

# BIOMASSA E ESTOQUES DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS FLORESTAIS NO SUL DO BRASIL

Biomass and carbon stocks in different forest systems in southern Brazil

Michele de Oliveira<sup>1</sup>; Fernanda Luiza Ril<sup>2</sup>; Camila Peretti<sup>1</sup>; Elivane Saete Capellesso<sup>1</sup>; Tanise Luisa Sausen<sup>1</sup>; Jean Carlos Budke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. Laboratório de Ecologia e Sistemática Vegetal – ECOSSIS.

<sup>2</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. Laboratório de Geoprocessamento e Planejamento Ambiental – LAGEPLAN.

<sup>3</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. Laboratório de Ecologia e Sistemática Vegetal – ECOSSIS. E-mail: jean@uricer.edu.br

Data do recebimento: 30/10/2014 - Data do aceite: 07/05/2015

**RESUMO:** As florestas possuem um importante papel no sequestro de carbono, devido à sua capacidade de remover dióxido de carbono da atmosfera e estocá-lo na biomassa vegetal. Para estimar o potencial de sequestro de carbono, são necessários métodos precisos de avaliação de sua dinâmica e estocagem nos diferentes sistemas florestais. Este trabalho avaliou a eficiência de três sistemas florestais quanto ao acúmulo de biomassa acima do solo e estoque de carbono. Foram analisados plantios de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e um remanescente florestal em estágio avançado de sucessão. Foram coletados dados alométricos e amostras do caule para a determinação da densidade básica da madeira e estimativa de biomassa e estoque de carbono. Para as espécies amostradas, a densidade básica variou entre 0,31 g cm<sup>-3</sup> e 0,81 g cm<sup>-3</sup>. A biomassa e os estoques de carbono foram maiores nos plantios de *Eucalyptus grandis* (344,58 Mg ha<sup>-1</sup>; 172,87 Mg ha<sup>-1</sup>) do que em *Pinus elliottii* (215,75 Mg ha<sup>-1</sup>; 107,87 Mg ha<sup>-1</sup>) e no remanescente florestal (168,20 Mg ha<sup>-1</sup>; 84,10 Mg ha<sup>-1</sup>). Na área florestal nativa, as espécies que apresentaram maior estoque de carbono foram *Luehea divaricata* (16,92 Mg ha<sup>-1</sup>), *Nectandra megapotamica* (10,10 Mg ha<sup>-1</sup>), *Lonchocarpus campestris* (9,54 Mg ha<sup>-1</sup>) *Matayba elaeagnoides* (8,93 Mg ha<sup>-1</sup>) e *Jacaranda micrantha* (7,00 Mg ha<sup>-1</sup>).

**Paravras-chave:** Floresta nativa. Monoculturas florestais. Produtividade primária.

**ABSTRACT:** Forests have a key role in carbon sequestration due to its ability to remove carbon dioxide from the atmosphere and stores it in plant biomass. To achieve the full potential of carbon sequestration, one needs accurate methods to assess its dynamics and storage in different forest systems. This study evaluated the efficiency of three systems related to forest biomass and carbon stocks. We analyzed *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* plantations as well as an old-growth native forest remnant. We collected allometric data and stem samples to determine basic wood density, biomass and carbon stocks estimates. For the sampled species, basic wood density ranged from 0.31 g cm<sup>-3</sup> to 0.81 g cm<sup>-3</sup>. Biomass and carbon stocks were higher in *Eucalyptus grandis* (344.58 Mg ha<sup>-1</sup>; 172.87 Mg ha<sup>-1</sup>) than in *Pinus elliottii* (215.75 Mg ha<sup>-1</sup>; 107.87 Mg ha<sup>-1</sup>) and on the forest remnant (168.20 Mg ha<sup>-1</sup>; 84.10 Mg ha<sup>-1</sup>). At the native forest, species with higher accumulated carbon were *Lu-ehia divaricata* (16.92 Mg ha<sup>-1</sup>), *Nectandra megapotamica* (10.10 Mg ha<sup>-1</sup>), *Lonchocarpus campestris* (9.54 Mg ha<sup>-1</sup>) *Matayba elaeagnoides* (8.93 Mg ha<sup>-1</sup>) and *Jacaranda micrantha* (7.00 Mg ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Native Forest. Forest Monocultures. Primary Productivity.

## Introdução

A produtividade primária é considerada um dos principais serviços ecossistêmicos de suporte, sendo mais dependente da diversidade de grupos funcionais de organismos do que outros fatores, como aquecimento global, adição excessiva de nutrientes ou elevadas concentrações de dióxido de carbono (CARDINALE et al., 2012). Do ponto de vista do sequestro de carbono, as florestas têm um papel fundamental, pois estocam nas suas árvores e no solo, mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera (THOMSON et al., 2008). Neste sentido, o sequestro florestal de carbono refere-se ao processo pelo qual as plantas absorvem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do ar e fixam-no na biomassa, principalmente em forma de matéria lenhosa. Este processo de sequestrar e fixar carbono foi lançado pela Convenção do Clima da ONU como instrumento de flexibilização dos compromissos de redução das emissões de GEE dos países com metas de redução (KEITH et al., 2010).

O quinto relatório do IPCC a respeito das mudanças climáticas aponta a conservação das florestas, a recuperação de áreas degradadas e a redução do desmatamento e da queima da madeira para geração de energia como formas efetivas de mitigar as mudanças climáticas (IPCC, 2013). De fato, estimativas disponíveis sugerem que as florestas poderiam mitigar de 1 a 2 Gt de carbono por ano entre 1995 a 2050 (CLARKE et al., 2006). Entretanto, para se estimar todo o potencial de mitigação de carbono, são necessários métodos precisos de avaliação de sua dinâmica e estocagem, além de medições precisas dos estoques atuais e potenciais de carbono florestal. Tais estimativas envolvem desde medidas *in situ*, associadas à biomassa vegetal e também, ao nível de paisagem, em relação aos usos da terra (sistemas florestais utilizados) e modificações antrópicas (KEELING; PHILLIPS, 2007).

De Paula et al. (2011) observaram estoques de carbono variando entre 42,1 Mg ha<sup>-1</sup> na borda e 579,01 Mg ha<sup>-1</sup> no interior de fragmentos de Floresta Atlântica no nordeste

do Brasil. Lindner e Sattler (2012), por sua vez, obtiveram uma média de de 313 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo para fragmentos preservados de Floresta Atlântica no sudeste do Brasil. Estes dados demonstram que o potencial de sequestro de carbono de florestas nativas pode ser tão alto quanto o de monoculturas florestais.

Entretanto, apesar dos diversos estudos para compreender os processos ecológicos em plantações florestais e em florestas nativas (BINKLEY e RESH, 1999; PAUL et al., 2002; SAUSEN et al., 2014), a dinâmica do acúmulo de carbono em ecossistemas florestais permanece incerta. Este conhecimento insuficiente conduz ao atual debate sobre o papel dos plantios florestais de curta rotação (monoculturas ou plantios mistos), ou ainda, se as florestas nativas secundárias são mais eficazes quanto à manutenção do estoque de carbono (LAW et al., 2002; HULVEY et al., 2013).

Inúmeros fatores influenciam os estoques de carbono em uma árvore, sendo os mais importantes a densidade básica da madeira, o diâmetro do caule e a altura total da árvore (CHAVE et al., 2005; SAUSEN et al., 2013). A densidade básica da madeira é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado (ABNT, 1997), variando, principalmente, em função do clima e de solo, bem como, características intrínsecas de cada espécie.

Com base nisso, o presente trabalho comparou dois sistemas de monoculturas florestais (*Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*) em relação a um remanescente florestal em estágio avançado de sucessão quanto à biomassa e aos estoques de carbono, buscando identificar quais destes sistemas de uso da terra podem ser considerados mais eficientes em relação ao potencial de estoque de carbono na biomassa aérea. As hipóteses iniciais foram: i) as monoculturas florestais, devido

ao maior porte das espécies cultivadas, irão apresentar maior estoque de carbono; ii) no remanescente florestal, o estoque de carbono apresentará uma variação entre as espécies, sendo que algumas terão maior potencial de estoque de carbono do que outras.

## Material e Métodos

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em três coberturas florestais distintas, sendo duas monoculturas florestais, de *Pinus elliottii* Engelm. (12 anos de idade) e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (10 anos de idade), ambos localizados no município de Erechim, RS, com ponto central nas coordenadas 27°36'03.98"S e 52°11'14.10"O, e um remanescente de transição entre Floresta Estacional Sempreverde com Araucária e Estacional Semidecídua, localizado no município de Barão de Cotegipe, RS, com ponto central nas coordenadas 27°31'48,7"S e 52°27'50"O. Todas as áreas selecionadas para a condução dos experimentos são margeadas por rios de pequeno porte. O clima regional é classificado como Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, com cerca de 1.912 mm ano<sup>-1</sup> de precipitação atmosférica e temperatura média anual de 17,6 °C, sendo a mínima registrada para o mês de junho (12,7 °C) e a máxima para o mês de janeiro (25,5 °C) (BERNARDI e BUDKE, 2010). Os solos da região mesclam-se entre Latossolo Vermelho aluminoférrico e Neossolo Regolítico eutrófico (STRECK et al., 2008). As áreas selecionadas estão localizadas na região do Alto Uruguai Gaúcho, que está inserida no Bioma Mata Atlântica, em uma área de transição entre a Floresta Estacional Sempreverde com Araucária e a Floresta Estacional Semidecídua (OLIVEIRA FILHO et al., 2013).

## Coleta e análise de dados

Em cada área de florestamento, foram selecionados, aleatoriamente, dez indivíduos de *Pinus elliottii* e dez indivíduos de *Eucalyptus grandis* para coleta das amostras de lenho e determinação da densidade básica da madeira. Os valores de altura e perímetro à altura do peito (PAP) nestes florestamentos foram obtidos destes dez indivíduos selecionados de cada espécie. No remanescente florestal (Nativa) foram demarcadas dez parcelas contíguas de 10 m x 10 m em cada margem do rio, nas quais foram amostrados todos os indivíduos arbóreos com perímetro à altura do peito (PAP) superior a 15 cm. De cada indivíduo amostrado, foram anotados os dados referentes à altura e perímetro à altura do peito (PAP). Na área de floresta nativa, os indivíduos amostrados foram identificados em nível de espécie. Para cada espécie, foram coletadas amostras de lenho para determinação da densidade básica da madeira. Para a retirada destas amostras, foi utilizada uma sonda de incremento de 12 mm de diâmetro, realizada à altura de 1,30 m do solo, na posição horizontal (WILLIAMSON et al., 2012).

Após a coleta, as amostras foram transportadas para o laboratório de Ecologia e Sistemática Vegetal (ECOSSIS), onde foram padronizadas com 5 cm de comprimento e foram realizados os procedimentos para determinação da densidade básica da madeira (VITAL, 1984). A densidade específica de cada espécie foi a média das densidades das  $n$  amostras de madeira coletadas de cada espécie, utilizando a seguinte equação:

$$\bar{dB}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{10} \frac{ms_j}{vs_j}$$

Onde:

$\bar{dB}_i$  = densidade básica média da  $i$ -ésima espécie, em g cm<sup>-3</sup> ou kg m<sup>-3</sup>;

$ms_j$  = massa seca da  $j$ -ésima amostra em g ou kg;

$vs_j$  = volume saturado da  $j$ -ésima amostra, em cm<sup>3</sup> ou em m<sup>3</sup>;

$n$  = número de amostras coletadas para cada espécie.

A massa seca foi obtida secando-se as amostras a uma temperatura de 105 ± 2 °C até que atingissem massa constante. Após o resfriamento, as amostras foram pesadas individualmente para verificar seu peso seco.

O volume úmido foi obtido por meio do método de imersão, que se baseia na variação da massa pela submersão da amostra de madeira em água e é uma das maneiras mais precisas de determinação de volume para amostras de formato irregular (VITAL, 1984). Em seguida, foi realizada a volumetria das amostras. Utilizou-se uma proveta de 100 mL com água destilada. A balança suportando a proveta com água foi zerada e a amostra de lenho foi totalmente submersa no líquido, verificando-se a diferença de massa indicada na balança. O procedimento foi repetido para todas as amostras. Como a densidade da água é de aproximadamente 1,0 g cm<sup>-3</sup>, a diferença da massa em gramas indicada pela balança corresponde ao volume da amostra em cm<sup>3</sup> (VITAL, 1984; WILLIAMSON e WIEMANN, 2010).

Após a obtenção da densidade básica da madeira para cada espécie, foram calculados o volume, a biomassa e os estoques de carbono para as três áreas de estudo. O método utilizado para obtenção destes valores baseou-se na relação alométrica existente entre a área basal (m<sup>2</sup>) e a altura (m), cuja relação determina o volume (m<sup>3</sup>) da  $i$ -ésima árvore individual. Para tanto, o PAP (m) de cada indivíduo amostrado foi convertido em área basal. Multiplicando o volume pela densidade básica da espécie a que pertence a árvore individual ( $d_i$ , em g cm<sup>-3</sup>), torna-se possível determinar a biomassa de cada árvore ( $b_i$

em Kg) e seu peso em carbono ( $ci$ , em Kg) (Brown et al., 1999). A partir dos dados de densidade básica da madeira e volume total

$$\text{Volume} = AB \text{ (m}^2\text{)} \times ht \text{ (m)}$$

$$\text{Biomassa} = \text{volume (m}^3\text{)} \times \text{DBM (g.cm}^{-3}\text{)} \times ff$$

Onde,

AB: área basal

ht: altura

DBM: densidade básica da madeira

ff: fator de forma (0,55 para *E. grandis*; 0,7 para *P. elliottii*; 0,5 para as espécies nativas)

Obtidos os valores de biomassa, foram calculados os estoques de carbono para cada espécie, utilizando-se o fator de conversão de carbono de 0,5 (BROWN et al., 1999), por meio da equação:

$$\text{Estoque de C} = \text{biomassa} \times 0,5$$

## Resultados e Discussão

Para as espécies amostradas, a densidade básica variou entre 0,31 g cm<sup>-3</sup> e 0,81 g cm<sup>-3</sup> (Tabela II). Os valores de densidade básica para *Eucalyptus grandis* (0,47 g cm<sup>-3</sup>) e *Pinus elliottii* (0,37 g cm<sup>-3</sup>) foram semelhantes aos encontrados em outros estudos realizados no país (AMARAL et al., 1977; TOMAZELLO FILHO, 1985).

Em geral, a maioria das espécies nativas apresentou valores de densidade básica menores do que os encontrados em diversos estudos (CELOS, 2001; DETIENNE, 1982; DETIENNE, 1983; DIMITRI, 1973; GIMENEZ, 2003; LORENZI, 1992; MARTINS, 1944). *Cordia ecalyculata* e *Parapiptadenia rigida* foram as que mais diferiram, sendo que Martins (1944) encontrou o valor de

1,07 g cm<sup>-3</sup> para a densidade básica de ambas as espécies, quase o dobro dos valores observados neste estudo (0,39 e 0,58 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente). *Allophylus edulis* (0,52 g cm<sup>-3</sup>) apresentou um valor maior do que o apontado por Amaro (2013), cujo estudo revelou uma densidade básica de 0,42 g cm<sup>-3</sup> para esta espécie em Minas Gerais. Ao comparar as densidades básicas das espécies amostradas entre si, percebe-se que os valores são bastante semelhantes, ocorrendo pequena variação, com os valores apresentando um valor médio de 0,50 g cm<sup>-3</sup> (Tabela II).

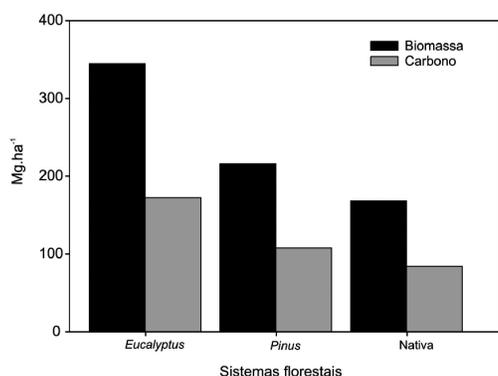
Foram amostrados 1333 ind ha<sup>-1</sup> na área de *Eucalyptus grandis*, 833 ind ha<sup>-1</sup> na área de *Pinus elliottii* e 1226 ind ha<sup>-1</sup> na floresta nativa. O florestamento de *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores valores médios de perímetro à altura do peito (PAP), altura, área basal e volume (Tabela I). A floresta nativa apresentou os menores valores para os mesmos parâmetros. Os indivíduos da área de floresta nativa foram relativamente mais baixos, com altura média não ultrapassando os 15 metros (Tabela I).

O fragmento de floresta nativa compreende uma vegetação característica da transição entre a Floresta Estacional Sempreverde com Araucária e a Floresta Estacional Semidecídua (OLIVEIRA FILHO et al., 2013), apresentando uma composição florística dependente dos estádios sucessionais e da região de ocorrência. No presente trabalho foram quantificados 200 indivíduos da família Fabaceae, sendo principalmente das espécies *Lonchocarpus campestris* e *Ateleia glazioviana* e, 315 indivíduos da família Sapindaceae, sendo a maioria de *Allophylus puberulus*, *Matayba elaeagnoides* e *Allophylus edulis*. A família Fabaceae está incluída entre uma das mais representativas nos ecossistemas brasileiros, enquanto Sapindaceae, embora menos representativa, inclui gêneros que são frequentes em áreas florestais (LORENZI, 1992). A família Myrtaceae possui grande

representatividade nas formações florestais do sul do Brasil, tanto em número de espécies quanto em densidade (KLEIN, 1984), contudo, na floresta nativa analisada neste estudo foram encontradas apenas três espécies pertencentes à esta família e um total de 35 indivíduos. Destacam-se, ainda, *Luehea divaricata*, da família Malvaceae, com 105 indivíduos e *Hovenia dulcis*, da família Rhamnaceae, com 80 indivíduos. Esta última é uma espécie exótica caracterizada como invasora (SCHAAF et al., 2006).

O volume por hectare, a biomassa e os estoques de carbono foram maiores no sistema florestal implantado com *Eucalyptus grandis* (6792,59 m<sup>3</sup>; 344,58 Mg ha<sup>-1</sup>; 172,87 Mg ha<sup>-1</sup>) do que de *Pinus elliottii* (1038,00 m<sup>3</sup>; 215,75 Mg ha<sup>-1</sup>; 107,87 Mg ha<sup>-1</sup>) e da floresta nativa (747,60 m<sup>3</sup>; 168,20 Mg ha<sup>-1</sup>; 84,10 Mg ha<sup>-1</sup>), confirmando a hipótese deste estudo (Figura 1).

**Figura 1** - Valores de biomassa e estoques de carbono nos três sistemas florestais no sul do Brasil.



*Eucalyptus grandis* apresentou densidade básica da madeira superior à *Pinus elliottii*. Além disso, apesar de ambos os plantios apresentarem idade aproximada de 12 anos para *P. elliottii* e 10 anos para *E. grandis*, esta última é caracterizada como espécie de crescimento rápido comparado à *P. elliotti*, representado pelo maior porte. Por fim, o menor espaçamento entre os indivíduos de

*Eucalyptus grandis* contribuiu para que este plantio apresentasse um maior número de indivíduos e, conseqüentemente, maior volume por hectare. Todos estes fatores foram determinantes para que no sistema florestal implantado com *E. grandis* fosse observado o maior acúmulo de biomassa e de estoque de carbono. Os valores de estoque de carbono para as monoculturas observados em nosso estudo foram superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2008), que obteve os valores de 98,8 Mg ha<sup>-1</sup> para um plantio de *Eucalyptus grandis* e 84,1 Mg ha<sup>-1</sup> para um plantio de *Pinus elliottii*, ambos com 1111 indivíduos por hectare, em sistemas silvipastoris. Todavia é importante ressaltar que o estudo de Oliveira et al. (2008) foi conduzido em sistemas florestais implantados para compensação florestal, sendo que não foram conduzidas práticas de manejo, como desbaste, durante o período de crescimento.

A floresta nativa apresentou os menores valores de biomassa e estoques de carbono em relação aos sistemas com monoculturas e um número intermediário de indivíduos por hectare. De acordo com Catovsky et al. (2002), o potencial de carbono na biomassa aumenta com a diversidade de espécies em um determinado ecossistema, em função da otimização da fotossíntese das diferentes espécies que o compõem. Sausen et al. (2013) apontam que em florestas nativas a ocorrência de determinadas espécies detentoras de grande porte é o principal fator que promove incremento em biomassa e nos estoques de carbono e que algumas espécies contribuem de maneira mais acentuada para os estoques de carbono, sendo o aumento do estoque proporcional ao volume de madeira. Com exceção de alguns poucos indivíduos, o fragmento de floresta nativa avaliado neste estudo não apresentou árvores de grande porte. A altura dos indivíduos variou entre 2,5 e 15 m, à exceção de *Jacaranda micranta* (17,5 m). A grande maioria dos indivíduos

**Tabela I** - Número de indivíduos (N) e valores médios de perímetro à altura do peito (PAP), altura (h), área basal (AB) e volume por indivíduo (v) para as espécies amostradas em três sistemas florestais do sul do Brasil.

<b>Espécie</b>	<b>N</b>	<b>PAP (cm)</b>	<b>h (m)</b>	<b>AB (m<sup>2</sup>)</b>	<b>v (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Myrtaceae</b>					
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill	1333	139,20	31,00	0,16	5,10
<b>Pinaceae</b>					
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	833	96,20	18,00	0,07	1,25
<b>Annonaceae</b>					
<i>Annona neosalicifolia</i> H.Rainer	20	46,50	7,38	0,02	0,16
<b>Aquifoliaceae</b>					
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	5	56,00	3,00	0,02	0,07
<b>Bignoniaceae</b>					
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	10	76,00	17,50	0,05	0,92
<b>Boraginaceae</b>					
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	5	96,00	14,00	0,07	1,03
<b>Cannabaceae</b>					
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.	10	37,00	5,00	0,01	0,05
<b>Euphorbiaceae</b>					
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	5	44,00	4,50	0,02	0,07
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	20	38,00	7,75	0,01	0,10
<b>Fabaceae</b>					
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill.	60	55,08	9,54	0,05	0,43
<i>Calliandra foliolosa</i> Benth.	15	56,00	6,17	0,03	0,31
<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.	95	56,98	9,08	0,05	0,66
<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	10	36,50	7,35	0,01	0,10
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	20	36,00	6,73	0,01	0,07
<b>Lauraceae</b>					
<i>Cryptocarya moschata</i> Nees	10	136,50	6,50	0,24	1,90
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	25	82,00	10,20	0,07	0,94
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	265	45,57	10,92	0,03	0,44
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	50	69,30	13,90	0,05	0,81
<b>Malvaceae</b>					
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	105	48,71	9,70	0,06	1,40
<b>Myrtaceae</b>					
<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg.	20	27,75	9,33	0,01	0,10
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg	10	25,00	5,45	0,01	0,03
<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts	5	15,00	5,00	0,00	0,01
<b>Rhamnaceae</b>					
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	80	65,44	9,41	0,04	0,48
<b>Rosaceae</b>					
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	10	50,00	14,00	0,02	0,28
<b>Rubiaceae</b>					
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schtdl.	5	101,00	15,00	0,08	1,22
<b>Rutaceae</b>					
<i>Helietta apiculata</i> Benth.	5	34,00	8,00	0,01	0,07
<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	30	54,33	8,50	0,03	0,26
<b>Salicaceae</b>					
<i>Banara tomentosa</i> Clos	10	42,00	14,00	0,01	0,24
<b>Sapindaceae</b>					
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	60	45,75	7,71	0,05	0,44
<i>Allophylus guaraniticus</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	5	45,00	5,50	0,02	0,09
<i>Allophylus puberulus</i> (Cambess.) Radlk.	145	47,03	8,36	0,03	0,28
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	10	48,50	9,00	0,02	0,17
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	95	65,74	11,13	0,06	0,96
<b>Solanaceae</b>					
<i>Cestrum intermedium</i> Sendtn.	5	20,00	6,00	0,00	0,02

**Tabela II** - Número de indivíduos por hectare (N), densidade básica da madeira (dB), volume por hectare (v), biomassa (B) e estoques de carbono (EC) para as três áreas de estudo e para as espécies amostradas.

Área	dB (g cm <sup>-3</sup> )	v (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	B Mg ha <sup>-1</sup>	EC Mg ha <sup>-1</sup>
<b>Plantio de <i>P. elliottii</i></b>				
<i>Pinus elliottii</i>	0,37	1038,00	215,75	107,87
<b>Plantio de <i>E. grandis</i></b>				
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,47	6792,59	344,58	172,30
<b>Floresta Nativa</b>				
∑ Espécies nativas	--	747,60	168,20	84,10
<b>Annonaceae</b>				
<i>Annona neosalicifolia</i> H.Rainer	0,31	3,25	0,50	0,25
<b>Aquifoliaceae</b>				
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	0,37	0,37	0,07	0,03
<b>Bignoniaceae</b>				
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	0,38	73,64	13,99	7,00
<b>Boraginaceae</b>				
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	0,39	5,13	1,00	0,50
<b>Cannabaceae</b>				
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.	0,51	0,54	0,14	0,07
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	0,45	0,35	0,08	0,04
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	0,49	2,02	0,50	0,25
<b>Fabaceae</b>				
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill.	0,54	25,87	6,99	3,49
<i>Calliandra foliolosa</i> Benth.	0,76	4,60	1,75	0,87
<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.	0,61	62,55	19,08	9,54
<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	0,56	1,03	0,29	0,14
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	0,58	1,47	0,43	0,21
<b>Lauraceae</b>				
<i>Cryptocarya moschata</i> Nees	0,41	18,97	3,89	1,94
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	0,56	23,40	6,55	3,28
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	0,35	115,45	20,20	10,10
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	0,33	40,61	6,70	3,35
<b>Malvaceae</b>				
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	0,46	147,14	33,84	16,92
<b>Myrtaceae</b>				
<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg.	0,49	1,98	0,49	0,24
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg	0,55	0,31	0,09	0,04
<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts	0,52	0,04	0,01	0,01
<b>Rhamnaceae</b>				
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	0,48	38,56	9,26	4,63
<b>Rosaceae</b>				
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	0,63	2,79	0,88	0,44
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schldt.	0,73	6,09	2,22	1,11
<b>Rutaceae</b>				
<i>Helietta apiculata</i> Benth.	0,81	0,37	0,15	0,07
<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	0,41	7,65	1,57	0,78
<b>Salicaceae</b>				
<i>Banara tomentosa</i> Clos	0,53	2,41	0,64	0,32
<b>Sapindaceae</b>				
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	0,52	26,43	6,87	3,44
<i>Allophylus guaraniticus</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	0,53	0,45	0,12	0,06
<i>Allophylus puberulus</i> (Cambess.) Radlk.	0,57	40,76	11,62	5,81
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	0,52	1,66	0,43	0,22
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	0,39	91,56	17,85	8,93
<b>Solanaceae</b>				
<i>Cestrum intermedium</i> Sendtn.	0,33	0,10	0,02	0,01

apresentou uma altura média de 7,5 m. Da mesma forma, a área basal ficou abaixo de 0,20 m<sup>2</sup> para todos os indivíduos exceto *Cryptocarya moschata*, que teve área basal média de 0,24 m<sup>2</sup>. As espécies que apresentaram maior volume foram *Luehea divaricata* (147,14 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), *Nectandra megapotamica* (115,45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e *Matayba elaeagnoides* (91,56 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

As espécies que mais acumularam carbono na floresta nativa foram *Luehea divaricata* (16,92 Mg ha<sup>-1</sup>), *Nectandra megapotamica* (10,10 Mg ha<sup>-1</sup>), *Lonchocarpus campestris* (9,54 Mg ha<sup>-1</sup>), *Matayba elaeagnoides* (8,93 Mg ha<sup>-1</sup>) e *Jacaranda micrantha* (7,00 Mg ha<sup>-1</sup>). Destas, *Luehea divaricata* demonstrou maior potencial de estoque de carbono, acumulando 23% do carbono total estocado na biomassa no fragmento estudado, confirmando a segunda hipótese deste trabalho. O potencial para estoque de carbono de *L. divaricata* pode estar associado com o número de indivíduos na área de estudo, visto que foram quantificados 105 indivíduos, associado com maior área basal e, conseqüente, maior volume.

Em estudos realizados no Paraná, em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Socher *et al.* (2008) encontraram um valor de biomassa de 170 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto Watzlawick *et al.* (2002), em uma Floresta Ombrófila Mista Montana obtiveram um valor de biomassa aérea de 377,8 Mg ha<sup>-1</sup> em um remanescente em estágio avançado. A presença da *Araucaria angustifolia* nestes locais foi determinante para estes valores de biomassa, já que os indi-

víduos desta espécie geralmente apresentam grande porte, semelhante ao observado por Sausen *et al.* (2013) para o remanescente florestal no município de Áurea, na região Norte do estado do Rio Grande do Sul.

A estocagem e o sequestro de dióxido de carbono estão relacionados com a composição florística, estrutura fitossociológica e estágio sucessional da floresta nativa (SOUZA *et al.*, 2012). Contudo, os sistemas de monocultura florestal envolvem espécies de crescimento rápido, com grandes potencialidades para o estoque de carbono e que permitem ainda um maior retorno econômico por meio da comercialização da madeira, enfatizando o papel dos florestamentos para projetos de compensação ambiental associados com a emissão de gases de efeito estufa.

## Considerações Finais

Neste trabalho, avaliamos os potenciais de estoques de carbono em três sistemas florestais. Ambas as hipóteses iniciais foram confirmadas, já que as monoculturas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* foram os sistemas florestais que apresentaram os maiores estoques de carbono. Além disso, na floresta nativa, os estoques de carbono foram variáveis entre as espécies, sendo que algumas espécies como *Luehea divaricata* e *Nectandra megapotamica* apresentaram os maiores valores de biomassa e estoques de carbono, demonstrando o potencial destas espécies para o sequestro florestal de carbono.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas da madeira, 1997.

AMARAL, A.C.; FERREIRA, M.; COUTO, H.T.Z. do. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, v. 15, p. 47-67, 1977.

- AMARO, M.; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A.L. de; LEITE, H.G.; SILVA, G.F. da. Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 849-857, 2013.
- BERNARDI, S.; BUDKE, J.C. Estrutura da sinúsia epifítica e efeito de borda em uma área de transição entre Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 81-92, 2010.
- BINKLEY D.; RESH, S.C. Rapid changes in soils following *Eucalyptus* afforestation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 1, p. 222-225, 1999.
- BROWN, S.L.; SCHOEDER, P.; KERN, J.S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. **Forest Ecology and Management**, v. 123, p. 81-90, 1999.
- CARDINALE, B.J.; DUFFY, J.E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D.U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G.M.; TILMAN, D.; WARDLE, D.A.; KINZIG, A.P.; DAILY, G.C.; LOREAU, M.; GRACE, J.B.; LARIGAUDERIE, A.; SRIVASTAVA, D.; NAEEM, S. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, p. 59-67, 2012.
- CATOVSKY, S.; BRADFORD, M.A.; HECTOR, A. Biodiversity and ecosystem productivity: implications for carbon storage. **Oikos**, v. 97, n. 3, p. 443-448, 2002.
- CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIMS, M.A.; CHAMBERS, J.Q. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87-99, 2005.
- CLARKE, L.; WISE, M.; PLACET, M.; IZAURRALDE, R.; LURZ, J.; KIM, S.; SMITH, S.; THOMSON, A. **Climate change mitigation: an analysis of advanced technology scenarios**. Pacific Northwest National Laboratory Technical Report PNNL-16078, Richland, 2006.
- CELOS (Center for Agricultural Research in Suriname) reports compiled By H ter Steege for ter Steege, H. and Hammond, D.S. Character convergence, diversity, and disturbance in tropical rain forest in Guyana. **Ecology**, v. 82, p. 3197-3212, 2001.
- DE PAULA, M.D.; COSTA, C.P.A.; TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, v.4, n. 3, p. 349-358, 2011
- DETIENNE, P.; JACQUET P.; MARIAUX, A. **Manuel d'Identification des Bois Tropicaux, Tome 3, Guyane Francaise**. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France. In: DETIENNE, P.; JACQUET, P. Atlas d'Identification des Bois de l'Amazonie et des Régions Voisines. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, 1982.
- DETIENNE, P.; JACQUET, P. **Atlas d'Identification des Bois de l'Amazonie et des Regions Voisines**. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France, 1983.
- DIMITRI, M.J.; BILONI, J.S. Libro del árbol. Tomo 1. Esencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación ornamental. Editorial Celulosa Argentina; S.A. Leonardis R.F.J. 1975. Libro del árbol. Tomo 2. **Esencias Forestales indígenas de la Argentina de aplicación industrial**. Editorial Celulosa Argentina S. A, 1973.
- GIMENEZ, A.M.; MOGLIA, J.G. Arboles del Chaco Argentino. **Guia para el Reconocimiento Dendrológico**. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina, 2003.
- HULVEY, K.B.; HOBBS, R.J.; STANDISH, R.J.; LINDENMAYER, D.B.; LACH, L.; PERRING, M.P. Benefits of tree mixes in carbon plantings. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 10, p. 869-874, 2013.
- IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin,

- G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, IPCC, 2013.
- KEELING, H.C.; PHILLIPS, O.L. The global relationship between forest productivity and biomass. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 618-631, 2007.
- KEITH, P.; MACKEY, B.; BERRY, S.; LINDENMAYER, R.; GIBBONS, P. Estimating carbon carrying capacity in natural forest ecosystems across heterogeneous landscapes: addressing sources of error. **Global Change Biology**, v. 16, p. 2971-2989, 2010.
- KLEIN, R. M. Importância sociológica das mirtáceas nas florestas riograndenses. In: XXXIV Congresso Nacional de Botânica, Porto Alegre. Anais..., v.2, p.367-375. 1984.
- LAW, B.E.; SUN, O.J.; CAMPBELL, J. et al. Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. **Global Change Biology**, v. 9, p. 510-524, 2003.
- LINDNER, A.; SATTTLER, D. Biomass estimations in forests of different disturbance history in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **New Forests**, v. 4, p. 287-301, 2012
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP, Brazil, Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 1992.
- MARTINS, R. **Livro das Árvores do Paraná**. Edição do Diretório Regional de Geografia do Estado do Paraná, Curitiba, Brasil, 1944.
- OLIVEIRA, E.B. de; RIBASKI, J.; ZANETTI, E.A.; PENTEADO JR., J.F.; Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em Sistemas Silvopastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal**, n. 57, p. 45-56, 2008.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; EISENLOHR, P. V.; NEVES, D. R. M. Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. **Journal of Plant Ecology**, v. 7, n. 6, p. 1-23, 2013.
- PAUL, K.I; POLGLASE, P.J.; NYAKUENGAMA, J.G; KAANA, P.K. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 241-257, 2002.
- SAUSEN, T.L.; NEUMANN, G.M.; BASTOS, J.R.; DELLAGOSTIN, S.M.; BUDKE, J.C. A estrutura florestal determina o potencial de estoque de carbono em remanescentes da região do Alto Uruguai, sul do Brasil. In: José Eduardo dos Santos; Elisabete Maria Zanin. (Org.). **Faces da Polisssemia da Paisagem**. São Carlos: RiMa, v. 5, p. 275-287, 2013.
- SAUSEN, T.L.; SHAEFER, G.F.P.; TOMAZI, M.; SANTOS, L.S.; BAYER, C.; ROSA, L.M.G. Clay content drives carbon stocks in soils under a plantation of *Eucalyptus saligna* Labill. in southern Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 28, n. 2, p. 266-273, 2014.
- SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C. R.; LONGHI, S. J. Modificações florístico-estruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana no período entre 1979 e 2000. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p.271-291, 2006.
- SOCHER, L.G.; RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.
- SOUZA, A.L. de; BOINA, A.; SOARES, C.P.B.; VITAL, B.R.; GASPAR, B. de O.; LANA, J.M. de. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, v. 36, n.1, p.169-179, 2012.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; DO NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. 2008. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008.

THOMSON, A.M.; IZAURRALDE, C.; SMITH, S.J.; CLARKE, L.E. Integrated estimates of global terrestrial carbon sequestration. **Global Environmental Change**, v. 18, p. 192-203, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyotus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, p.37-45, 1985.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: UFV, 1984. (Sociedade de Investigações Florestais, 1).

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.R.; 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.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba, Edição dos Autores, 2002.

WILLAMSON, G.B.; WIEMANN, M.C. Measuring wood specific gravity... correctly. **American Journal of Botany**, v. 97, n. 3, p. 519-524, 2010.

WILLIAMSON, G.B.; WIEMANN, M.C.; GEAGHAN, J. Radial wood allocation in *Schizolobium parahyba*. **American Journal of Botany**, v. 99, n. 6, p. 1-10, 2012.