000 km² em todo o Brasil, ocorrendo nos Estados do Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%), além de manchas esparsas no Estado de São Paulo (3%), adentrando até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

O aumento dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera é em função das emissões de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra. Soluções para que sejam evitados ou pelo menos sejam retardados os efeitos que o aquecimento global possa vir a provocar, estão sendo amplamente debatido, tais como: diminuir as emissões atmosféricas de carbono (CO₂) pela queima de combustíveis fósseis; diminuir as emissões atmosféricas de carbono pela queima de florestas e promover os reflorestamentos em larga escala.

Os ecossistemas florestais de acordo com Gardner e Mankin (1981) contêm cerca de 90% da biomassa da terra e cobrem aproximadamente 40% de sua superfície. A floresta apresenta uma elevada capacidade de fixação de CO₂, quando comparado com outras tipologias vegetais.

O interesse em relação ao sequestro de carbono em florestas plantadas tem crescido, em razão de sua elevada taxa de crescimento e grande capacidade de fixar o dióxido de carbono da atmosfera. Já em florestas naturais, o interesse existe, mas não é tão acentuado devido às mesmas não serem contempladas pelo Protocolo de Quioto, porém a principal abordagem que está sendo discutida no momento é o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação, conhecido como REDD, cujo principal objetivo é compensar os esforços em prol da conservação florestal.

Mesmo as florestas naturais não estando contempladas no protocolo não invalidam, nem merece a importância da participação das mesmas no processo de fixação de carbono, através da conservação das florestas com o manejo sustentado. Cabe ressaltar que o uso do manejo sustentado nas florestas, em geral, geram benefícios ambientais pela conservação da floresta e de toda a sua biodiversidade e também de benefícios socioeconômicos, pela geração de emprego e renda, bem como através da recomposição de áreas degradadas, filtros biológicos para purificação da água ou a realização de projetos que se relacionem com extrativismo de produtos não madeiráveis.

Nesse sentido, objetivou-se estudar a distribuição dos estoques de biomassa e carbono orgânico em uma Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no município de General Carneiro, PR.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas 26° 20' 35" e 26° 26' 13" Sul, e 51° 19' 49" e 51° 25' 29" Oeste, no município de General Carneiro/PR. O fragmento florestal estudado possui uma área total de 4.210,75 ha.

O clima da região, conforme classificação de Köppen é caracterizado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), tendo os verões frescos e os invernos com a ocorrência de severas geadas, não possuindo estações secas. As médias das temperaturas dos meses mais quentes são inferiores a 22 °C e dos meses mais frios superiores a 18 °C (PARANÁ, 1987).

Na área há predomínio de Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos (PARANÁ, 1987). As características topográficas dividem-se em plano, ondulada e montanhosa, sendo a última de maior predominância.

Em trabalho realizado por Watzlawick *et al.* (2005) a Floresta Ombrófila Mista em questão possui 597 árvores ha⁻¹, com uma área basal 39,01 m² ha⁻¹ com 39 espécies arbóreas, pertencentes a 31 gêneros, distribuídos em 21 famílias botânicas, sendo que os gêneros que apresentaram o maior número de espécies foram: *Ilex* (4), *Ocotea* (3), *Myrsine* (2), *Sebastiania* (2) e *Symplocos* (2). As famílias que mais se destacaram foram: Lauraceae (5), Aquifoliaceae (4), Myrtaceae, Sapindaceae e Euphorbiaceae (3), as demais famílias possuem dois ou um representante. Já a análise da estrutura horizontal da floresta possibilitou constatar que as espécies com maior valor de importância são: *Ocotea porosa* (Ness & Mart.) Barroso (38,86%), *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (37,36%), *Ilex paraguariensis* A. St. - Hil. (17,42%), *Myrsine ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez (13,19%) e *Styrax leprosus* Hook. & Arn. (13,14%).

Determinação da biomassa e carbono orgânico

Na vegetação arbórea foram instaladas 20 unidades amostrais de 12 m x 12 m, nas quais todas as árvores com CAP (Circunferência à Altura do Peito) ≥ 31,4 cm foram abatidas. Com as árvores abatidas obtiveram-se as seguintes infor-

mações: altura total, altura do Ponto de Inversão Morfológica (VANINI, 2009) (assumida também como altura comercial), CAP, identificação e coleta de exsicatas das espécies ocorrentes na floresta natural.

Em relação à instalação de unidades amostrais em trabalhos dessa natureza, segundo Silveira *et al.* (2008) observam que os resultados das amostragens destrutivas são por vezes questionados. Brown *et al.* (1989) afirmam que os métodos diretos fornecem estimativas muito polêmicas, em função das estimativas estarem fundamentadas em poucas e pequenas parcelas. Do mesmo modo, Fearnside (1991) e Higuchi e Carvalho Júnior (1994) contestam as críticas feitas por Brown *et al.* (1989) observando que os métodos indiretos são menos tendenciosos, mas suas estimativas, por outro lado, ficam muito aquém de todos os valores já obtidos por meio dos métodos diretos. Portanto, as estimativas indiretas da biomassa são muito mais rápidas e baratas, porém sua precisão tende a ser inferior (FEARNSIDE *et al.*, 1993; HIGUCHI *et al.*, 1998; PARRESOL, 1999; SEGURA; KANNINEN, 2005).

O uso de equações para estimar a biomassa é essencial, porém, infelizmente, nem todas as áreas tem equações alométricas bem desenvolvidas (VIEIRA *et al.* 2008). Estas equações alométricas (método indireto) são fundamentadas em árvores cortadas (método direto) (BROWN, 1997; CHAVE *et al.* 2005), que são a fonte de informação sobre DAP e altura total (ABDALA *et al.*, 1998; BROWN *et al.* 1989; DELITTI *et al.*, 2006; KING, 1996). Portanto, os métodos indiretos devem ser empregados conjuntamente com os métodos diretos (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

Depois de abater cada árvore, os componentes da biomassa foram separados em fuste com casca, galhos vivos, galhos mortos, folhas ou acículas e miscelânea. Estes eram pesados separadamente utilizando-se balança com capacidade para 500 kg, obtendo-se o peso verde de biomassa para cada componente.

Para a amostragem do fuste (madeira + casca), foram retirados dois discos: o primeiro 0,50 cm acima do solo e o segundo 0,50 cm abaixo do ponto de inversão morfológica. Nos discos amostrados do fuste, separou-se a casca da madeira, obtendo-se assim o peso de cada componente separadamente. A quantificação do peso total da casca foi realizada por relações de fator de casca.

Nas amostragens de galhos vivos e galhos mortos, foram retiradas amostras em todos os diâmetros e a todas as alturas da copa. Para as folhas ou acículas, foram retiradas amostras na ponta, meio e base da copa. A miscelânea foi amostrada levando-se em consideração a representatividade da amostra.

Para a quantificação da biomassa no sub-bosque e raízes foram instaladas três subunidades de 1 m x 1 m em cada unidade amostral (12 m x 12 m), dispostas no canto inferior esquerdo, centro da diagonal e canto superior direito. Nestas unidades foi abatida toda a vegetação do sub-bosque com CAP \leq 10 cm, sendo também realizada a quantificação das raízes, cavando-se trincheiras com 1 m x 1 m e 0,5 - 0,6 m de profundidade (BARICHELLO *et al.*, 2005; CALDEIRA *et al.*, 2008; COTTA *et al.*, 2008), que é a principal zona de enraizamento (JACKSON *et al.*, 1996), retirando-se todas as raízes com diâmetro superior a 1 cm. Também foram retiradas amostras representativas, tanto da vegetação arbustiva e sub-bosque como das raízes com finalidade de determinação do teor de umidade e carbono.

Para a quantificação da serapilheira acumulada foram coletadas, de forma aleatória, oito amostras em cada unidade amostral (12 m x 12 m), utilizando-se um gabarito metálico com 0,25 m x 0,25 m (BRUN *et al.*, 2011; CALDEIRA *et al.*, 2008; GODINHO, 2011).

Todas as amostras, exceto da serapilheira acumulada, foram pesadas no campo em balança digital com precisão de 0,1 g, para posterior determinação em laboratório do teor de umidade e carbono. Todo o material amostrado dos diversos componentes foi acondicionado em sacos de papel, devidamente identificados e enviados ao Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. No laboratório, as amostras foram secas em estufa de renovação e circulação de ar a uma temperatura constante de 70 °C até atingir peso constante, para posterior determinação de peso seco e preparação para análise química do teor de carbono orgânico de acordo com o método Walkley-Black, com calor externo, proposto por Tedesco *et al.* (1995).

Com base na biomassa verde e teores de umidade para cada componente de cada árvore abatida, determinaram-se a biomassa seca em cada unidade amostral. A determinação do estoque de carbono orgânico foi baseada na multiplicação da biomassa seca de cada componente pelo seu respectivo teor de carbono.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biomassa e carbono orgânico na vegetação arbórea

Pode-se analisar que ocorreu um comportamento diferenciado entre as unidades amostrais, fato esse pelos diferentes estágios sucessionais em que se encontra a floresta (Tabelas 1 e 2).

A biomassa média estocada pela floresta foi 250,90 Mg ha⁻¹, sendo deste 104,17 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico, correspondendo a 41,52% da biomassa total. Desse total, as espécies que mais contribuíram foram: *Ocotea porosa*, *Araucaria angustifolia*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Ocotea pulchella*, *Cupania vernalis* e *Nectandra megapotamica* as quais contribuem com 70,43% de biomassa arbórea. Desse valor, 52,23% é contribuição de *Ocotea porosa* (29,09%) e *Araucaria angustifolia* (23,14%). A contribuição efetiva dessas duas espécies em relação às demais é devido às mesmas possuírem os maiores IVI (38,86 e 37,36%, respectivamente), conforme Watzlawick *et al.* (2005).

A distribuição da biomassa acima do solo seguiu a seguinte ordem decrescente: galhos vivos (45,01%) > madeira do fuste (40,53%) > casca do fuste (9,99%) > folha (2,40%) > galhos mortos (1,16%) > miscelânea (0,97%). Em algumas

unidades amostrais a produção de galhos vivos foi superior a de madeira do fuste. Isso decorre em função da metodologia utilizada, pois foi considerada como galho a porção a partir do ponto de inversão morfológica.

Em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Socher *et al.* (2008) estudando plantas com CAP ≥ 15 cm, encontraram uma densidade de 5.400 indivíduos ha⁻¹, com uma biomassa arbórea de 169,85 Mg ha⁻¹, sendo que os componentes que mais contribuíram foram a madeira (52,84%), galhos grossos (35,19%), galhos finos (5,13%), casca (4,36%), folhas (2,12%) e miscelânea (epífitas vasculares, epífitas avasculares, frutos, sementes e outros) (0,36%). Vogel *et al.* (2006) em Floresta Estacional Decidua, estimou uma biomassa acima do solo com diâmetro a altura do peito ≥ 10 cm, de 210,0 Mg ha⁻¹, distribuídos proporcionalmente nos componentes: galhos (48,8%), madeira do fuste (43,3%), casca do fuste (5,4%) e folhas (2,4%). Entretanto, Brun (2004) encontrou em Floresta Estacional Decidua Secundária, em Santa Tereza, RS, uma biomassa média de 157,6 Mg.ha⁻¹ (incluindo extrato arbustivo, herbáceo e lianas), sendo que a maior parte na madeira (52,41%) e galhos (28,4%).

Tabela 1. Biomassa (Mg ha⁻¹) na Floresta Ombrófila Mista Montana, General Carneiro – PR, Brasil.

Table 1. Biomass (Mg ha⁻¹) in the Montane Mixed Shade Forest, General Carneiro – PR, Brazil.

Unidade Amostral	Componentes da biomassa							Total
	Folhagem	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	Miscelânea	
1	0,91	11,18	0,08	1,17	35,07	12,52	0,30	61,23
2	1,08	8,68	0,50	5,99	36,80	12,58	0,07	65,70
3	2,49	13,44	0,47	10,2	27,5	14,32	0,19	68,61
4	1,33	23,61	0,09	3,89	25,55	15,57	0,03	70,07
5	2,22	21,39	1,15	5,08	26,86	20,43	0,22	77,35
6	2,31	33,17	0,08	3,83	29,45	25,66	0,25	94,75
7	6,10	26,61	0,46	9,52	34,56	28,99	0,48	106,72
8	3,61	71,84	4,69	4,84	40,25	29,20	0,44	154,87
9	6,58	25,36	2,33	33,86	74,71	30,93	0,16	173,93
10	10,26	23,94	1,46	43,49	64,72	31,27	0,42	175,56
11	2,41	70,17	2,64	6,06	78,67	37,58	1,73	199,26
12	3,67	87,99	14,21	8,98	84,61	39,12	0,72	239,30
13	4,96	140,75	2,63	6,11	76,68	39,25	4,10	274,48
14	5,54	143,47	3,16	16,59	104,85	40,61	3,87	318,09
15	13,11	144,88	4,36	40,35	132,38	48,95	2,16	386,19
16	9,18	202,56	2,71	22,15	105,21	60,85	2,97	405,63
17	4,84	211,41	1,71	19,45	152,08	64,71	4,27	458,47
18	2,53	252,15	1,74	2,72	130,03	64,97	9,50	463,64
19	9,78	225,34	2,49	24,20	194,30	77,95	2,66	536,72
20	8,19	130,49	3,20	155,78	271,47	113,38	5,01	687,52
\bar{x} (média)	5,06	93,42	2,51	21,21	86,29	40,44	1,98	250,90
S (desvio padrão)	3,49	81,50	3,08	34,13	64,71	25,47	2,43	183,97
IC*	5,06 ± 1,98	93,42 ± 46,27	2,51 ± 1,75	21,21 ± 19,38	86,29 ± 36,74	40,44 ± 14,46	1,98 ± 1,38	250,90 ± 117,69

*Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

Tabela 2. Carbono (Mg ha⁻¹) na Floresta Ombrófila Mista Montana, General Carneiro – PR, Brasil.
Table 2. Carbon (Mg ha⁻¹) in the Montane Mixed Shade Forest, General Carneiro – PR, Brazil.

Unidade Amostral	Componentes da biomassa							Total
	Folhagem	Galhos Vivos	Galhos Mortos	Casca do Fuste	Madeira do Fuste	Raízes	Miscelânea	
1	0,40	4,60	0,03	0,44	14,23	4,61	0,05	24,36
2	0,96	8,26	0,58	2,02	10,78	4,96	0,09	27,65
3	0,59	9,63	0,03	1,53	10,94	5,52	0,01	28,25
4	0,47	3,61	0,22	2,45	16,21	6,62	0,03	29,61
5	0,97	13,31	0,03	1,56	12,22	7,73	0,09	35,91
6	2,54	10,91	0,20	3,86	14,85	9,18	0,19	41,73
7	1,65	35,69	6,05	3,58	35,51	11,16	0,29	93,93
8	1,59	29,52	1,98	1,91	17,52	11,52	0,59	64,63
9	2,49	13,44	0,47	10,2	27,5	11,56	0,19	65,85
10	2,75	10,35	0,95	13,71	32,5	12,03	0,06	72,35
11	4,26	9,83	0,59	17,68	28,5	12,20	0,16	73,22
12	0,98	28,12	1,02	2,26	32,28	14,06	0,66	79,38
13	2,24	57,49	1,12	2,50	32,64	14,63	1,67	112,29
14	2,39	58,22	1,35	6,75	45,11	15,01	1,87	130,70
15	5,49	59,13	1,86	16,57	57,64	15,94	0,84	157,47
16	3,99	82,86	1,17	9,04	45,35	24,80	1,21	168,42
17	0,99	100,29	0,67	0,98	52,53	25,07	3,59	184,12
18	2,21	86,74	0,72	8,05	64,27	26,10	1,74	189,83
19	4,24	91,21	1,04	9,43	81,64	26,19	1,06	214,81
20	3,47	54,14	1,38	63,45	118,59	45,88	1,96	288,87
x	2,01	35,91	1,02	8,12	35,02	14,69	0,87	104,17
S	1,45	32,65	1,30	13,88	27,36	10,55	0,94	74,57
IC*	2,01 ± 0,82	35,91 ± 18,53	1,02 ± 0,74	8,12 ± 7,88	35,02 ± 15,53	14,69 ± 5,99	0,87 ± 0,54	104,17 ± 47,70

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

As espécies que mais contribuíram na produção de galhos vivos foram: *Ocotea porosa* (37,58%), *Campomanesia xanthocarpa* (10,37%), *Araucaria angustifolia* (8,22%), *Ocotea puberula* (5,31%) e *Allophylus edulis* (4,73%). No entanto com relação à produção de galhos mortos as espécies *Ocotea porosa* (43,03%), *Araucaria angustifolia* (15,62%), *Mimosa scabrella* (8,23%), *Nectandra megapotamica* (4,17%) e *Campomanesia xanthocarpa* (3,51%) foram as espécies que mais contribuíram. Ressalta-se que a percentagem de produção de galhos mortos em *Mimosa scabrella* Benth. é devida aos indivíduos que foram abatidos estarem em estágio de senescência.

A casca foi o terceiro componente de maior produção de biomassa arbórea, sendo que desta produção as espécies que mais contribuíram foram *Araucaria angustifolia* (68,03%) e *Ocotea porosa* (11,50%). No que se refere somente à biomassa produzida por *Araucaria angustifolia* (48,70 Mg ha⁻¹), o fuste corresponde a 49,04%, a casca 29,38%, os galhos vivos a 15,98% e o restante composto pelas demais partes. Porém, quando se trata de *Ocotea porosa*, as percentagens são diferentes, ou seja: a biomassa total de 61,23 Mg ha⁻¹, onde a maior contribuição está relacio-

nada à quantidade de galhos vivos (58,15%), pelo fuste (33,34%) e a casca (3,95%).

Cabe ressaltar, como anteriormente comentado, que a grande contribuição de galhos vivos em algumas espécies em relação ao total da biomassa, como *Ocotea porosa* (58,15%), *Mimosa scabrella* (56,13%), *Nectandra megapotamica* (43,83%), *Campomanesia xanthocarpa* (60,94%), *Ilex microdonta* (58,89%), *Myrsine ferruginea* (45,59%) e *Myrsine umbellata* (47,72%) é decorrente da metodologia utilizada, na qual foi considerada como galhos vivos a porção a partir do ponto de inversão morfológica.

A folhagem contribuiu com 2,40% em relação à biomassa arbórea da parte aérea, valor que se pode considerar semelhante aos encontrados por Golley *et al.* (1971), que variaram entre 2,18 e 3,26%, em levantamentos realizados na Floresta Tropical Úmida. Com relação à biomassa quantificada na folhagem 5,06 Mg ha⁻¹, valor este para as 39 espécies amostradas, 3,39 Mg ha⁻¹ (66,99%) corresponde a biomassa produzida pela *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa*.

Segundo Sanchez (1976), de maneira geral, em média as folhas contribuem entre 4 a 6% em relação à biomassa total. Observam-se diferenças na distribuição percentual da folhagem na

Floresta Ombrófila Mista Montana em relação a outros tipos de floresta, como por exemplo, na Floresta Pluvial Tropical, na Colômbia, com 1,67% de contribuição (RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, 1988). Esta diferença pode ser atribuída à composição florística, sazonalidade das espécies, bem como o diâmetro mínimo considerado nos levantamentos. Ressalta-se que o trabalho realizado considerou como diâmetro mínimo DAP $\geq 3,0$ cm (CAP $> 9,43$ cm).

Em relação à biomassa arbórea, a miscelânea teve uma contribuição de 0,97%, valor este que foi a metade do encontrado por Rodríguez Jiménez (1988), porém superior ao valor encontrado de 0,36% por Socher *et al.* (2008).

Ao quantificar biomassa e carbono orgânico em Floresta de Terra Firme e Floresta Alagável, Resende *et al.* (2001) encontraram, respectivamente, 165,32 e 134,81 Mg ha⁻¹ de biomassa, 73,29 e 61,61 Mg ha⁻¹ de carbono, distribuídos nos componentes, tronco, galhos, folhas e casca.

O sistema radicular do Cerrado quantificado por Resende *et al.* (2001) apresentou valores de biomassa de 4,85 Mg ha⁻¹ e carbono 2,20 Mg ha⁻¹, valores estes bem inferiores aos encontrados no presente trabalho. As diferenças relacionam-se em função das tipologias serem diferentes, bem como, diferenças no sistema radicular, dentre muitos outros fatores que afetam o desenvolvimento das raízes.

A biomassa total produzida e quantificada está dentro da faixa de estudo realizado em quarenta ecossistemas florestais tropicais e subtropicais de todas as altitudes e regiões hídricas (BROWN; LUGO, 1982). Os mesmos autores afirmam que a biomassa florestal oscila entre 40 a 518 Mg ha⁻¹ e apresenta uma relação com o índice climático (relação entre temperatura/precipitação), alcançando valores máximos em Floresta Tropical Úmida e diminuindo em condições muito úmidas ou mais secas.

Levando em consideração o estudo realizado por Sanchez (1976), a unidade florestal estudada pode ter atingido o seu clímax, as florestas tropicais naturais, neste estágio, podem acumular entre 200 e 400 Mg ha⁻¹ de biomassa. Em geral, as Florestas Tropicais Úmidas produzem biomassa < 250 Mg ha⁻¹, por conseguinte, somente uma minoria, pode produzir cerca de 400 Mg ha⁻¹ (BROWN; LUGO, 1990; LUGO; BROWN, 1986).

De uma maneira geral, a produção total de biomassa (250,90 Mg ha⁻¹), bem como de cada componente do ecossistema Floresta Ombrófila Mista Montana em relação a Floresta Tropical

Úmida de Rio Sabana, Panamá (276,13 Mg ha⁻¹) e a Floresta Tropical Úmida Baixo Montana, Panamá (284,07 Mg ha⁻¹) estão na mesma ordem de grandeza, ou seja, próximas de 300 Mg ha⁻¹ (GOLLEY *et al.*, 1978).

Os fatores que influenciam na produção de biomassa das populações florestais tropicais ainda não estão bem elucidados. Florestas sob as mesmas condições edafoclimáticas, apresentam diferenças na produção de biomassa. Alguns estudos relacionam a produção com os fatores climáticos, mas poucos estudos relacionam a produção com os fatores do sítio (Lugo *et al.*, 1988). De acordo com Gonçalves *et al.* (2000) grandes diferenças em necessidades totais de nutrientes são mais frequentes entre espécies do que entre variações genotípicas de uma mesma espécie.

Biomassa e carbono orgânico no sub-bosque e serapilheira acumulada

As diferenças na produção de biomassa da vegetação no sub-bosque e na serapilheira acumulada entre as unidades amostrais mostram a complexidade que a Floresta Ombrófila Mista apresenta em termos de estrutura, composição florística, local e condições edafoclimáticas (Tabela 3). Nesse sentido, comparações com trabalhos similares tornam-se difíceis em função da pouca existência de literatura que verse sobre o assunto. Quando da existência de trabalhos, porém em ecossistemas diferentes, as dificuldades passam a ser em função das diferentes metodologias utilizadas.

Socher *et al.* (2008) realizaram estudo de biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial considerando a regeneração (maior que 1,30 m de altura), vegetação herbácea e regeneração (menor que 1,30 m de altura), encontrando respectivamente 20,08 Mg ha⁻¹, 758,44 kg ha⁻¹ e 448,55 kg ha⁻¹. Pode-se perceber que a biomassa é similar à deste estudo (21,85 Mg ha⁻¹), se considerar os três valores como sub-bosque.

A quantificação de biomassa e carbono na vegetação do sub-bosque realizada por Resende *et al.* (2001) levaram em consideração os indivíduos com DAP < 15 cm. Para a Floresta de Terra Firme, os autores encontraram valores médios de biomassa e carbono de 44,91 e 20,66 Mg ha⁻¹, respectivamente, enquanto que para a Floresta Alagável 47,13 e 20,91 Mg ha⁻¹.

A serapilheira acumulada apresentou grande variação entre as unidades amostrais. De acordo com O'Connell e Sankaran (1997), Caldeira *et al.* (2008) e Godinho (2011) a variação na

quantidade de serapilheira acumulada nos solos florestais entre as diferentes plantações tropicais expressa a influência dominante das características das espécies, idade dos povoamentos, taxa de incremento, condições climáticas, propriedades do solo, intensidade da cobertura florestal, bem como do estágio sucessional. Taxas de serapilheira acumulada em solo estabelecidos com espécies florestais podem variar significativamente entre diferentes espécies no mesmo sítio, conseqüentemente ocorre uma variação do carbono orgânico.

Tabela 3. Biomassa e carbono orgânico no sub-bosque e serapilheira acumulada (Mg ha^{-1}) na Floresta Ombrófila Mista Montana, General Carneiro – PR, Brasil.

Table 3. Carbon and biomass in litter and understory (Mg ha^{-1}) in the Montane Mixed Shade Forest, General Carneiro – PR, Brazil.

Unidade Amostral	Sub-bosque		Serapilheira	
	Biomassa	Carbono	Biomassa	Carbono
1	2,30	0,83	2,69	0,99
2	2,85	1,12	2,90	1,02
3	5,17	2,03	4,88	1,93
4	5,71	2,20	5,71	2,23
5	6,73	2,61	6,48	2,49
6	8,20	3,16	7,16	2,58
7	12,91	5,02	7,24	2,79
8	14,21	5,44	7,32	2,80
9	14,59	5,75	7,50	2,83
10	16,45	6,61	7,54	2,84
11	19,39	7,36	7,62	2,87
12	22,00	9,20	7,70	2,89
13	23,58	9,42	7,98	2,96
14	29,31	11,99	8,07	3,09
15	29,55	12,39	8,89	3,61
16	30,73	12,44	9,17	3,67
17	31,43	12,52	10,71	4,05
18	33,97	13,20	11,84	4,19
19	47,04	19,17	13,74	5,20
20	80,83	31,77	15,05	6,07
x	21,85	8,71	8,01	3,06
S	18,46	7,36	3,09	1,21
IC*	21,85 ± 10,48	8,71 ± 4,18	8,01 ± 1,75	3,06 ± 0,69

* Intervalo de confiança ao nível de 99% de probabilidade.

Além do estágio sucessional e dos fatores citados acima, outros podem influenciar na serapilheira acumulada, conforme O'Connell e Sankaran (1997): baixo nível de nutrientes na serapilheira e no solo; condições desfavoráveis para a decomposição como déficit de água no solo e na serapilheira, temperaturas muito altas ou baixas, pH alto ou baixo; propriedades físico-químicas da serapilheira como folhas, conteúdo de substâncias (lignina, celulose, hemicelulose); baixa densidade

da população de organismos decompositores e época de coleta.

Socher *et al.* (2008) na Floresta Ombrófila Mista Aluvial encontraram $4,36 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor inferior ao do presente estudo. As quantidades médias de serapilheira acumulada e carbono orgânico não foram similares àquelas observadas por Golley *et al.* (1971) em uma floresta secundária, Panamá. Cunha (1997) realizou estudo de biomassa na serapilheira acumulada em Floresta Estacional, Rio Grande do Sul, em diferentes estágios de sucessão: capoeira com 13 anos, capoeirão com 19 anos e floresta secundária com mais de 30 anos, nas quais foram encontrados os seguintes valores: 4,2; 5,6 e $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Brun *et al.* (2001) também em Floresta Estacional Decidual, Rio Grande do Sul, encontraram $5,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serapilheira acumulada em capoeirão, $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ em floresta secundária e $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ em floresta madura.

A biomassa de carbono orgânico na serapilheira acumulada é similar aos valores encontrados por Resende *et al.* (2001) para as Floresta Alagável, Floresta de Terra Firme e Cerrado, a qual foi, respectivamente, 3,89; 4,54 e $2,56 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Estudo realizado por Watzlawick *et al.* (2002) na Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro constatou não existir diferença marcante na quantidade de carbono na serapilheira acumulada entre os diferentes estágios sucessionais, possuindo 2,99; 3,30 e $2,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente no estágio inicial, intermediário e avançado na floresta. Portanto, a queda de folhas e galhos, é um processo fisiológico complexo influenciado por fatores internos e externos como luz, umidade, temperatura, vento, fatores edáficos, poluentes atmosféricos, insetos, doenças, competição entre folhas novas e velhas (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996), fator genético (ZANCHETA; TIMONI, 1993), geadas e em função da disponibilidade hídrica.

É possível analisar que 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 total de biomassa e de carbono em um ecossistema florestal. Desta forma, 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-se assim comparações entre os diferentes ecossistemas florestais.

CONCLUSÃO

Para o presente estudo em questão a Floresta Ombrófila Mista Montana apresenta mais de 85% de sua biomassa total e do carbono orgânico total estocado na estrutura vegetal acima do solo.

O estoque total de carbono orgânico encontrado neste estudo ($104,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) demonstra a importância da manutenção e preservação desses ecossistemas naturais como forma de manutenção desse estoque de carbono orgânico fixado na biomassa vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, G.C., CALDAS, L.S., HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, São Paulo, v.2, n.1, p.11-13, 1998.
- BARICHELLO, L.R.; SCHUMACHER, M.V.; VOGEL, H.L.M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wind. Na região sul do Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.15, n.2, p.129-135. 2005.
- BROWN, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. Rome: FAO, 1997. 55p.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 6, n.1, p.1-32, 1990.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, Lawrence, 14, n.3, p. 161-167, 1982.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, Lawrence, v.35, p.881-902, 1989.
- BRUN, E.J. *Biomassa na Floresta Estacional Decidual de Santa Tereza, RS*. 2004. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.
- BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; VACCARO, S. Aspectos da ciclagem do material orgânico e nutrientes na serapilheira de florestas secundárias em Santa Tereza, RS. In: SCHUMACHER, M.V.; LONGHI, S.J.; BRUN, E.J.; KILCA, R.V. (Org.). *A Floresta Estacional Subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do Planalto Meridional*. Santa Maria: UFSM, 2011. p.195-214.
- BRUN, E.J. SCHUMACHER, M.V.; VACCARO, S.; SPATHELE, P. Relações entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual do RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.9, n.2, p.277-285, 2001.
- CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. *Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa*. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.29, n.1, p.53-68, 2008.
- CARVALHO, P.E.R. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.
- CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.; CHAMBERS, J.C.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, E; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.; 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*, Berlin, v.145, n.1, p.87-99, 2005.
- COTTA, M.K.; JACOVINE, L.A.G.; PAIVA, H.N.; SOARES, C.P.B.; FILHO, A.C.V.; VALVERDE, S.R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.6, p.969-978, 2008.
- CUNHA, G.C. *Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma Floresta Estacional do Rio Grande do Sul*. 1997. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- DELITTI, W.B.C, MEGURO, M.; PAUSAS, J. Biomass and mineral mass estimates in a cerrado ecosystem. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.29, n.4, p.531-540, 2006.

- FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: LEVINE, J.S. (Ed.) **Global Biomass Burning: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications**. Boston: MIT, 1991. p.92-105.
- FEARNSIDE, P.M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F.M. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.98, n.9, p.16733-16743, 1993.
- GARDNER, R.H.; MANKIN, J.B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P.D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. p.451-497.
- GODINHO, T.O. **Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES**. 2011. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, D. L.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. São Paulo: EPU. Editora da USP, 1978. 256p.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G. La biomassa y la estructura mineral de algunos bosques de Darien, Panamá. **Turrialba**, San Jose, v.21, n.2, p.189-196, 1971.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2000. p.221-267.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro, 1994. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p.125-145.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.28, n.2, p.153-166, 1998.
- JACKSON, R.B.; CANADELL, J.; EHLERINGER, J.R.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E.; SCHULZE, E.D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, Berlin, v.108, n.3, p.389-411, 1996.
- KING, D.A. Allometry and life history of tropical trees. **Journal of tropical ecology**, Cambridge, v.12, n.1, p.25-44, 1996.
- KOZŁOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiological of woody**. 2ed. San Diego: Academic, 1996. 432p.
- LUGO, A.E.; BROWN, S. Steady state ecosystems and the global carbon cycle. **Vegetation**, Amsterdam, v.68, n. 2, p. 83-89, 1986.
- LUGO, A.E.; BROWN, S.; CHAPMAN, J. An analytical review of production rates and stem wood biomass of tropical forest plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.23, n.2-3, p.179-200, 1988.
- O'CONNELL, A.M.; SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E.K.S., BROWN, A.G. (Ed.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p.443-480. (Monograph; n.43).
- PARANÁ. Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: 1987. 73p.
- PARRESOL, B.R. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. **Forest Science**, Bethesda, v.45, n.4, p.573-593, 1999.
- RESENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. 2.ed. Palmas: Instituto Ecologia, 2001. 178p.
- RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, L.V.A. **Consideraciones sobre la biomasa, composición química y dinámica del bosque pluvial tropical de colinas bajas**. Bajo Calima Buenaventura, Colombia. Bogotá: Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, 1988. 36 p. (Serie Documentación, 16).
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

- SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A. (Org.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR. 2004, p.77-93.
- SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. **Biotropica**, Lawrence, v.37, n.1, p.2-8, 2005.
- SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.1, p.185-206, 2008.
- SOCHER, L.G.; RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, Curitiba, v.38, n.2, 2008.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5)
- VANINI, A. **Análise silvigenética para caracterização de trecho de Florestal Alta de Restinga e sua relação com o solo**. Campinas, 2009. 147p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C.; CAMARGO, P.B.; CHAVE, J.; DELITTI, W.B.C.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; JOLY, C.A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; MATTOS, E.A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F.A.M.; SHIMABUKURO, M.T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S.E.. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v.8, n.2, p.21-29, 2008.
- VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; TRÜBY, P. Quantificação da biomassa em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, BRASIL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.4, p.419-425, 2006.
- WATZLAWICK, L.F., KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.A.; SCHUMACHER, M.V. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C.R., WATZLAWICK, L.F. BALBINOT, R. ZILLOTTO, M.A., GOMES, F.S. (Org.) **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. p153-173.
- WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; VALERIO, A.F.; SILVESTRE, R. Caracterização da composição e estrutura de uma floresta ombrófila mista, no município General Carneiro (PR). **Ambiência**, Guarapuava, v.1, n.2, p.229-237, 2005.
- ZANCHETA, D.; TIMONI, J.L. Produção de folheto em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função do manejo do solo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS:SBEF, 1993. p.261-264.

Recebido em 17/06/2011
Aceito para publicação em 02/07/2012