

UMA DÉCADA DE DINÂMICA DA FIXAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA ARBÓREA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO SUL DO PARANÁ

Francelo Mognon¹, Felipe Scheibe Dallagnol², Carlos Roberto Sanquetta³, Ana Paula Dalla Corte⁴,
Tauane Garcia Barreto⁵

¹Biólogo, M.Sc., Doutorando Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - mognon@ufpr.br

²Eng. Florestal, M.Sc., UFPR, Curitiba, PR, Brasil - fsdallagnol@gmail.com

³Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - sanquetta@ufpr.br

⁴Eng^a. Florestal, Dr^a., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - anapaulacorte@gmail.com

⁵Bióloga, Mestranda em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - tauanebiologia@gmail.com

Recebido para publicação: 20/09/2012 – Aceito para publicação: 30/01/2013

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar anualmente a dinâmica da fixação do carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista Montana ao longo de uma década. Foram utilizados dados de inventário florestal contínuo advindos de quatro parcelas permanentes de um hectare cada, localizadas em General Carneiro, PR. O período de coleta dos dados iniciou em 1999 e foi concluído em 2009. A estimativa de biomassa arbórea acima do solo no ano de 1999 foi de 178,5 t.ha⁻¹, atingindo valores de 186,75 t.ha⁻¹ e obtendo um IPA da ordem de 0,75 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Dessa forma, as estimativas de carbono estocado no fragmento avaliado foram de 74,07 t.ha⁻¹, atingindo, após uma década, 77,53 t.ha⁻¹. Conclui-se que a floresta mostrou, nas condições vigentes, baixa capacidade em fixar carbono, com uma taxa de incremento anual da ordem de 0,31 t.ha⁻¹.ano⁻¹. No entanto, embora a floresta apresente um baixo incremento anual de carbono, pode ser caracterizada como um sumidouro do mesmo, devido ao estoque de carbono existente em sua biomassa florestal. Dessa forma, mesmo uma floresta próxima da estagnação em termos de fixação de carbono pode proporcionar benefícios socioambientais, entre outros, na forma de sumidouros de carbono.

Palavras-chave: Biomassa florestal; estoque de carbono; dinâmica de comunidade.

Abstract

A decade of carbon sink dynamics in biomass in mixed rain forest in the south of Paraná. This research aims to evaluate, annually, dynamics of carbon sink in Montana Ombrophilous Mixed Forest along a decade. The data is from four permanent continuous inventory plots of one hectare each, located in General Carneiro - PR. The data collection began in 1999 and was completed in 2009. The above-ground tree biomass estimated in 1999 was 178.5 t ha⁻¹, reaching values of 186.75 t.ha⁻¹, with an annual biomass growing 0.75 t ha⁻¹. year⁻¹. Therefore the stored carbon in the focused fragment was estimated at 74.07 t.ha⁻¹; a decade after it reached 77.53 t ha⁻¹ of stored carbon. As result, the forest revealed, under the prevailing conditions, low capacity to fix carbon, with an annual increase rate of 0.31 t ha⁻¹.year⁻¹. However, although the forest presents low annual carbon increase it can be characterized as a carbon sink, due to the existing carbon stock in the forest biomass. Therefore, even a forest near to stagnation in relation to carbon sink can still perform its environmental service.

Keywords: Forest biomass; carbon stock; community dynamics.

INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea demonstra um despertar de consciência para a necessidade de preservação do meio ambiente, sobretudo com relação aos bens e serviços oferecidos pelas florestas. O processo de valoração desses serviços ambientais requer um conjunto de dados precisos, sobretudo o real conhecimento das informações dos diferentes serviços prestados pela floresta, além de elementos socioeconômicos regionais (SANT'ANNA; NOGUEIRA, 2010).

Segundo o estudo da Organização das Nações Unidas intitulado Avaliação Ecosistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), serviços ambientais são aqueles prestados silenciosamente pela natureza, relacionados a ciclo do carbono, ciclo hidrológico, belezas cênicas, evolução do solo e biodiversidade, entre outros. Dentre esses serviços, o ciclo do carbono ganha destaque no cenário florestal, pois, segundo Sanquetta (2002), cresce a cada dia que passa o interesse por esse assunto, aumentando o esforço por parte dos cientistas do mundo inteiro em conhecer os estoques de carbono existentes em diferentes ecossistemas, desenvolvendo pesquisas científicas e testando diferentes metodologias. Sendo assim, as estimativas de biomassa e estoque de carbono são necessárias para um melhor entendimento sobre as mudanças ambientais globais (SILVEIRA *et al.* 2008).

Segundo Watzlawick *et al.* (2004), a absorção de dióxido de carbono se dá, em parte, pelo período de tempo existente entre o crescimento inicialmente acelerado das plantas e a sua lenta decomposição pós-morte. Desse modo, as florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono, em função dos estágios de sucessão, da idade, do regime de manejo e da composição de espécies.

Para os estudos de fixação de carbono em florestas naturais ou plantadas, muitos autores utilizam a variável *biomassa*, a qual precisa ser determinada e/ou estimada de forma confiável, a fim de garantir a real consistência dos resultados das estimativas dos estoques de carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002). Uma das maneiras de se conhecer o estoque de carbono das florestas é por meio da determinação da biomassa e desenvolvimento de modelos matemáticos para sua estimativa. Os modelos matemáticos, nesse caso, devem estimar a biomassa e o carbono das árvores utilizando variáveis de fácil obtenção, como diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, sem que haja a necessidade de se recorrer a métodos diretos, como o corte e pesagem total das árvores.

Segundo Koehler *et al.* (2005), as estimativas de armazenamento de carbono devem priorizar as medições da biomassa no campo, pois, se forem determinadas com exatidão, asseguram estimativas mais precisas das quantidades de carbono acumulado. O ideal é ter um modelo matemático para cada tipo florestal e para cada sítio, devendo ser ressaltado que, para o caso de estudos de mudanças climáticas, a prioridade deve ser dada às áreas mais sujeitas às intervenções, levando-se em consideração que a amostragem destrutiva deve ser realizada em locais representativos e sem tendenciosidade.

Brown *et al.* (1989) acreditam que estimativas de biomassa com base em inventários florestais volumétricos propiciam ótima oportunidade de melhorar as estimativas de biomassa acima do solo, porque as informações de volumes oriundas de inventários florestais são abundantes e geralmente coletadas em grandes áreas, usando métodos planejados para representar a população de interesse.

Conforme Corte *et al.* (2012), tecnicamente há muito em que se avançar acerca da geração de estimativas confiáveis sobre a dinâmica das florestas nativas nas diferentes ecorregiões, principalmente pela escassez de informação sobre essa dinâmica ao longo de ciclos mais longos.

Dessa forma, objetivando ampliar as informações a respeito da dinâmica de uma floresta, este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica em biomassa e carbono do componente arbóreo acima do solo em uma Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM), em um período de 10 anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada no extremo sul do estado do Paraná, no município de General Carneiro, a aproximadamente 280 quilômetros de Curitiba (Figura 1). A área está situada nas coordenadas UTM centrais, X: 462.428m e Y: 7.080.027m. A altitude regional é próxima de 800 metros. Essa área pertence às indústrias Pedro N. Pizzato Ltda. Existem quatro parcelas de 1 hectare cada instaladas em remanescentes florestais, que totalizam cerca de 4.200 hectares de Floresta Ombrófila Mista Montana.

O clima da região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb), com verões frescos e invernos com geadas severas, segundo a classificação de Köppen, e submontano úmido e muito úmido pela classificação ecológica de Holdridge (PARANÁ, 1987). A temperatura média anual da região é de 16 °C e a temperatura média durante o trimestre mais frio (junho, julho e agosto) é de 12 °C (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

O substrato geológico dessa região é formado pelo derrame de Trapp da formação da Serra Geral. A topografia da área possui predominância da característica montanhosa, mas apresenta também partes com relevo ondulado até plano (MAACK, 1981).

O sul do Brasil, em especial o Paraná, abriga uma das regiões fitoecológicas de grande diversidade florística, sendo denominada de Floresta Ombrófila Mista (FOM), ou Floresta com Araucária. Conforme a classificação da vegetação brasileira (IBGE, 1992), essas regiões fitoecológicas são denominadas de *ombrófilas* devido às características de ambientes úmidos. O termo *mista* refere-se à origem geológica, componente dessas formações, que são compostas tanto por espécies originárias das regiões que hoje são a Oceania e a África. Assim, tem-se uma floresta dita geologicamente mista, formada de elementos da flora de distintas origens – por exemplo, a araucária da Oceania e as demais espécies, a maioria latifoliadas, da África. O resultado dessa mistura de floras é o que se vê hoje, ou seja, uma floresta com predomínio da araucária no estrato superior, acompanhada de latifoliadas no dossel e no subdossel.

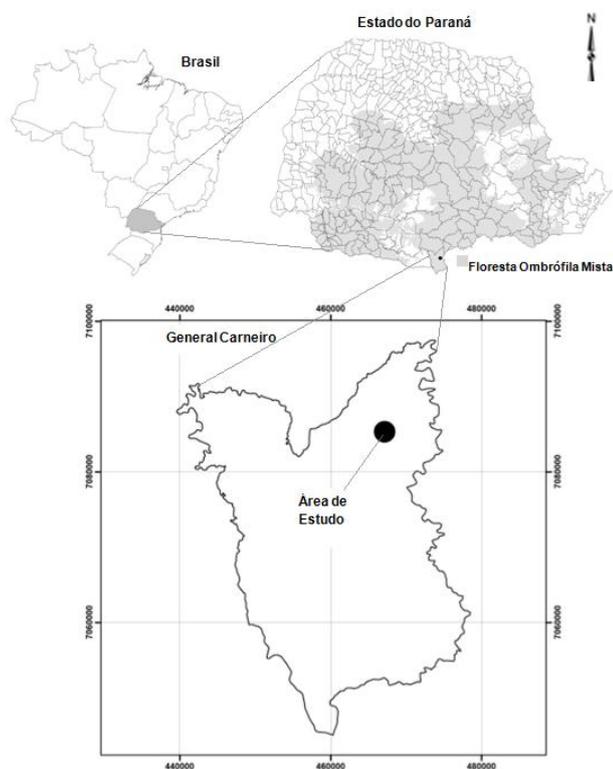


Figura 1. Localização da área de estudo em General Carneiro, PR.

Figure 1. Focused site localization in General Carneiro, PR.

Para Quadros e Pillar (2002), a Floresta Ombrófila Mista é o tipo florestal que tem a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze como a espécie arbórea emergente no estrato superior, juntamente com espécies de Lauraceae (*Ocotea pulchella* Mart.), Aquifoliaceae (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) e Sapindaceae (*Matayba elaeagnoides* Radlk), que representam de 60 a 70% do estrato superior da floresta. O estrato inferior compõe-se de Myrtaceae (*Myrceugenia euosma* (O. Berg.)) e Podocarpaceae (*Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl).

De acordo com Klein (1960), *Araucaria angustifolia* é a árvore mais alta dessa região, cujas copas umbeliformes formam uma cobertura arbórea muito característica, podendo atingir alturas de 30 a 35 m e diâmetros de 80 a 120 cm, nos exemplares adultos e velhos. A cobertura das copas é muito uniforme e se encontra alguns metros acima da cobertura das árvores que compõem os andares inferiores. Estes são compostos por densos agrupamentos de árvores, arvoretas e arbustos que variam em abundância e porte, de acordo com o local e o estágio de desenvolvimento da comunidade em questão.

Inventário florestal

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de parcelas permanentes pertencentes ao Projeto de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) – Sítio9 (Floresta com Araucária e suas transições).

A instalação das parcelas permanentes ocorreu em 1998. O método amostral utilizado foi o de área fixa de forma quadrada e lados medindo 100 x 100 m, totalizando 10.000 m² cada. Essas parcelas foram divididas em 25 subparcelas com dimensões de 20 x 20 m (400 m²). As quatro parcelas foram mensuradas anualmente no período de inverno, geralmente no mês de julho, quando todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) $\geq 31,4$ cm (DAP ≥ 10 cm) foram amostrados.

Segundo Mognon (2012), o fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana estudado apresentava, no ano de 1999, uma diversidade florística composta por 50 espécies arbóreas, pertencentes a 23 famílias botânicas, com uma estrutura horizontal formada por uma densidade absoluta média de 629,25 ind.ha⁻¹ e uma área basal média de 32,62 m².ha⁻¹. Já para o ano de 2009, a composição florística aumentou para 53 espécies arbóreas pertencentes a 25 famílias, com uma densidade absoluta média de 629,50 ind.ha⁻¹, correspondendo a uma área basal de 33,94 m².ha⁻¹. Dessa forma, o referido autor concluiu que a floresta estava apresentando um leve crescimento, não caracterizando pleno equilíbrio, mas um equilíbrio dinâmico.

Nesse contexto, para a estimativa da biomassa arbórea acima do solo para a Floresta Ombrófila Mista Montana, foi utilizada uma equação matemática ajustada por Ratuchne (2010). As estatísticas do ajuste da equação para estimativa de biomassa arbórea acima do solo mencionadas apresentaram um coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 0,955, um erro padrão da estimativa (S_{yx}) de 47,24% e uma proporção F de 1.192,31.

Por se tratar de uma equação ajustada com dados coletados em locais próximos das parcelas permanentes utilizadas no presente estudo e por ela apresentar estatísticas de ajuste razoáveis, esta equação foi utilizada para as estimativas de biomassa no presente estudo, pois, segundo Silveira *et al.* (2008), a utilização de equações desenvolvidas para uma determinada região utilizadas para regiões distintas compromete os resultados estimados para biomassa e carbono, pois é um dos principais erros envolvidos na avaliação desses temas.

Para avaliação da biomassa total arbórea acima do solo, foi calculada a média aritmética das quatro unidades amostrais, utilizando-se como base os onze anos de monitoramento, além de se avaliar a dinâmica da floresta por meio do incremento periódico anual (IPA). No entanto, objetivando um maior aprofundamento da presente pesquisa, adotou-se uma divisão das espécies estudadas em grupos distintos. Essa divisão foi proposta para que os resultados pudessem ser comparados com outros trabalhos realizados pelo PELD. Dessa forma, as espécies estudadas dividiram-se em três grupos: Grupo das Araucárias – constituído por todos os indivíduos da espécie *Araucaria angustifolia*; Grupo das Canelas – constituído por todos os indivíduos das espécies pertencentes à família das Lauráceas; e, por fim, o Grupo das Espécies de Madeira Branca (Branças) – constituído por todos os indivíduos representados pelas demais espécies arbóreas.

Para o cálculo anual da biomassa total arbórea acima do solo, foram incluídos todos os indivíduos vivos existentes nas parcelas. Os indivíduos mortos constatados no ano de medição também foram incluídos, ou seja, depois de constatada a mortalidade do indivíduo, a sua biomassa foi computada apenas no seu ano de mortalidade, não sendo utilizada posteriormente nos anos seguintes. O mesmo procedimento utilizado no cálculo anual da biomassa foi adotado para o cálculo anual do carbono total arbóreo acima do solo.

Para realizar a determinação dos teores médios ponderados de carbono para os diferentes grupos de espécies, foram utilizados os dados brutos do trabalho de Watzlawick *et al.* (2004), que expressam os teores de carbono em diferentes compartimentos para diversas espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, no estado do Paraná.

Após a determinação dos teores de carbono de cada grupo de espécies, foi realizada a estimativa do estoque de carbono total arbóreo acima do solo da Floresta Ombrófila Mista Montana. A estimativa do

estoque de carbono foi resultante da multiplicação do estoque de biomassa estimada pelo teor médio de carbono em cada grupo de espécie estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biomassa florestal

Os resultados das estimativas da biomassa total arbórea acima do solo encontrada no primeiro ano de medição das parcelas permanentes da Floresta Ombrófila Mista estudada, utilizando a média das quatro parcelas, apresentaram valores de $178,5 \text{ t.ha}^{-1}$, aumentando em 2009 para $186,75 \text{ t.ha}^{-1}$, como pode ser observado na figura 2. O IPA de biomassa total arbórea foi de $0,75 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

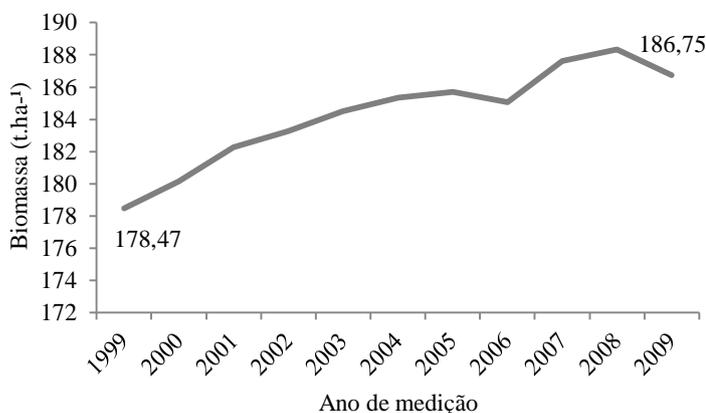


Figura 2. Dinâmica do estoque de biomassa da Floresta Ombrófila Mista Montana em estudo.

Figure 2. Biomass dynamics of the focused Montana Ombrophilous Mixed Forest.

Watzlawick *et al.* (2002) realizaram trabalhos no município de General Carneiro no estado do Paraná em áreas próximas às parcelas permanentes utilizadas neste estudo. Esses autores obtiveram resultados de estoques de biomassa no componente arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista Montana e em diferentes estágios sucessionais, sendo encontrados valores de $69,37 \text{ t.ha}^{-1}$, $168,84 \text{ t.ha}^{-1}$ e $397,79 \text{ t.ha}^{-1}$ para os estágios inicial, médio e avançado, respectivamente. Os valores observados pelos referidos autores, em especial os estoques de biomassa em estágio médio de sucessão, são próximos aos resultados encontrados neste trabalho ($178,5 \text{ t.ha}^{-1}$ em 1999 e $186,8 \text{ t.ha}^{-1}$ em 2009). Isso demonstra, para esse tipo de formação florestal, uma tendência quantitativa para essa variável no componente arbóreo acima do solo em fragmentos florestais classificados como estágio médio no processo de sucessão vegetal. Trabalhos realizados por Weber *et al.* (2005) no município de São João do Triunfo, no estado do Paraná, em Floresta Ombrófila Mista, contribuem com essas tendências quantitativas dos estoques de biomassa arbórea acima do solo, uma vez que o referido estudo foi realizado em área com a mesma tipologia florestal, porém com estágio de sucessão vegetal mais próximo do avançado, revelando valores em torno de $252,38 \text{ t.ha}^{-1}$ de biomassa.

Trabalho realizado por Silveira (2010) nos municípios de Apiúna e Presidente Nereu Ramos, no estado de Santa Catarina, em Floresta Ombrófila Densa, utilizando o método da derivação do volume comercial para estimativa da biomassa arbórea acima do solo, revelou em torno de $153,58 \text{ t.ha}^{-1}$ de biomassa.

Analisando o estoque de carbono fixado na biomassa arbórea acima do solo por grupos de espécies, observou-se que o grupo das Araucárias manteve a maior representatividade, pois, em 1999, correspondia a $62,33 \text{ t.ha}^{-1}$, ou seja, 34,92% do estoque total de biomassa na Floresta Ombrófila Mista Montana em questão, aumentando para $67,66 \text{ t.ha}^{-1}$, ou 36,23%, em 2009. Isso representa um IPA de $0,48 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Já o grupo das Brancas, em 1999, correspondia a $59,12 \text{ t.ha}^{-1}$, ou seja, 32,12% do estoque total de biomassa da Floresta Ombrófila Mista Montana, reduzindo para $58,75 \text{ t/ha}$, ou 31,46%. Isso

representa um IPA próximo de zero, com valores de $-0,03 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Isso pode ter sido influenciado pela presença de espécies denominadas de pioneiras nesse grupo, cujo ciclo de vida é menor. Dessa forma, muitos indivíduos passaram pelo processo de mortalidade, anulando o crescimento em biomassa das remanescentes desse grupo.

O grupo das Canelas, em 1999, correspondia a $57,05 \text{ t.ha}^{-1}$, ou seja, 31,96% do estoque total de biomassa da floresta estudada, concluindo com $60,34 \text{ t.ha}^{-1}$, ou seja, 32,31%, em 2009, o qual representou um IPA de $0,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A dinâmica do estoque de biomassa fixado na biomassa florestal por grupo de espécies estudado pode ser observado na figura 3.

Trabalhos realizados por Sanquetta *et al.* (2010) avaliaram o IPA em volume na mesma região que a deste trabalho. No entanto, foram amostrados oito hectares de FOM durante os anos de 1998 a 2007. Os resultados encontrados para o grupo das Araucárias revelaram um IPA em função do volume da ordem de $2,25 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e, para o grupo das Canelas, um IPA em torno de $0,89 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. De certa forma, esses resultados demonstram a importância do grupo das Araucárias no crescimento da Floresta Ombrófila Mista.

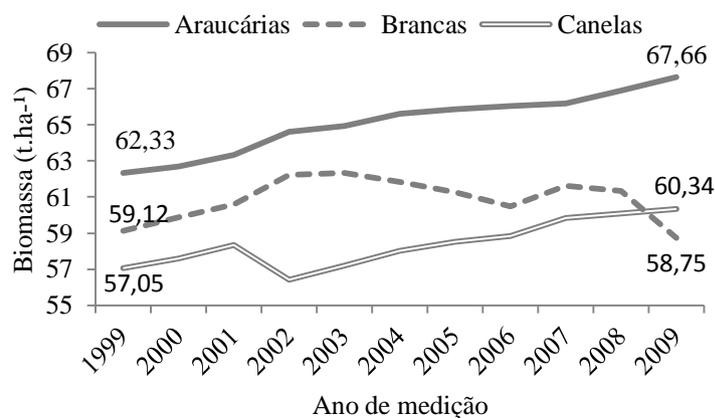


Figura 3. Dinâmica do estoque de biomassa fixado por grupo de espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana.

Figure 3. Biomass dynamics set by group of species of Montana Ombrophilous Mixed Forest.

Observando os três grupos estudados, verificou-se que o grupo das Araucárias apresentou evolução ascendente e o maior IPA, seguido pelo grupo das Canelas, que também apresentou evolução ascendente, porém teve uma leve queda no ano de 2002, em função da mortalidade de um indivíduo desse grupo que apresentava elevada biomassa, retomando no ano seguinte a tendência ascendente. Isso pode ser explicado pela composição botânica desses grupos, que são representados por espécies denominadas de longevas, ou seja, apresentam um ciclo de vida maior.

Já o grupo das Brancas demonstrou um comportamento sinuoso, apresentando um IPA com valor próximo de zero, caracterizado pela dificuldade desse grupo em estocar biomassa florestal durante o período de estudo. Cabe destacar que essa sinuosidade da dinâmica da biomassa do grupo das Brancas pode ter sido influenciada pela presença de espécies denominadas de pioneiras nesse grupo, cujo ciclo de vida é menor.

A média da biomassa arbórea acima do solo dos indivíduos de todos os grupos recrutados, a partir do terceiro ano de medição das parcelas permanentes, utilizando a média das quatro parcelas, foi de $0,28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Teores de carbono

Os teores médios ponderados de carbono utilizados para estimar os estoques de carbono para cada grupo de espécies arbóreas estudadas na Floresta Ombrófila Mista Montana foram ponderados em função dos valores percentuais de cada compartimento de biomassa encontrados por Watzlawick *et al.* (2004), conforme figura 4.

A utilização da média ponderada para a determinação dos teores de carbono é indicada quando se têm diferenças percentuais entre os compartimentos estudados. A diferença dos teores de carbono existente por compartimento reforça a necessidade de atribuir valores percentuais proporcionais a eles, ou seja, compartimentos que apresentem uma maior participação em porcentagem da biomassa total, por exemplo, devem participar proporcionalmente na composição do teor médio de carbono. Dessa forma, as estimativas dos estoques de carbono minimizam os efeitos das variações percentuais dos compartimentos, reconhecendo a real participação de cada compartimento para com o total. Assim, os valores dos teores de carbono utilizados para as estimativas dos estoques de carbono para cada grupo avaliado podem ser observados na tabela 1.

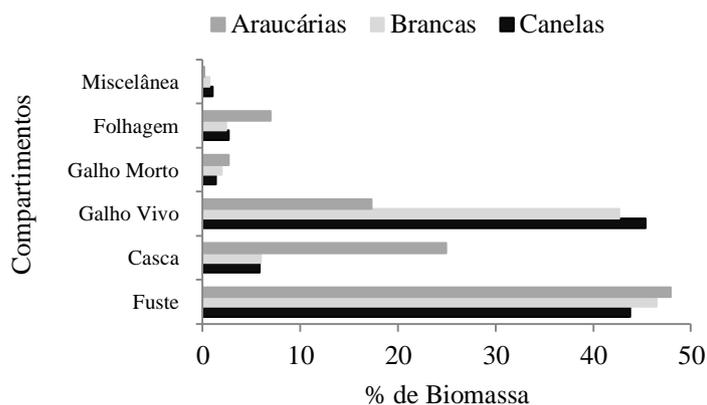


Figura 4. Percentuais de biomassa por compartimento e por grupo de espécies da FOMM.

Figure 4. Biomass Ratio per compartment and group from Montana Ombrophilous Mixed Forest.

Tabela 1. Teores de carbono por compartimento e por grupos de espécies da FOMM.

Table 1. Carbon content per compartment and group of species of Montana Ombrophilous Mixed Forest.

Grupos	Teor de carbono por compartimento						Teor médio ponderado
	Fuste	Casca	Galho vivo	Galho morto	Folhagem	Miscelânea	
Araucárias	44,1	40,7	41,3	43,2	41,6	37,3	42,6
Brancas	41,6	38,2	40,8	41,6	42,1	38,9	41,1
Canelas	42,3	40,9	38,8	42,4	44,4	40,1	40,7

Adaptado de Watzlawick *et al.* (2004).

Apesar de as variações dos teores não serem tão evidentes, a existência dessas variações pode caracterizar agrupamentos, sejam de espécies ou de compartimentos que possuam as mesmas características. Esse fato é apontado por Dallagnol *et al.* (2011) e Watzlawick *et al.* (2011), em que foram encontrados agrupamentos pelas diferenças entre os teores e entre as espécies, que justificam a separação e distinção em diferentes grupos.

Weber *et al.* (2006), estudando 6 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista (*Ilex paraguariensis*, *Mimosa scabrella*, *Myrsine ferruginea*, *Ocotea porosa*, *Styrax leprosus* e *Symplocos uniflora*), em 133 unidades amostrais ao todo, observaram que a porção das árvores que apresentou o maior teor de carbono foi a folhagem (44,2%) e que na porção miscelânea se encontrou a menor concentração (39,3%).

Higuchi e Carvalho Júnior (1994) analisaram diversas espécies florestais da Floresta Tropical Úmida Densa de Terra Firme, na região de Manaus, e observaram um teor médio de carbono para o tronco e os galhos de 48%, e nas folhas, de 39%.

Estimativas do estoque de carbono

A estimativa de carbono estocado em 1999 foi de 74,07 t.ha⁻¹, aumentando para 77,53 t.ha⁻¹ em 2009, resultando em um IPA de 0,31 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A dinâmica do estoque de carbono na biomassa florestal, considerando os onze anos de estudo, pode ser observada na figura 5.

Higuchi *et al.* (2004) analisaram a dinâmica de uma floresta primária na Amazônia Central, no período de 1986 a 2000, encontrando valores de estoque de carbono iniciando com 156 t.ha⁻¹ em 1986 e finalizando com 172 t.ha⁻¹ no ano 2000. Assim, o IPA foi de 1,2 t.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo significativo ao nível de 5% (p = 0,039).

Watzlawick *et al.* (2004) realizaram trabalhos no município de General Carneiro, no Paraná, em áreas próximas às parcelas permanentes utilizadas neste estudo. Os autores obtiveram resultados de estoque de carbono no componente arbóreo acima do solo, em Floresta Ombrófila Mista Montana, em diferentes níveis de estágio sucessional. Para o estágio inicial, obtiveram um estoque de 28,84 t.ha⁻¹ de carbono, para o estágio médio um estoque de 70,23 t.ha⁻¹ de carbono e para o estágio avançado um estoque de 165,02 t.ha⁻¹. Os valores determinados pelos referidos autores, em especial os estoques de carbono em estágio médio de sucessão, são próximos aos resultados encontrados neste trabalho (74,07 t.ha⁻¹). Trabalhos realizados por Weber *et al.* (2005), em Floresta Ombrófila Mista, relataram um estoque de carbono em torno de 104,32 t.ha⁻¹, com um incremento estimado em 1,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

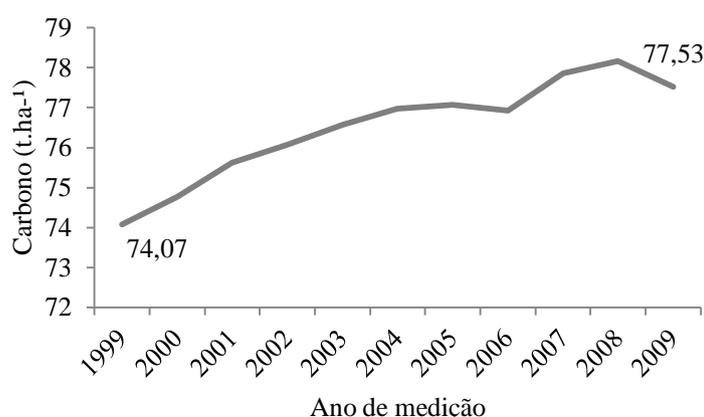


Figura 5. Dinâmica do estoque de carbono da Floresta Ombrófila Mista Montana.
Figure 5. Carbon stocks dynamics of Montana Ombrophilous Mixed Forest.

Analisando o estoque de carbono fixado na biomassa arbórea acima do solo por grupos de espécies, observou-se que o grupo das Araucárias manteve a maior representatividade, pois, em 1999, correspondia a 26,55 t.ha⁻¹, ou seja, 35,85% do estoque total de carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista, finalizando com 28,82 t.ha⁻¹, ou seja, 37,18%. Isso resultou em um IPA de 0,21 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Já o grupo das Brancas, em 1999, correspondia a 24,30 t.ha⁻¹, ou seja, 32,80% do estoque total de carbono fixado pela Floresta Ombrófila Mista, finalizando com 24,14 t.ha⁻¹, ou seja, 31,14%. Isso representa um IPA de -0,01 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

No entanto, o grupo das Canelas, em 1999, correspondia a 23,22 t.ha⁻¹, ou seja, 31,35% do estoque total de carbono da Floresta Ombrófila Mista, finalizando com 24,56 t.ha⁻¹, ou seja, 31,68%. Isso representa um IPA de 0,12 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A dinâmica do carbono fixado na biomassa florestal por grupo estudado pode ser observada na figura 6.

Observando os três grupos estudados, verificou-se que o grupo das Araucárias apresentou evolução ascendente, com o maior IPA, sendo acompanhado pelo grupo das Canelas, que também apresentou evolução ascendente, porém com uma leve queda no ano de 2002, retornando ao ano seguinte à característica ascendente. Esse comportamento é similar ao encontrado por esses grupos analisando-se a variável biomassa, uma vez que eles são constituídos por espécies botânicas com ciclo de vida maiores comparados com a maioria das espécies compostas no grupo das Brancas, que, por sua vez, apresentou uma linha sinuosa, com valores de IPA negativos, demonstrando uma deficiência em estocar carbono, observando-se o período e as condições de estudo.

A média do estoque de carbono arbóreo acima do solo dos indivíduos recrutados encontrados a partir do terceiro ano de medição das parcelas permanentes, utilizando-se a média das quatro parcelas, foi 0,12 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

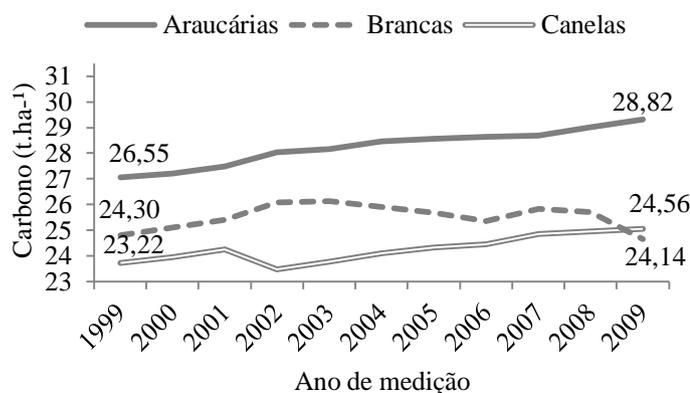


Figura 6. Dinâmica do estoque de carbono fixado por grupo de espécies da FOMM.
 Figure 6. Fixed carbon stock dynamics by group of species of Montana Ombróphilous Mixed Forest.

Cabe destacar que, entre os três grupos estudados, o que mais contribuiu com o crescimento nos estoques de carbono (IPA) foi o grupo das Araucárias, com 65,66%. Isso pode ser explicado pela importância dessa espécie no fragmento estudado, pois apresentou o maior IVI no ano de 1999, mantendo essa colocação após os 10 anos de estudo.

O segundo grupo mais representativo foi o das Canelas, com 38,75% do crescimento do estoque de carbono, sendo *Ocotea porosa* responsável por mais de 92% desse crescimento. Cabe destacar que a espécie em questão apresentou, no ano de 1999, o segundo maior IVI, mantendo essa posição para o ano de 2009, demonstrando sua importância para o grupo das Canelas, mas também para o fragmento de FOMM avaliado.

Já o grupo das Brancas contribuiu indiretamente com o crescimento dos estoques de carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, apresentando um IPA de -4,41%. Por se tratar de um grupo com grande diversidade de espécies arbóreas, correspondendo a 87,3% de todas as espécies estudadas, sendo muitas delas espécies pioneiras no processo de sucessão ecológica, esse grupo teve, nas condições vigentes, um equilíbrio dinâmico, uma vez que, em média, o crescimento de alguns indivíduos supria em termos de carbono a mortalidade de outros.

Analisando a dinâmica do crescimento em estoque de carbono, pode-se afirmar que a espécie *Araucaria angustifolia* é a grande responsável pelo incremento nos estoques de carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana em estudo, com 65,66%, seguida pela espécie *Ocotea porosa*, com 35,53%. Isso demonstra que, além de serem as duas espécies com maior valor de importância da Floresta Ombrófila Mista Montana em estudo, também são as grandes responsáveis pelo incremento dos estoques de carbono.

CONCLUSÕES

- A floresta em estudo apresenta leve crescimento em termos de dominância e, conseqüentemente, em biomassa e carbono. Contudo, essas variáveis, ao longo do tempo, apresentaram uma dinâmica próxima do equilíbrio.
- Nas condições vigentes, a floresta apresenta baixa capacidade em fixar carbono. No entanto, é importante seu papel como sumidouro, em função do grande estoque de carbono existente em sua biomassa.
- A divisão da floresta em grupos arbóreos distintos proporcionou detalhar a participação de cada um em termos de biomassa e carbono e revelar como eles têm se alterado no tempo em função da sua dinâmica de crescimento. Entre esses grupos, destacou-se a espécie *Araucaria angustifolia*, predominante na floresta, e, por conseguinte, aquela que dita as mudanças em biomassa e carbono ao longo da década.
- Estudos em ecossistemas naturais são complexos e variáveis no espaço e no tempo, necessitando-se de um período maior para projetar as tendências do seu desenvolvimento futuro e validar os resultados encontrados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BROWN, S. G.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, J. R. A. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 4, n. 35, p. 881 - 902, 1989.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 30/03/2012.
- CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; KIRCHNER, F. F.; ROSOT, N. C. Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 177 - 188, 2012.
- DALLAGNOL, F. S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 410 - 416, 2011.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e Conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia. In: Anais do Seminário “Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil”, 1994; Rio de Janeiro. Rio de Janeiro; 1994. p. 127 - 153.
- HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. das.; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295 - 304, 2004.
- HOUGHTON, R. A. The Worldwide Extent of Land-use Change. **Bioscience**, v. 44. p. 305 - 313. 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos de Geociências, n. 1).
- KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro. **Sellowia**, Itajaí, v. 12, n. 12, p. 17 - 48, 1960.
- KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; VALÉRIO, A. F. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. **Revista Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 68 - 77, 2005.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 442 p.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, Relatório-Síntese da Avaliação Ecológica do Milênio. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>>. Acesso em: 30/03/2012.
- MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; MAAS, G. Uma década de dinâmica florística e fitossociológica em Floresta Ombrófila Mista Montana no Sul do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais** (Online), v. 14, p. 43 - 59, 2012.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado Paraná**, Curitiba, 1987, 73 p.
- QUADROS, F. L. F.; PILLAR, V. P. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 109 - 118, 2002.
- RATUCHNE, L. C. **Ajuste e seleção de equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNICENTRO, Guarapuava, Paraná, 2010.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B; GOMES, F. S. **As florestas e o carbono**. Curitiba, p. 119 - 140, 2002.

SANQUETTA, C. R.; THIELE, P.; CORTE, A. P. D. Crescimento, mortalidade e recrutamento de duas Florestas de Araucária no Estado do Paraná, Brasil, no período de 1995-2007. **Revista Naturalia**, Rio Claro v. 33, p. 117 - 126, 2010.

SANT'ANNA, A. C.; NOGUEIRA, J. M. Valoração econômica dos serviços ambientais de florestas nacionais. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 2, n. 1, p. 82 - 108, 2010.

SILVEIRA, P.; KOHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, 2008.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 789 - 800, 2010.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, p. 95 - 109, 2004.

WATZLAWICK, L. F.; EBLING, A. A.; RODRIGUES, A. L.; VERES, Q. J. I.; LIMA, A. M. Variação nos teores de carbono orgânico em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 248 - 258, 2011.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 77 - 85, 2005.

WEBER, K. S.; BALBINOT, R.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono orgânico de seis espécies naturais do ecossistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, v. 2, n. 2, p. 167 - 177, 2006.

