



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALEXANDRE DE MELLO BORDIGNON

**BIOMASSA ACIMA DO SOLO E PRODUÇÃO DE
SERAPILHEIRA EM SÍTIOS DE RESTAURAÇÃO DA
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL**

Londrina
2015

ALEXANDRE DE MELLO BORDIGNON

**BIOMASSA ACIMA DO SOLO E PRODUÇÃO DE
SERAPILHEIRA EM SÍTIOS DE RESTAURAÇÃO DA
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas.

Orientador: José Marcelo Domingues Torezan.

Londrina
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Bordignon, Alexandre de Mello.

Biomassa acima do solo e produção de serapilheira em sítios de restauração da Floresta Estacional Semidecidual / Alexandre de Mello Bordignon. - Londrina, 2016.
66 f. : il.

Orientador: José Marcelo Domingues Torezan.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Sequestro de carbono - Teses. 2. reflorestamento - Teses. 3. Mata Atlântica - Teses. 4. necromassa - Teses. I. Torezan, José Marcelo Domingues. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

ALEXANDRE DE MELLO BORDIGNON

**BIOMASSA ACIMA DO SOLO E PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM
SÍTIOS DE RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. José Marcelo Domingues
Torezan
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Vera Lex Engel
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho – UNESP

Londrina, 17 de Setembro de 2015.



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Discente: Alexandre de Mello Bordignon

Título: "Estoques de carbono em sítios de restauração da floresta estacional semidecidual"

Data da Defesa: 17 de setembro de 2015 - 08:30 hs, na sala de aula da Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parecer

Presidente:

Dr. José Marcelo Domingues Torezan

APROVADO

Titulares:

Dr. Halley Caixeta de Oliveira

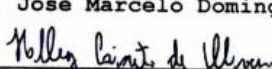
APROVADO

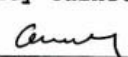
Dr^a. Vera Lex Engel

APROVADO

Parecer Final APROVADO

Dr. José Marcelo Domingues Torezan


Dr. Halley Caixeta de Oliveira


Dr^a. Vera Lex Engel

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer minha mãe, Paty, e meu pai, Amauri, pela amizade, carinho, dedicação, educação e amor, que não deixaram faltar quando precisei e não há dúvida que, graças a eles me tornei quem sou hoje.

Agradecer aos meus irmãos Thiago e Isa que apesar de todas as discussões banais, que “ficaram na infância”, sempre se mostraram companheiros para todas as ocasiões, alegres e nem tão alegres. Tenho muito orgulho de dizer que vocês são meus irmãos. E também meus irmãos Jean Paul, Rafael e Diego, que mesmo não sendo filhos nem da mesma mãe ou pai, não há motivos para não chamá-los desta forma, pois crescemos e convivemos como tal.

Gostaria de agradecer aos meus avós Luiza(*i.m.*), Osias (*i.m.*), Luizinha e Valdemar (*i.m.*) por todo carinho que tiveram por mim, por todos os bolos, cocadinhas, passeio no parquinho, na chácara, por todos “menino senta na cadeira e estuda” e “Brasil é com “b” maiúsculo”. Quero que saibam que tenho todos vocês como inspiração para vida.

À Ana Paula, minha companheira, que sempre está ao meu lado, me ajudando a ser mais feliz. É uma pessoa muito importante pra mim e, pela qual, eu tenho enorme admiração, pelo seu esforço, dedicação e inteligência. Fico muito feliz em saber o quanto você acredita em mim e me admira, com certeza todo seu apoio me empurra para frente.

Aos meus amigos, da minha cidade não natal, mas que adotei como o lugar em que cresci. Diego, George, Marco Antônio, Gui, Léo e tantos outros que não cabem no papel. Obrigado pela parceria, ótimos churrascos, festas, conversas, de fato considero vocês como irmãos para mim.

Aos colegas que fiz no LABRE. Alba, Ana Luísa, Carol, Cinthia, Eduardo, Gustavo, Géssi, Isabela, Jéssica, Jéssica “Formiga”, Jézili, José Vitor, Júlia, Laissa, Lya, Renata, Roberta, Robson, Thalita, e Victor. Aos Técnicos do laboratório, que tornam nosso trabalho possível, Seu Oda, Norival, Orandir, Edi e Osmar. Ao meu orientador José Marcelo, pelo conhecimento compartilhado e pela orientação. Com certeza levarei boas lembranças e bons conhecimentos adquiridos durante esse período, diversas histórias de campo, algumas reuniões e boas risadas.

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina, pelos suportes intelectual e logístico, e por toda estrutura disponibilizada para o desenvolvimento do mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido em forma de bolsa de estudos, sem o qual não seria possível a realização desta dissertação.

Muito obrigado a todos.

BORDIGNON, Alexandre de Mello. **Biomassa acima do solo e produção de serapilheira em sítios de restauração da floresta estacional semidecidual**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

RESUMO

Atividades humanas como processos industriais, conversão de florestas para agropecuária, queimadas, queima de combustíveis fósseis, entre outros, são responsáveis por causar um balanço positivo dos gases do efeito estufa na atmosfera, resultando em uma maior retenção de energia na atmosfera e, conseqüentemente, o aumento da temperatura média global. Visando mitigar estes efeitos, têm sido propostas formas de compensar a emissão destes gases, nas quais são incluídas ações como a conservação e a restauração de ecossistemas, devido à capacidade dos mesmos em fixar CO₂ atmosférico. Dessa maneira, o objetivo desse trabalho foi estimar a biomassa aérea e a necromassa em reflorestamentos e em fragmentos florestais, visando determinar o tamanho relativo dos estoques. Foram estudados quatro sítios de restauração florestal, com 11 a 12 anos de idade, e dois remanescentes de floresta estacional semidecidual. Em cada área foram instaladas parcelas e coletores suspensos, para estimar a biomassa aérea viva acima do solo e produção de serapilheira, respectivamente. Adicionalmente, o estoque de necromassa existente sobre o solo foi determinado por meio de parcelas randomizadas em cada local. A biomassa aérea estimada para os reflorestamentos superou aquela estimada para os fragmentos. As estimativas de necromassa depositada anualmente, bem como o estoque sobre o solo, não diferiram entre as áreas. Esses dados apontam um rápido desenvolvimento dos estoques nas áreas de restauração, evidenciando que o reflorestamento com espécies nativas é uma maneira eficiente de capturar carbono atmosférico. Por outro lado, é preciso investigar mais detalhadamente a evolução dos estoques no médio-longo prazo, tanto para determinar a estabilidade dos estoques existentes nos reflorestamentos quanto para determinar eventuais perdas na biomassa dos fragmentos florestais por causas como a fragmentação e a extração seletiva de madeira. A necromassa depositada sobre o solo atingiu em média 10 % do estoque de biomassa nos reflorestamentos, e nestes ambientes a deposição anual de necromassa equivale, em média, a 7,6% do estoque de biomassa. Isto indica grande importância da necromassa para estudos biogeoquímicos e para negociações de crédito de carbono.

Palavra-chave: Sequestro de carbono. Reflorestamento. Mata Atlântica. Necromassa.

BORDIGNON, Alexandre de Mello. **Biomass aboveground and litter production in restoration sites of semi-deciduous forest.** 2015. 66p. Dissertation (Master in Biological Sciences) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

ABSTRACT

Some human activities like industrial processes, forest conversion to agriculture and forest burning and fossil fuel burning are responsible for the increase of the concentration of greenhouse gases in atmosphere; therefore they are direct cause of global warming. To mitigate those effects forest conservation and restoration have been proposed to compensate the emission of these gases. The aim of this work was to estimate the both biomass and necromass stocks in restoration sites and in forest fragments, in order to determining the relative size of these ecosystem compartments. Four 11-12 year old native species reforestation sites and two Atlantic Forest fragments were studied. In each site plots were used to estimate the aboveground biomass and litterfall traps were used to verify the litter production. Litter stock on soil was estimated in random plots. The aboveground biomass was higher in restoration sites than in forest fragments, and both the soil litter stock and annual litterfall did not differ between the two habitats. These data suggest a fast vegetation development in these sites and a high capacity to store carbon. However, there is a need to investigate the stability of carbon stocks in the reforestations in the mid-long run and also to study possible biomass losses in the forest fragments associated with forest fragmentation and timber extraction. The soil necromass stocks account for an average 10% of the aboveground biomass stock in the reforestations and the annual litter fall reach an average 7.6% of the biomass in these habitats. This findings point to the importance of the necromass carbon stocks both in biogeochemical research and in the carbon trade.

Keyword: Carbon storage. Reforestation. Atlantic Forest. Litter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 -** Reservatório Capivara, da Usina Hidrelétrica Escola de Engenharia Mackenzie, na divisa São Paulo/Paraná, onde é desenvolvido o Programa de Reflorestamento da Bacia Capivara. A imagem detalhada foi adaptada do mapa da região Sul do IBGE (2014). 1: município de Rancho Alegre-PR, 2: Sertaneja-PR, e os números 3 e 4 apontam duas áreas de estudo no município de Alvorada do Sul-PR..... 24
- Figura 2 -** Coletor de serapilheira com 1 m² e fundo de tela de nylon de malha 1 mm utilizado para a coleta da serapilheira nos fragmentos e reflorestamentos amostrados..... 27
- Figura 3 -** Climograma do período de coleta de dados gerado a partir de dados fornecidos pelo IAPAR, estação meteorológica de Bela Vista do Paraíso, PR..... 29
- Figura 4 -** Biomassa viva acima do solo de árvores, e com DAP acima de 5 cm. Letras diferentes indicam diferença e iguais indicam semelhança pelo teste Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls ($\alpha=0,05$). Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil..... 31
- Figura 5 -** Proporção da biomassa presente em caules de diferentes classes de diâmetro na altura do peito (DAP). Bacia do reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. As letras iguais indicam semelhança na distribuição da biomassa nas diferentes classes, e as diferentes indicam diferenças pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras ($\alpha = 0,05$) 32
- Figura 6 -** Produção anual de serapilheira (Média da produção de dois anos: set/2012 – ago/2013; set/2013 – ago/2014. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Reservatório de Capivara, rio Paranapanema, norte do Paraná, Brasil. 35
- Figura 7 -** Produção mensal de serapilheira (Mg.ha-1) para os diferentes locais de estudo. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do Paraná. Setembro de 2012 a agosto de 2014. 36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 -** Locais de amostragem de biomassa e necromassa em reflorestamentos e fragmentos de floresta estacional semidecidual no norte do estado do Paraná, Brasil25
- Tabela 2 -** Proporção de indivíduos arbóreos com DAP acima de 5cm, em diferentes classes de tamanho, em reflorestamentos e fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, às margens do Reservatório Capivara, norte do estado do Paraná, Brasil. Letras iguais indicam semelhança pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).....30
- Tabela 3 -** Índice de similaridade de Jaccard para espécies vegetais lenhosas com DAP acima de 5 cm entre as áreas estudadas. Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil.....33
- Tabela 4 -** Proporção de biomassa armazenada nas 5 espécies com maior quantidade de massa seca das diferentes áreas. Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. GE: grupo ecológico, pioneiras e iniciais (PI) e tardias e clímax (TC), N: número de indivíduos observados.34
- Tabela 5 -** Coeficiente de Correlação de Spearman (r_s) entre massa seca de serapilheira produzida mensalmente e a precipitação acumulada de 30, 60 e 90 dias anteriores a coleta deste material. (ns = não significativo, para quando $p > 0,05$). (Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil37
- Tabela 6 -** Proporção mensal da produção de serapilheira anual. Não há diferenças significativas entre os locais de estudo, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$). Reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil38

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabela 7 - | Estoque de serapilheira sobre o solo em Mg.ha ⁻¹ . Letras diferentes indicam diferença significativa (p<0,05), entre as áreas, pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil | 38 |
| Tabela 8- | Estoque de serapilheira grossa sobre o solo em Mg.ha-1. Letras diferentes indicam diferença significativa (p<0,05), entre as áreas, pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Frag. – Fragmento Florestal; Ref. – Reflorestamento | 39 |
| Tabela 9 - | Estoque total de serapilheira (fina e grossa) sobre o solo, biomassa (ambos em Mg.ha ⁻¹) e razão necromassa/biomassa (em %) em reflorestamentos e fragmentos florestais. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Frag. – Fragmento Florestal; Ref. – Reflorestamento. A proporção nos reflorestamentos foi calculada em relação à média dos fragmentos | 40 |
| Tabela 10 - | Estimativas de biomassa aérea em reflorestamentos e fragmentos florestais, em Mg.ha-1, idade dos reflorestamentos (em anos) e taxa de acúmulo, em Mg.ha-1.ano-1. S&T 2013: dados do trabalho de Suganuma & Torezan 2013..... | 41 |

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1** - Desenvolvida por Burger e Deliti (1999), utilizada para estimar a biomassa aérea nas áreas de remanescentes florestais. Y: Biomassa em Kilogramas.....26
- Equação 2** - Desenvolvida por Brown (1997), utilizada para estimar a biomassa aérea nos sítios de restauração florestal. Y: Biomassa em Kilogramas.....26

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 13 |
| Revisão Bibliográfica | 15 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| <i>Área de estudo</i> | 23 |
| <i>Coleta de dados</i> | 25 |
| <i>Análise dos dados</i> | 28 |
| RESULTADOS | 29 |
| DISCUSSÃO | 40 |
| CONCLUSÃO | 45 |
| Considerações finais | 45 |
| Referências Bibliográficas | 47 |
| APÊNDICES | 57 |
| APÊNDICE A - Lista de espécies utilizadas no plantio das diferentes áreas de restauração florestal estudadas. Reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Ref: Reflorestamento | 58 |
| APÊNDICE B - Lista de espécies encontradas nos diferentes locais de estudo e a biomassa respectiva de cada espécie. Reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. GE: grupo ecológico, pioneiras e iniciais (PI) e tardias e clímax (TC), N: Número de indivíduos para cada espécie | 60 |

INTRODUÇÃO

É consenso na comunidade científica que diversas atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, a conversão de florestas em áreas agrícolas e pecuárias, queimadas e outras formas de manejo de áreas agricultáveis, são responsáveis por liberar grande quantidade de gases do efeito estufa (GEE's) para a atmosfera (FEARNSIDE 2000; REICOSKY 1997 *apud* MACHADO 2005; IPCC 2007; COOK et al. 2013), levando a um aumento da concentração destes gases na atmosfera, que está associado a um aumento da temperatura média global, processo denominado como aquecimento global antropogênico (BAEDE et. al. 2001). Desta maneira tornou-se importante desenvolver tecnologias capazes de minimizar ou compensar estas emissões e os efeitos causados por elas. Ações têm sido propostas a fim de alcançar este objetivo, como a utilização de métodos menos poluentes na produção de energia e redução no consumo de combustíveis fósseis (RUBIN et al. 1992).

Uma grande porção dessas emissões dos GEEs é oriunda da conversão de ecossistemas terrestres naturais em áreas urbanas e agrícolas, o que levou à proposição do mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007), as florestas tropicais retêm cerca de 200 bilhões de toneladas de carbono, portanto a manutenção desse estoque é fundamental para evitar a aceleração do aumento da concentração de GEE na atmosfera (GALVÃO & LOURENÇO, 2011).

A restauração ambiental tem por objetivo restabelecer a biodiversidade e os processos naturais dos ecossistemas (ENGEL & PARROTA 2003). Entretanto, na restauração florestal, um dos processos naturais dos ecossistemas, a produção primária, passou a oferecer um novo serviço ecológico, que é a remoção de carbono da atmosfera e fixação na biomassa. Portanto, a restauração florestal passa a ter grande importância também como ferramenta na mitigação do aquecimento global, já que estas áreas em restauração, juntamente com os remanescentes florestais, seriam capazes de fixar cerca de três bilhões de toneladas de carbono por ano, através da

assimilação do CO₂ (SANQUETTA & BALBINOT 2004; CHANG 2004; CANADELL & RAUPACH 2008).

Para monitorar o desenvolvimento dos ecossistemas florestais remanescentes e em restauração, com foco no serviço ecológico de estocar carbono, a principal metodologia utilizada atualmente é a estimativa de biomassa aérea (BURGER & DELITTI 1999; SILVEIRA et al. 2008). No entanto há outros componentes do estoque de carbono florestal que têm sido pouco estudados, como por exemplo a necromassa, que está presente tanto acima quanto abaixo do solo (ARAÚJO et al. 1999). A necromassa é um componente de grande importância no ciclo de nutrientes dos ecossistemas florestais, e auxilia na proteção do solo contra a erosão (PAGANO & DURIGAN 2000), entre outras funções ecossistêmicas.

Diversos fatores bióticos (ex. ausência de fonte de propágulos, a presença de predadores e patógenos de mudas e sementes e a presença de espécies exóticas invasoras) e abióticos (ex. disponibilidade hídrica, de nutrientes e nível de compactação do solo) são capazes de influenciar a produtividade primária e o acúmulo de biomassa em ecossistemas em restauração, podendo causar aumento, estagnação, ou até mesmo declínio dos estoques de carbono (e.g. BROWN & LUGO 1990; SALIMON & BROWN 2000; LIEBSCH et al. 2008). Desta forma, o monitoramento desses ecossistemas é necessário para identificar padrões de acúmulo ou declínio e associar estes padrões com fatores ambientais.

O objetivo deste estudo foi estimar os estoques de carbono na biomassa e na necromassa acima do solo em áreas de restauração (reflorestamentos com espécies nativas), comparando a contribuição relativa destes compartimentos entre si e com ecossistemas de referência (fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual). Para cumprir este objetivo, foram propostas as seguintes perguntas:

- Qual é o potencial destas florestas em restauração na fixação de carbono atmosférico?
- Qual é a proporção que os estoques de matéria orgânica (biomassa e necromassa) dos reflorestamentos alcançam em relação aos fragmentos florestais?

- Qual é a contribuição relativa da biomassa e da necromassa para os estoques de carbono?
- A produção primária (inferida apenas a partir da produção de necromassa) é influenciada de forma semelhante pela sazonalidade climática nos dois tipos de ambientes?

Revisão bibliográfica

A atividade de pesquisa recente tem apontado que as atividades antrópicas afetam diretamente a concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE's), como o CO₂, na atmosfera. Da mesma forma, a esmagadora maioria dos trabalhos publicados em revistas com sistema de revisão por pares indica que o aumento dos GEEs é responsável pelo aumento da temperatura média global (Cook et al 2013).

Dados científicos também apontam que ecossistemas terrestres e os oceanos funcionam como sumidouros de carbono, absorvendo grande parte dos GEE's emitidos decorrentes destas atividades entre o final da década de 1950 e 2008, permanecendo na atmosfera cerca de 43 % do CO₂ total emitido. Entretanto há previsões de que a capacidade dos ecossistemas continuarem realizando este papel de sumidouro de GEE's esteja sendo reduzida, afetando a estabilidade climática global (LE QUÉRÉ et al. 2009; PETER et al. 2013). É, portanto, essencial compreender como variam os estoques de carbono globais, pois a dinâmica dos estoques e dos fluxos entre ecossistemas e a atmosfera pode apontar caminhos para mitigar os efeitos do aquecimento global.

Estoques de carbono

Atualmente, o maior estoque global de carbono encontra-se nos oceanos, com cerca de 38000 Pg, seguido das formações geológicas com 5000 Pg, dos ecossistemas terrestres somando a vegetação (620 Pg) com o carbono presente no solo (2500 Pg) e por último da atmosfera com cerca de 760 Pg de carbono (MACHADO 2005).

Apesar de ocorrer em menor quantidade em relação aos outros, o carbono presente na atmosfera possui grande importância, pois está presente

em sua maior porção como CO₂, um dos GEE's, e, portanto, este estoque é responsável na retenção de energia na atmosfera (LACIS et al. 2010).

Devido ao fato de que a atmosfera possui menor quantidade de carbono, quando comparada aos outros estoques, esta pode sofrer grandes alterações, decorrentes de emissões provenientes dos outros estoques. Como pode ser observado pela alteração da concentração de CO₂ entre o período pré industrial (280 ppm) e o período atual, atingindo 353 em 1990 (IPCC 2001), e atualmente superando 450 ppm (IPCC 2014).

Aquecimento global

O aumento da temperatura média global - difundindo popularmente como aquecimento global - é resultado da intensificação do efeito estufa. Tal fenômeno ocorre devido ao aumento dos GEE's, tais como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (NO₂). O efeito estufa é um fenômeno que ocorre naturalmente e possibilita a existência de vida na Terra, pois auxilia na manutenção da temperatura global (TOMMASINO & FOLADORI 2001).

Entretanto, diversas atividades humanas, como processos industriais, conversão de florestas para agropecuária, queimadas, queima de combustíveis fósseis entre outros, são responsáveis por causar um balanço positivo dos GEE's na atmosfera, resultando em uma maior retenção de energia na atmosfera e, conseqüentemente, o aumento da temperatura média global (FEARNSIDE 2000; IPCC 2007).

Apesar de haver partes da sociedade acadêmicas que negam a ocorrência do aquecimento global, ou que não há influência humana neste fenômeno, segundo Cook e colaboradores (2013) foram publicados 11944 artigos científicos sobre esta temática, dentre estes: 32,6% defendem que o aquecimento global é algo real, 66,4% não se posicionam e apenas 0,7% rejeitam a ocorrência deste fenômeno. Quando os autores destes artigos foram questionados, cerca de 97% deles defende que a ocorrência do aquecimento global é real (COOK et al. 2013), e, portanto é possível afirmar que o aumento da temperatura média global por causas antropogênicas é consenso no meio científico.

Efeitos do aquecimento global

Estudos realizados em florestas tropicais tem demonstrado efeitos negativos do aquecimento global antropogênico sobre o funcionamento dos ecossistemas, como a redução das taxas de crescimento das árvores (FEELEY et al. 2007) e a liberação líquida de CO₂ para a atmosfera (SCHIERMEIER 2009), ocasionando um ciclo vicioso entre aumento da temperatura e perturbações no ciclo de carbono das florestas (COX et al. 2000; HENRIQUES 2010). Estes dados se contrapõem a estudos que sugerem um aumento das taxas de crescimento da vegetação devido à maior disponibilidade de CO₂ na atmosfera (portanto, servindo como “adubação” para as plantas; LLOYD & FARQUHAR 2008). No entanto, outros fatores limitantes podem entrar em ação após a fertilização com CO₂, e atualmente há dúvidas sobre a resposta de diversos aspectos do funcionamento das florestas diante do cenário do aquecimento global, como a ciclagem de nutrientes, os processos demográficos nas populações e a resposta das espécies a estresses como secas intensas, o que torna necessário a realização de estudos que busquem modelos que contribuam para explicar estes fenômenos.

As alterações climáticas possuem efeito direto no ciclo hidrológico, podendo aumentar as taxas de evapotranspiração pelas plantas e evaporação de água do solo, bem como a intensificação de fenômenos como *El Niño* e *La Niña* e, conseqüentemente, altera as ocorrências de chuvas, aumentando os incidentes de secas e alagamentos drásticos (NOBRE et al. 2007). Laurance e Williamson (2001) apontam que as ocorrências de períodos de secas intensas são responsáveis por elevar a mortalidade de árvores, deste modo, estes resultados demonstram que os ciclos de chuvas nas florestas tropicais estão diretamente relacionados à capacidade destes de ambientes funcionarem como sumidouros ou fontes de carbono para a atmosfera.

Estas alterações do ciclo hidrológico são responsáveis por modificar de forma significativa a disponibilidade de água nos sistemas fluviais, causando mudanças nas estruturas destes ecossistemas aquáticos. Desta forma, é possível que tanto ecossistemas terrestres, quanto aquáticos estejam sujeitos a um aumento na taxa de extinção de espécies devido às modificações nas estruturas e nas composições de espécies nos diferentes ecossistemas que

soma-se a outros fatores, como poluição, presença de espécies invasoras e fenômenos climáticos drásticos (CAHILL et al. 2012; IPCC 2014).

Estas alterações climáticas também são capazes de afetar de forma direta os indivíduos vivos em relação ao processo fisiológico (e.g. alteração na taxa de metabólica, eficiência no uso de água) e fenológico (e.g. alteração nas épocas de floração e frutificação), além de influenciarem na distribuição dos indivíduos dentro de um ecossistema (HUGHES 2000; REZENDE et al. 2015).

As alterações climáticas também têm efeito direto sobre o ciclo do carbono no solo, pois ele é dependente da dinâmica de deposição de material vegetal morto e a taxa de decomposição e mineralização deste material, sendo, portanto, altamente dependente das condições climáticas, como temperatura e umidade, bem como da presença de organismos responsáveis pela decomposição deste material (MACHADO 2005). Diversos estudos, realizados sobre a resposta de comunidades de microrganismos em relação ao aumento de temperatura, apontam que, predominantemente, estes organismos possuem correlação positiva com o aumento da temperatura (KARHU et al. 2014). Esses resultados demonstram que o aumento da temperatura média global pode ter como consequência, maior liberação de GEE's para a atmosfera, como resultado da maior taxa de decomposição nos ecossistemas terrestres (LIU et al. 2005; SAYER et al. 2007).

Segundo o quinto relatório do IPCC (2014) as alterações nos regimes de cheias e secas intensas podem resultar na redução da saúde da população humana, como decorrência da qualidade de água disponível para consumo. Somado a isto, existe grande risco de redução de produções agropecuárias e, conseqüentemente, sobre a produção de alimentos para a sociedade. A produção de energia elétrica, que hoje pode ser considerada como essencial para a manutenção de qualidade de vida humana, é diretamente impactada por estas alterações do regime hidrológico, pois em alguns locais, como Brasil, as usinas hidrelétricas são a principal forma de produção energética (MARENGO et al. 2007; IPCC 2014).

Formas de mitigação do aquecimento global

Para realizar medidas de mitigação destas alterações climáticas que sejam efetivas, é necessário que haja iniciativas políticas, tais como o Protocolo de Kyoto (1997), o Acordo de Copenhague (2009), o Acordo de Paris (2015), nas quais é proposto que haja incentivo dos governos para reduzir as emissões de carbono para atmosfera através de alterações nas produções industriais, agrícolas e energéticas (LAU et al. 2012; VIJAYAVENKATARAMAN et al. 2012).

É bastante claro que atualmente é necessário, e possível, o desenvolvimento de tecnologias que possuam foco tanto na preservação do meio ambiente, quanto no desenvolvimento social, além do foco econômico convencional (VENTURA et al., 2011). Setores como agropecuária, geração de energia e processos industriais são responsáveis por grandes emissões de carbono para a atmosfera, e, portanto, é necessário que haja adaptações para alterar este cenário (MCKINSEY & COMPANY 2009).

Para minimizar as emissões de CO₂ e CH₄ para a atmosfera pela agropecuária, tem sido proposto: o manejo correto do solo, seleção de cultivares de alta produção, alterações nas dietas animais que inibam a produção do gás metano, principalmente em ruminantes, e a seleção genética de animais que produzam naturalmente uma menor quantidade deste gás (MACHADO 2005; YUSUF et al. 2012).

Como forma de reduzir as emissões de GEE's no setor energético, tem sido proposto o uso de biocombustíveis em substituição aos combustíveis derivados de petróleo e carvão mineral, bem como o reaproveitamento de CO₂ e CH₄, liberados nos processos de combustão e decomposição, na produção de combustível, e desta forma reaproveitar estes subprodutos (ELSAYED et al. 2003; EDWARDS et al. 2011; YUSUF et al. 2012; TAHIR & AMIN 2013).

A principal fonte global de GEE's é a queima de combustíveis fósseis, seguida do desmatamento e degradação florestal (VAN DER WERF, 2009). Em alguns países, como o Brasil, a maior proporção emitida destes gases é proveniente do desmatamento (FEARNSIDE 1999; MCKINSEY & COMPANY 2009; VAN DER WERF et al. 2009). Desta forma têm sido propostos projetos que visam mitigar os efeitos do aquecimento global através da preservação

florestal, como a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação ambiental (REDD) (FEARNSIDE 1999; RIGHELATO & SPROCKLEN 2007; GALVÃO & LOURENÇO 2011). Somada à conservação de florestas, a restauração florestal tem sido considerada como potencial sumidouro de carbono, através da fixação do CO₂ atmosférico (CHANG 2004; SANQUETTA & BALBINOT 2004; RIGHELATO & SPROCKLEN 2007), principalmente, quando estas florestas secundárias estão presentes em áreas úmidas (POORTER et al. 2016).

A restauração ambiental tem por objetivo restabelecer a biodiversidade e os processos naturais dos ecossistemas originais (ENGEL & PARROTA 2003). Entretanto, estima-se que a conservação e a restauração de florestas são capazes de fixar cerca de três Petagramas de carbono por ano, através da assimilação do CO₂ (CANADELL & RAUPACH 2008), portanto são ferramentas importantes na mitigação do aquecimento global.

Estudos apontam um rápido desenvolvimento da biomassa acima do solo em áreas de restauração, alcançando cerca de 150 Mg/ha em 50 anos, em áreas de florestas úmidas e 80 anos em áreas de floresta mista (SILVER et al. 2000). Suganuma e Torezan (2013), em estudos conduzidos em uma área de floresta estacional, levantaram áreas de restauração que, apesar de apenas 5 anos de idade, já continham biomassa acima do solo de 80 Mg/ha, valor próximo do encontrado na remanescente florestal utilizado como referência (134 Mg/ha), demonstrando a capacidade destas áreas como fixadoras eficientes de carbono atmosférico.

Os estudos que trabalham com os estoques de carbono normalmente focam na biomassa das plantas acima do solo, entretanto existem outros estoques de carbono, como a biomassa abaixo do solo, matéria orgânica do solo e material vegetal morto (necromassa) (PREISKORN 2011), que normalmente não são contabilizados, porém, igualmente importantes.

A serapilheira é todo componente morto das plantas, incluindo folhas, galhos finos, flores, frutos entre outras partes (KOEHLER 1989) e é essencial na manutenção do funcionamento do ecossistema, pois sua decomposição libera nutrientes para o solo, que posteriormente serão absorvidos pelas plantas (FIGUEIREDO FILHO 2003). Pimenta e colaboradores (2011) em estudo em área de Floresta Estacional Semidecidual encontraram uma

produção de cerca de 5 Mg de serapilheira por hectare em um reflorestamento com 18 anos de idade, valor bem abaixo do remanescente florestal utilizado como referência (8 Mg/ha). Segundo os autores, isso ocorre devido ao reflorestamento ser composto por um número baixo de espécies que foram plantadas no local e pela imaturidade dos indivíduos que estão regenerando sob o dossel deste reflorestamento.

Devido à dependência da vegetação, e, conseqüente deposição de matéria orgânica sobre o solo, alguns estudos apontam a implantação de ambientes florestais como forma de incrementar os estoques de carbono do solo (JANDL et al. 2007). Guo e Gifford (2002) encontraram que a alteração de áreas de cultivos para florestas secundárias apresenta um incremento de C no solo(cerca de 50%). E, outros estudos apontam um aumento de cerca 0.6 a 1 Mg de carbono por ano no solo por hectare através da restauração de ecossistemas em uma perspectiva global (LAL 2004).

Além da fixação do carbono atmosférico, diversos estudos têm apontado para várias formas de contribuições das áreas de restauração florestal para a mitigação do aquecimento global, como auxiliar na preservação de florestas maduras, por servirem como corredores ecológicos e evitarem a pressão do desmatamento sobre estas florestas, alterações micro e mesoclimáticas (dependendo da área compreendida pelos reflorestamentos) através da manutenção da umidade do ar e amenização da temperatura local, redução da perda de carbono e outros nutrientes pela lixiviação entre outros serviços ecológicos (LOCATELLI et al. 2015).

Limitações de reflorestamentos como sumidouros de CO₂

Estudos baseados no uso de terras estimam que foram perdidos cerca de 180 a 200 Pg de C na conversão de áreas naturais para agricultura e urbanização, deste montante em torno de 120 Pg de C foram liberadas para a atmosfera entre 1850 e 1990 (HOUSE et al. 2002). Somando as emissões por queima de combustíveis fósseis realizadas entre o período pré-industrial e os anos 2000, tem-se cerca de 500 Pg de C liberadas para a atmosfera. Devido à absorção de parte deste carbono por ecossistemas florestais e pelos oceanos, o resultado foi de um aumento de cerca de 190 Pg de C na atmosfera, ou seja,

a retenção do carbono antropogênico na atmosfera é em torno de 40% (HOUSE et al. 2002).

Winjun e colaboradores (1992) estimam que para captar cerca de 50 a 100 Pg de C seria necessária a recuperação de 600 milhões a 1,2 bilhão de ha em um período próximo a 50 anos. Portanto, o esforço e a disponibilidade de áreas para realizar tais restaurações tornam-se barreiras difíceis de serem ultrapassadas.

Adicionalmente, o sucesso dos reflorestamentos é incerto, pois, devido a problemas no percurso da sucessão secundária, os resultados finais podem desviar-se do esperado (BROWN & LUGO 1990; SALIMON & BROWN 2000; LIEBSICH et al. 2008), podendo afetar o funcionamento do ecossistema natural e a capacidade de fixar carbono nestes ambientes, e podendo resultar numa quantidade de carbono menor que o esperado, não cumprindo de forma eficiente o objetivo esperado para estas áreas.

Sendo assim são necessários estudos que visem entender melhor como se dão os processos de desenvolvimento nestas áreas, para tornar o sucesso dos processos de restauração viáveis, e também qual a capacidade de retenção de CO₂ a médio e longo prazo, por estes ambientes. Somado a isso, medidas de conservação para redução das emissões por desmatamento e queimadas devem ser efetivadas, bem como a redução de emissões por processos industriais, agropecuários, transporte, entre outros.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi conduzido em áreas adjacentes ao Reservatório Capivara, (Figura 1), situado no Norte do Estado do Paraná, nas quais foi iniciado em 2001 um projeto de restauração florestal, com acompanhamento do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas (LABRE) da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

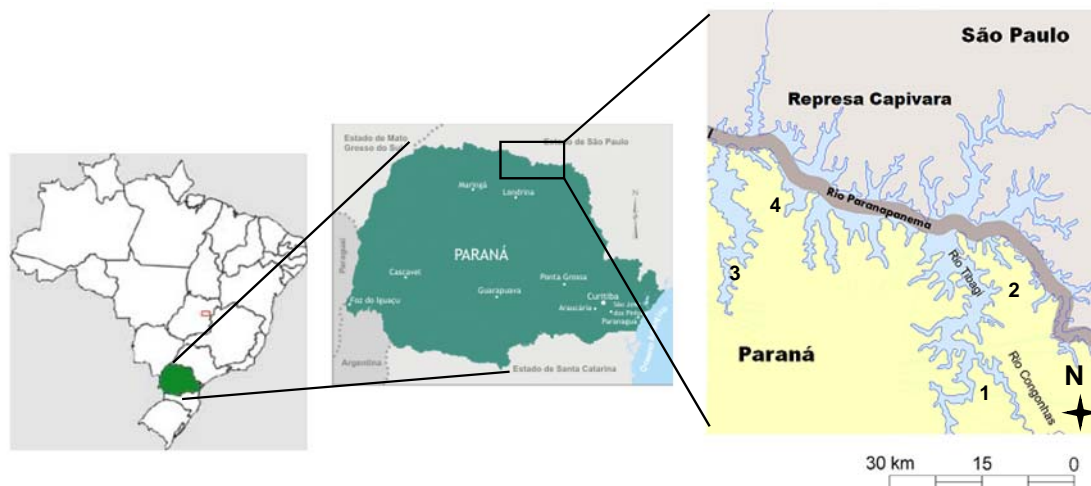
Estes reflorestamentos foram instalados utilizando o plantio de espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual, principalmente pioneiras e secundárias iniciais, com espaçamento de 2 x 3m. O controle de vegetais invasores foi realizado por 24 meses por meio de coroamento manual das mudas e utilização de roçadeiras mecânicas nas entrelinhas.

Segundo Torezan (2002), a vegetação original da área de estudo era Floresta Estacional Semidecidual (Bioma Mata Atlântica), da qual restam apenas pequenos fragmentos florestais, que sofreram, em sua maioria, extração seletiva de madeira, entre outras perturbações antrópicas. Alguns destes fragmentos são contíguos às áreas de reflorestamentos, e têm sido usados como áreas de referência para o monitoramento da restauração ecológica nos reflorestamentos.

De acordo com Caviglionie e colaboradores (2000), essa região encontra-se sob clima subtropical, tipo Cfa, segundo classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 22°C e 23°C, sendo a temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca marcante. A precipitação média anual varia entre 1200 a 1600 mm e a umidade relativa do ar média entre 65 e 70%, estimando-se que a evapotranspiração potencial seja superior a 1200 mm (EMBRAPA 1997; CAVIGLIONE et al. 2000).

Os solos mais comuns na região são do tipo latossolo vermelho eutroférico e nitossolo eutroférico, ambos destacando-se por serem de grande fertilidade natural e bem drenados, e com boa capacidade de retenção de água (STIPP 2002; EMBRAPA 1997).

Figura 1 - Reservatório Capivara, da Usina Hidrelétrica Escola de Engenharia Mackenzie, na divisa São Paulo/Paraná, onde é desenvolvido o Programa de Reflorestamento da Bacia Capivara. A imagem detalhada foi adaptada do mapa da região Sul do IBGE (2014). 1: município de Rancho Alegre-PR, 2: Sertaneja-PR, e os números 3 e 4 apontam duas áreas de estudo no município de Alvorada do Sul-PR.



A amostragem foi feita em quatro reflorestamentos com 10 a 11 anos de idade (contados a partir do plantio das mudas) e dois fragmentos florestais contíguos, sendo que estes remanescentes foram considerados como áreas de referência para comparação dos dados observados nos primeiros (Tabela 1).

Os reflorestamentos foram implantados através do plantio de mudas de espécies arbóreas de início de sucessão (pioneiras e secundárias iniciais), com espaçamento 3m x 2m (CAVALHEIRO et al. 2002). Realizou-se o controle mecanizado de plantas ruderais e invasoras nas entrelinhas e o coroamento (capina no entorno das mudas) durante 24 meses ou até o momento em que as copas das árvores cobriram as entrelinhas.

Os fragmentos por sua vez, não possuem registro formal de atividades antrópicas, mas observações de campo permitiram constatar a presença de cepos, além de uma alta densidade de lianas e baixa densidade de árvores de grande porte, indicando atividades relacionadas à extração de madeira nestes locais.

Tabela 1- Locais de amostragem de biomassa e necromassa em reflorestamentos e fragmentos de floresta estacional semidecidual no norte do estado do Paraná, Brasil

| Local | Código | Categoria | Área (ha) | Data de plantio |
|-----------------|---------------|------------------|------------------|------------------------|
| Rancho Alegre | Frag.1 | fragmento | 108 | - |
| Rancho Alegre | Ref.1 | reflorestamento | 11,8 | nov / 2002 |
| Sertaneja | Frag.2 | fragmento | 32 | - |
| Sertaneja | Ref.2 | reflorestamento | 14,4 | set / 2003 |
| Alvorada do Sul | Ref.3 | reflorestamento | 4,8 | out/2002 |
| Alvorada do Sul | Ref.4 | reflorestamento | 6,4 | nov/ 2003 |

Coleta de dados

Estimativa de Biomassa

Em cada local de amostragem, reflorestamento ou fragmento florestal, foram distribuídas 10 parcelas de 10 x 10 m, com uma distância mínima de 50 m entre elas, e respeitando distâncias de pelo menos 50 m das bordas.

Para a estimativa da biomassa vegetal viva acima do solo foram medidos e identificados todos os indivíduos arbóreos com circunferência na altura do peito (CAP, a 1,3 m do solo) igual ou superior a 15,7 centímetros. A identificação foi feita em campo, sempre que possível, ou por meio de coleta do material botânico para posterior identificação no acervo do Herbário da Universidade Estadual de Londrina (FUEL). A biomassa dos demais componentes vegetais (arbustos, cipós e herbáceas) foi desprezada, pois, segundo Brown e colaboradores (1995), em estudo realizado na região da floresta amazônica central, sua contribuição para a biomassa total é menor do que a incerteza associada com as estimativas da biomassa das árvores que formam o dossel e as emergentes. Em áreas de floresta secundária estudos apontam baixa contribuição de lianas no acúmulo de biomassa, sendo geralmente abaixo de 10 % da biomassa total (DURÁN & SANCHEZ-AZOFEIFA 2015).

Para cada indivíduo amostrado foi medida a CAP, com uma fita métrica de 1,50 m de comprimento e precisão de 1 mm. Para estimar a

biomassa os dados de CAP foram transformados em diâmetro na altura do peito (DAP). Posteriormente, foram utilizadas duas equações, sendo uma para remanescentes florestais de Mata Atlântica, desenvolvida por Burger e Dellitti (1999) (equação 1), e outra para áreas de floresta secundária em estágio inicial de sucessão, desenvolvida por Brown (1997) e sugerida por Melo e Durigan (2006) para uso em áreas de restauração florestal (equação 2).

Estas equações foram selecionadas com base no tipo de ambiente para o qual foram desenvolvidas, de forma que o erro fosse reduzido, principalmente aquele relacionado à densidade da madeira, devido a uma possível semelhança quanto a esta variável entre as espécies dos ambientes em que estas equações foram geradas e os que foram estudados neste trabalho.

Equação 1 - Desenvolvida por Burger e Deliti (1999), utilizada para estimar a biomassa aérea nas áreas de remanescentes florestais. Y: Biomassa em Kilogramas.

$$Y = [0,523 + 0,053*(Perímetro)]^3$$

Equação 2 - Desenvolvida por Brown (1997), utilizada para estimar a biomassa aérea nos sítios de restauração florestal. Y: Biomassa em Kilogramas.

$$(Y = \exp[-1,996 + 2,32*\ln(DAP)])$$

Estimativa de necromassa

Para estimar a necromassa, esta foi dividida em dois componentes: a serapilheira, que é composta de folhas, flores, frutos e galhos com espessura menor que 1,5 cm de diâmetro. Os galhos, troncos e casca de árvores com espessura maior que 1,5 cm, foram tratados como serapilheira grossa.

Para a estimativa da massa de serapilheira depositada por unidade de área e por unidade de tempo foram instalados, em cada local amostrado, 10 coletores de um metro quadrado e 0,5m de altura, composto por fundo de tela de nylon de malha 1 mm (Figura 2). Os coletores foram instalados adjacentes às parcelas utilizadas para a estimativa da biomassa.

Figura 2 - Coletor de serapilheira com 1 m² e fundo de tela de nylon de malha 1 mm utilizado para a coleta da serapilheira nos fragmentos e reflorestamentos amostrados



O material depositado nestes coletores foi recolhido mensalmente, durante 24 meses, e levado ao laboratório para secagem em estufa a 80 °C durante 48 horas e posteriormente pesado em balança de precisão para determinar a massa seca.

Para estimativa do estoque de necromassa depositada sobre o solo foram selecionados locais adjacentes às parcelas de 100 m². Utilizou-se um quadro de madeira de 50 x 50 cm (0,25m²) para determinar a área onde o material seria recolhido, manualmente e com auxílio de um pincel largo e de uma pá de lixo. O material coletado mensalmente, entre janeiro e maio, e com mais uma coleta no mês de julho. Este material foi armazenado em sacos de papel, e passou pelo mesmo processo de secagem e pesagem que a serapilheira dos coletores.

Para a estimativa do estoque de serapilheira grossa depositada sobre o solo foram utilizadas parcelas não fixas, a fim de se evitar que o recolhimento do material fosse realizado duas vezes no mesmo local. Foram utilizadas cinco parcelas com 10 m² (5m x 2m) em cada área de estudo, sempre adjacentes às parcelas de 100 m². Foram realizadas três coletas desse componente com intervalo de 3 meses entre as mesmas. O material recolhido das parcelas foi pesado em campo com auxílio de dinamômetros portáteis (Pesola®), e foram recolhidas amostras de componentes do material (troncos grossos ou finos, de diferentes espécies, com grau maior ou menor de decomposição) que foram

pesadas e levadas ao laboratório para determinação da massa seca, e do teor de água do material. A proporção de água contida na massa fresca das amostras foi utilizada para estimar a massa seca do material das parcelas a partir da massa úmida medida em campo.

Análise dos dados

Para comparar a biomassa e o estoque de serapilheira grossa dos reflorestamentos entre si, e com os remanescentes florestais foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$) (referido doravante como K-W S) (ZAR 1999).

Além da biomassa, buscou-se verificar se houve diferença na estrutura da vegetação e na composição de espécies comparando os fragmentos florestais e os reflorestamentos. Para tanto, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (referido doravante como K-S) ($\alpha = 0,05$) para comparar a distribuição da concentração de biomassa em sete categorias de DAP (5 a 15 cm, 15,1 a 25 cm, 25,1 a 35 cm, 35,1 a 45 cm, 45,1 a 55 cm, 55,1 a 65 cm e entre 65,1 e 75cm), e o índice de similaridade de Jaccard.

Para verificar a influência dos locais de estudo e a variância entre os dois anos de coleta na produção anual de serapilheira foi realizado um teste de Modelo Linear Generalizado (GLM), com distribuição Log-normal. O resultado deste GLM apontou que as variações dos locais de estudo são importantes para o resultado ($p < 0,01$), enquanto que os anos de coleta não apresentaram influência sobre este ($p = 0,39$), portanto foi feita uma média da produção anual de serapilheira para cada local de estudo, e estes foram comparados entre si através do K-W S ($\alpha = 0,05$) (ZAR 1999).

Para verificar se há semelhança entre a distribuição mensal da produção de serapilheira entre as áreas (reflorestamentos e fragmentos florestais), os dados mensais foram transformados em proporção da produção anual de cada área, e em seguida foi utilizado o teste de K-S.

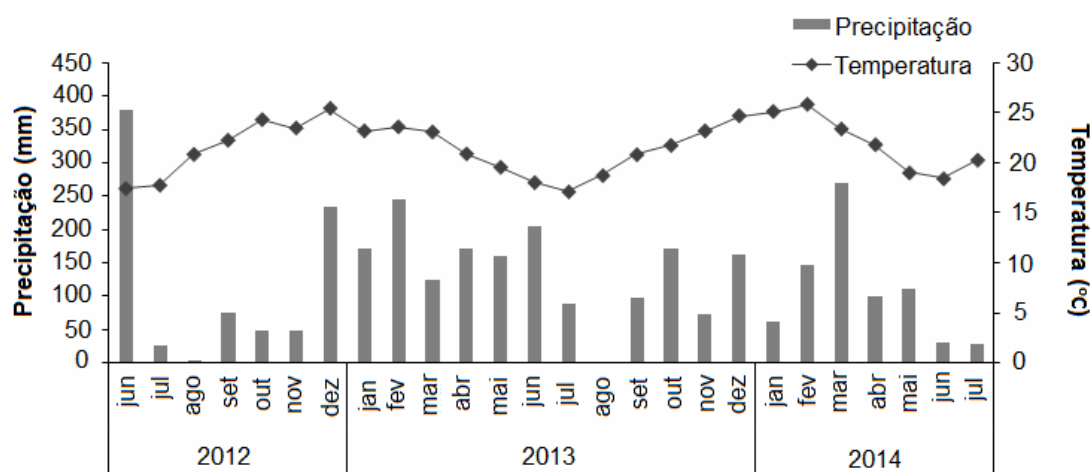
A produção mensal da serapilheira foi correlacionada com a precipitação pluviométrica acumulada de 30, 60 e 90 dias anterior à coleta por meio do índice de correlação de Spearman (representado como r_s), com base nos dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) de Bela Vista

do Paraíso (figura 3), a fim de verificar a influência da sazonalidade climática na deposição deste material.

Os dados do estoque de serapilheira depositada sobre o solo foram comparados entre as áreas, para cada mês, por meio do teste de Kruskal-Wallis, quando foi detectada diferença estatística neste teste aplicou-se o teste Dunn, que permite a comparação entre amostras com tamanho diferente (referido doravante como K-W D) (ZAR 1999).

O estoque de serapilheira grossa no solo foi comparado, para cada coleta, entre as áreas utilizando o teste de K-W S.

Figura 3 - Climograma do período de coleta de dados gerado a partir de dados fornecidos pelo IAPAR, estação meteorológica de Bela Vista do Paraíso, PR



RESULTADOS

Biomassa

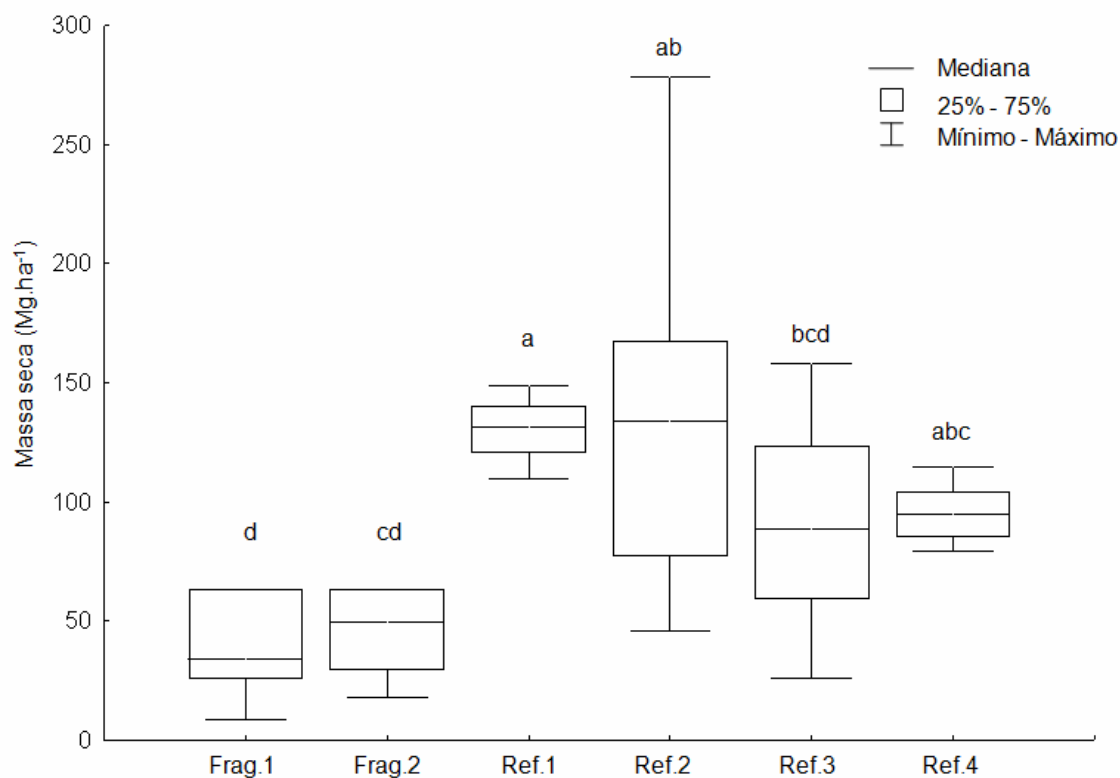
No fragmento 1 foi observada uma densidade de 1260 caules.ha⁻¹, acima de 5 cm de DAP, e no fragmento 2, obteve-se 980 caules.ha⁻¹. Nos reflorestamentos a densidade variou de 1300 a 1900 caules. A distribuição de indivíduos nas diferentes classes de DAP apresentou três diferentes agrupamentos por semelhança, através do teste K-S: os reflorestamentos 1, 3 e 4 representam um grupo semelhante entre si, o fragmento 1 e o reflorestamento 2, foram semelhantes e o fragmento 2 que diferenciou-se de todas as outras áreas estudadas (Tabela 2).

Ao contrário da expectativa inicial, os reflorestamentos apresentaram valores de biomassa aérea semelhantes ou superiores aos encontrados nos fragmentos florestais (K-W S, $p < 0,01$), destacando-se os reflorestamentos 1 e 2 por apresentarem valores superiores a ambos remanescentes florestais (Figura 4).

Tabela 2 - Proporção de indivíduos arbóreos com DAP acima de 5cm, em diferentes classes de tamanho, em reflorestamentos e fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, às margens do Reservatório Capivara, norte do estado do Paraná, Brasil. Letras iguais indicam semelhança pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$)

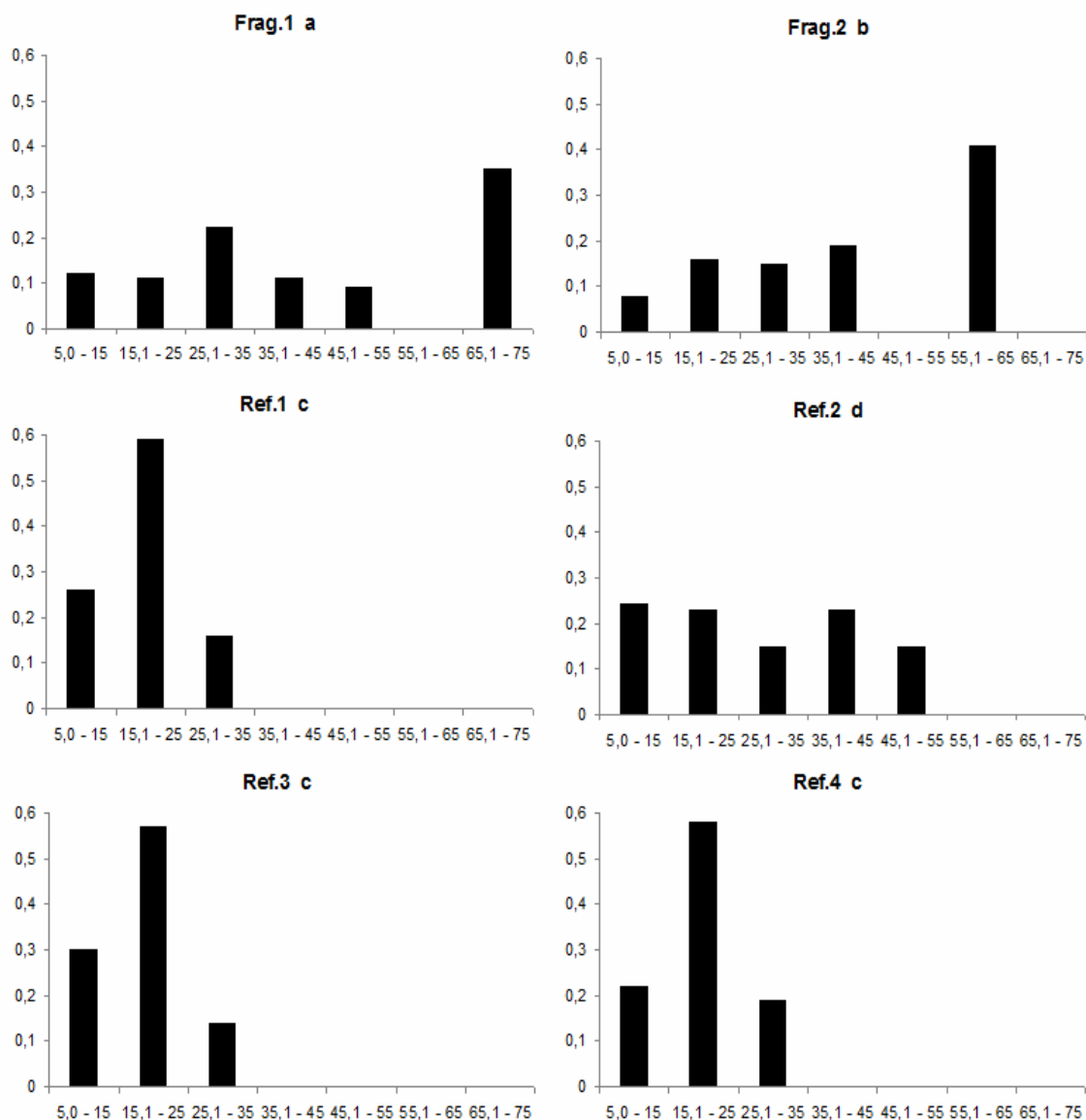
| DAP (cm) | Local | | | | | |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Frag.1 | Frag.2 | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| 5 - 15 | 0.79 | 0.68 | 0.65 | 0.79 | 0.68 | 0.63 |
| 15,1 - 25 | 0.10 | 0.18 | 0.31 | 0.14 | 0.29 | 0.33 |
| 25,1 - 35 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 |
| 35,1 - 45 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 45,1 - 55 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 55,1 - 65 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 65,1 - 75 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | a | b | c | a | c | c |

Figura 4 - Biomassa viva acima do solo de árvores, e com DAP acima de 5 cm. Letras diferentes indicam diferença e iguais indicam semelhança pelo teste Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls ($\alpha=0,05$). Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil



Analisando a distribuição de biomassa nas diferentes classes de DAP, através do teste K-S, foi observada semelhança apenas entre os reflorestamentos 1, 3 e 4 ($p>0,05$). As outras áreas não foram semelhantes a nenhuma outra ($p<0,05$) (figura 5). Os fragmentos apresentaram maior acúmulo de biomassa nas duas maiores classes de DAP (Frag.1 – 65,1<75 cm; Frag.2 – 55,1<65 cm), enquanto que nos reflorestamentos 1, 3 e 4 apresentaram 100% da biomassa nas três classes de DAP menores. O reflorestamento 2, diferente de todas as áreas apresentou grande acúmulo de biomassa entre 35,1cm e 55 cm de DAP (35,1-45 cm = 23%; 45,1-55 cm = 15%).

Figura 5 - Proporção da biomassa presente em caules de diferentes classes de diâmetro na altura do peito (DAP). Bacia do reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. As letras iguais indicam semelhança na distribuição da biomassa nas diferentes classes, e as diferentes indicam diferenças pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras ($\alpha = 0,05$)



O índice de similaridade (Jaccard) indica que estes dois tipos de ambientes são bastante diferentes quanto à composição de espécies vegetais lenhosas (Tabela 3). Observando a lista de espécies amostradas neste estudo é possível notar que esta diferença apontada pelo índice de similaridade é resultado de que nos reflorestamentos ainda predominam as espécies utilizadas nos plantios, que representam a maior porção da biomassa (tabela 4). Estas espécies predominantes nos sítios de restauração são consideradas

típicas dos estágios iniciais da sucessão (espécies pioneiras), que possuem por característica madeira com baixa densidade.

Nos fragmentos há tanto espécies de estágios finais da sucessão, quanto oportunistas de clareira como *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, que desenvolvem-se quando há alteração no microclima no interior de fragmentos florestais, causada pela abertura de clareiras.

Tabela 3 - Índice de similaridade de Jaccard para espécies vegetais lenhosas com DAP acima de 5 cm entre as áreas estudadas. Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil

| | Frag.1 | Frag.2 | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Frag.1 | - | | | | | |
| Frag.2 | 0,407 | - | | | | |
| Ref.1 | 0,109 | 0,135 | - | | | |
| Ref.2 | 0,038 | 0,039 | 0,357 | - | | |
| Ref.3 | 0,043 | 0,044 | 0,391 | 0,181 | - | |
| Ref.4 | 0,094 | 0,12 | 0,464 | 0,4 | 0,16 | - |

Tabela 4 - Proporção de biomassa armazenada nas 5 espécies com maior quantidade de massa seca das diferentes áreas. Reservatório Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. GE: grupo ecológico, pioneiras e iniciais (PI) e tardias e clímax (TC), N: número de indivíduos observados

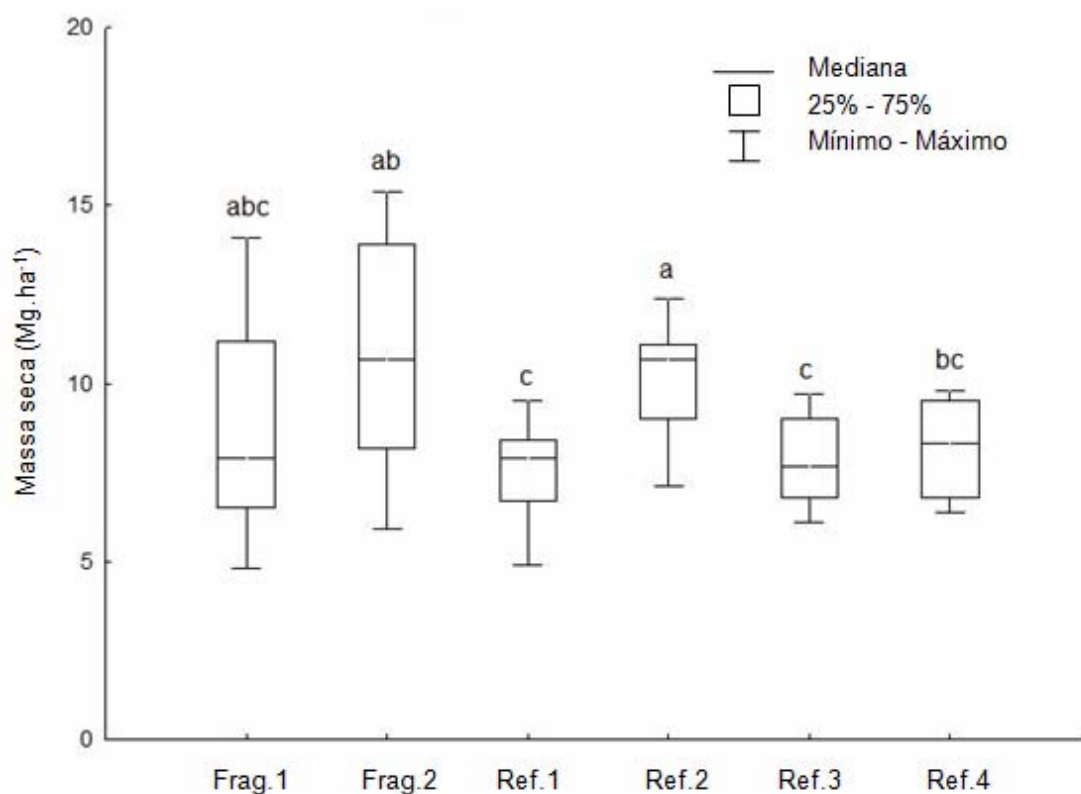
| Local | Espécie | GE | N | Proporção |
|--------|---|----|----|-----------|
| Frag.1 | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | PI | 10 | 0,38 |
| | <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. | TC | 2 | 0,09 |
| | <i>Ficus glabra</i> Vell. | PI | 2 | 0,07 |
| | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | PI | 5 | 0,07 |
| | <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. | TC | 5 | 0,05 |
| | Espécies restantes | | 69 | 0,34 |
| Frag.2 | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | PI | 14 | 0,29 |
| | <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. | TC | 7 | 0,22 |
| | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. | PI | 8 | 0,17 |
| | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | PI | 2 | 0,06 |
| | <i>Myrcia laruotteana</i> Cambess. | TC | 2 | 0,05 |
| | Espécies restantes | | 60 | 0,21 |
| Ref.1 | <i>Heliocharpus popayanensis</i> Kunth | PI | 30 | 0,28 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | PI | 16 | 0,14 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | PI | 18 | 0,14 |
| | <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl. | PI | 11 | 0,12 |
| | <i>Phytolacca dioica</i> L | PI | 3 | 0,07 |
| | Espécies restantes | | 53 | 0,25 |
| Ref.2 | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | PI | 5 | 0,47 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | PI | 13 | 0,12 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | PI | 27 | 0,12 |
| | <i>Heliocharpus popayanensis</i> Kunth | PI | 20 | 0,11 |
| | <i>Falcataria moluccana</i> (Miq.) Barneby & J.W. Grimes | PI | 30 | 0,08 |
| | Espécies restantes | | 18 | 0,10 |
| Ref.3 | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | PI | 19 | 0,31 |
| | <i>Heliocharpus popayanensis</i> Kunth | PI | 11 | 0,27 |
| | <i>Phytolacca dioica</i> L | PI | 8 | 0,14 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | PI | 17 | 0,12 |
| | <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl. | PI | 8 | 0,08 |
| | Espécies restantes | | 20 | 0,08 |
| Ref.4 | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | PI | 26 | 0,43 |
| | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | PI | 8 | 0,12 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | PI | 21 | 0,08 |
| | <i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham. | PI | 3 | 0,07 |
| | <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan | PI | 3 | 0,07 |
| | Espécies restantes | | 26 | 0,23 |

Deposição de serapilheira

Os locais de estudo localizados em Sertaneja (Ref.2 e Frag.2) apresentaram os maiores valores para a produção anual de serapilheira, com destaque para Ref.2, que diferenciou-se estatisticamente dos outros reflorestamentos estudados (K-W S, $p = 0,01$). Já o fragmento 1 e reflorestamento 4 apresentaram valores intermediários, enquanto que os reflorestamentos 1 e 3 obtiveram os menores valores para esta variável em questão (Figura6).

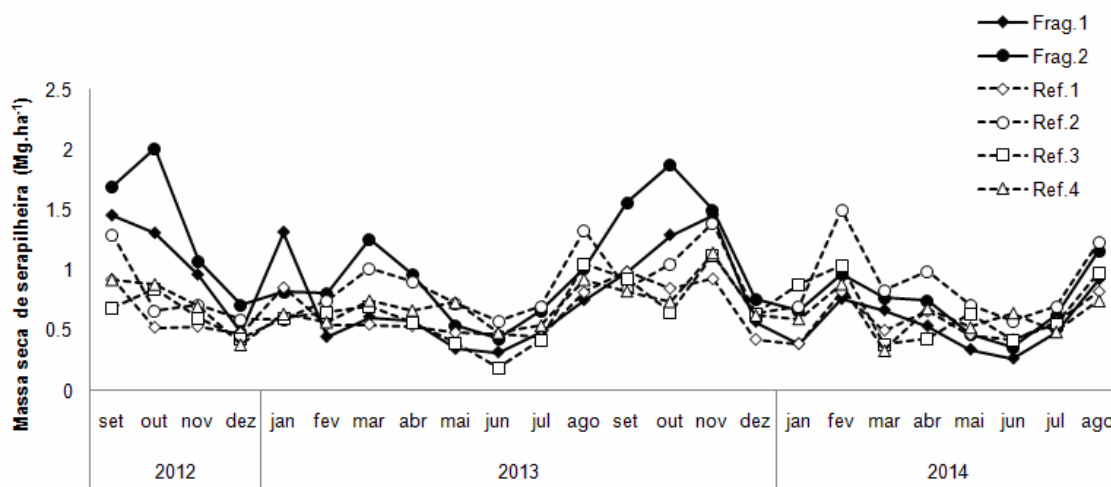
É possível perceber uma grande variação entre os valores mínimo e máximo de produção de serapilheira nos fragmentos florestais, apontando grande heterogeneidade destas áreas, enquanto que nos reflorestamento esta amplitude é menor, devido ao fato destas áreas serem resultado de um plantio de mudas com espaçamento homogêneo e baixa quantidade de espécies.

Figura 6 - Produção anual de serapilheira (Média da produção de dois anos: set/2012 – ago/2013; set/2013 – ago/2014. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Reservatório de Capivara, rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil



Os fragmentos apresentaram sazonalidade na produção mensal de serapilheira (Figura 7), com produção mais elevada no final da estação seca (setembro – novembro). Esta sazonalidade da produção de matéria orgânica está correlacionada negativamente com a precipitação dos 60 e 90 dias anteriores à coleta (Tabela 5).

Figura 7 - Produção mensal de serapilheira ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para os diferentes locais de estudo. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do Paraná. Setembro de 2012 a agosto de 2014



A produção mensal de serapilheira nos reflorestamentos (Figura 7) possui padrão semelhante ao presente nos fragmentos, ocorrendo uma elevação da deposição deste material nos meses que correspondem ao final da estação seca. Entretanto, nota-se uma diferença entre estas áreas em restauração em relação remanescentes florestais estudados quando observamos a ausência de correlação entre a precipitação e a produção de matéria orgânica, demonstrando que os efeitos da sazonalidade climática são fracos nos reflorestamentos (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficiente de Correlação de Spearman (rs) entre massa seca de serapilheira produzida mensalmente e a precipitação acumulada de 30, 60 e 90 dias anteriores a coleta deste material. (ns = não significativo, para quando $p > 0,05$). (Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil).

| | | Local | | | | | |
|---------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Frag.1 | Frag.2 | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| 30 dias | rs | -0,263 | -0,297 | -0,205 | -0,111 | -0,284 | -0,169 |
| | p | Ns | Ns | Ns | ns | ns | ns |
| 60 dias | rs | -0,478 | -0,437 | -0,257 | -0,026 | -0,239 | -0,224 |
| | p | 0,018 | 0,033 | Ns | ns | ns | ns |
| 90 dias | rs | -0,565 | -0,485 | -0,345 | -0,032 | -0,364 | -0,164 |
| | p | 0,004 | 0,016 | Ns | ns | ns | ns |

Apesar de diferirem quanto aos efeitos da precipitação acumulada anterior a coleta, o teste de Kolmogorov-Smirnov aponta que a curva de distribuição da produção mensal de serapilheira é semelhante entre os fragmentos e reflorestamentos (Tabela 6), portanto é possível indicar que a sazonalidade da produção de matéria orgânica é semelhante entre os dois tipos de ambiente. Porém os fatores que influenciam esta sazonalidade são distintos.

Estoque de serapilheira sobre o solo

O estoque de serapilheira acumulado sobre o solo variou entre os meses, e desta forma alguns locais de estudo diferenciaram-se entre si nos meses de janeiro (K-W D, $p = 0,04$), março (K-W D, $p = 0,03$) e maio (K-W D, $p = 0,01$). Entretanto, não há um padrão claro para estas diferenças, e estas podem ser casuais, resultando, por exemplo, de tempestades. Quando se observa a tabela 7 é possível perceber que, de forma geral, estes estoques são semelhantes entre os locais estudados.

Tabela 6 - Proporção mensal da produção de serapilheira anual. Não há diferenças significativas entre os locais de estudo, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p>0,05$). Reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil

| | Local | | | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Frag.1 | Frag.2 | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| Set | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,11 |
| Out | 0,15 | 0,17 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,10 |
| Nov | 0,14 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,11 |
| Dez | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 |
| Jan | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,09 | 0,08 |
| Fev | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,09 |
| Mar | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| Abr | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,08 |
| Mai | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |
| Jun | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,07 |
| Jul | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| Ago | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,10 |
| Total | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Tabela 7 - Estoque de serapilheira sobre o solo em $Mg.ha^{-1}$. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$), entre as áreas, pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil

| | Serapilheira sobre solo ($Mg.ha^{-1}$) | | | | | | | | | | | |
|--------|--|----|-----------|---|-------|----|-------|---|------|----|-------|---|
| | Janeiro | | Fevereiro | | Março | | Abril | | Maio | | Julho | |
| Frag.1 | 5,7 | ab | 8,8 | a | 6,1 | ab | 5,7 | a | 4,7 | ab | 4,9 | a |
| Frag.2 | 8,0 | ab | 9,1 | a | 9,3 | ab | 2,8 | a | 4,2 | b | 4,7 | a |
| Ref.1 | 4,9 | b | 6,4 | a | 5,2 | B | 4,6 | a | 6,4 | ab | 4,2 | a |
| Ref.2 | 16,4 | a | 12,7 | a | 8,5 | ab | 4,8 | a | 5,7 | ab | - | - |
| Ref.3 | - | | 10,9 | a | 7,5 | ab | 4,1 | a | 7,3 | ab | 5,6 | a |
| Ref.4 | - | | 6,6 | a | 10,8 | A | 5,8 | a | 8,1 | a | 4,7 | a |

Serapilheira grossa

O estoque de serapilheira grossa apresentou diferença significativa apenas em um mês (janeiro), sendo que o reflorestamento 3 apresentou valores inferiores à todas outras áreas, com exceção ao fragmento 2, e o reflorestamento 4, também apresentou valores superiores ao fragmento 2 (K-W S, $p<0,01$) (tabela 8). Apesar da diferença presente nesta data, os estoques de

serapilheira grossa foram semelhantes entre as áreas, portanto é possível que a diferença encontrada seja decorrente da aleatoriedade das parcelas somada à heterogeneidade ambiental presente nos locais de estudo.

Tabela 8 - Estoque de serapilheira grossa sobre o solo em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$), entre as áreas, pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Student-Newman-Keuls. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Frag. – Fragmento Florestal; Ref. – Reflorestamento

| Serapilheira grossa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | | | | | | |
|--|---------|----|-------|---|-------|---|
| Local de amostragem | Janeiro | | Abril | | Julho | |
| Frag. 1 | 2,8 | ab | 0,7 | a | 0,3 | a |
| Frag. 2 | 0,7 | bc | 0,4 | a | 0,4 | a |
| Ref.1 | 2,7 | ab | 1,0 | a | 0,2 | a |
| Ref.2 | 1,5 | ab | 0,1 | a | 0,1 | a |
| Ref.3 | 0,2 | c | 0,3 | a | 0,8 | a |
| Ref.4 | 6,4 | a | 0,2 | a | 0,4 | a |

Considerando a soma dos dois componentes do estoque de serapilheira presente sobre o solo, os reflorestamentos apresentam, em média, 165% do estoque existente nos fragmentos. No entanto a necromassa acumulada sobre o solo significa, em média, de 7,2 a 15% da biomassa estimada para os reflorestamentos, e de 15 a 21% da biomassa nos fragmentos (Tabela 9).

Tabela 9 - Estoque total de serapilheira (fina e grossa) sobre o solo, biomassa (ambos em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e razão necromassa/biomassa (em %) em reflorestamentos e fragmentos florestais. Bacia do reservatório da Usina Hidroelétrica de Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Frag. – Fragmento Florestal; Ref. – Reflorestamento. A proporção nos reflorestamentos foi calculada em relação à média dos fragmentos

| Local de Amostragem | Necromassa | | | Biomassa | Massa seca total | Razão necromassa/biomassa |
|---------------------|---------------|-----------------|-------|----------|------------------|---------------------------|
| | Material fino | Material Grosso | Total | | | |
| Frag. 1 | 6,07 | 6,87 | 12,94 | 62,96 | 75,90 | 0,21 |
| Frag. 2 | 7,57 | 2,17 | 9,74 | 63,37 | 73,11 | 0,15 |
| Média | 6,82 | 4,52 | 11,34 | 63,17 | 74,51 | 0,18 |
| Ref.1 | 5,31 | 3,87 | 9,18 | 128,35 | 137,53 | 0,07 |
| Ref.2 | 10,45 | 3,03 | 13,48 | 134,06 | 147,54 | 0,10 |
| Ref.3 | 6,91 | 1,58 | 8,49 | 89,62 | 103,49 | 0,10 |
| Ref.4 | 7,04 | 6,83 | 13,87 | 94,93 | 108,80 | 0,15 |
| Média | 7,43 | 3,83 | 11,26 | 111,74 | 123,00 | 0,10 |

DISCUSSÃO

Biomassa

Os valores de biomassa relativamente altos encontrados nos reflorestamentos podem estar relacionados com a seleção de espécies para o plantio, no qual foram priorizadas espécies de crescimento rápido e início de sucessão. Os resultados encontrados assemelham-se aos encontrados por Melo e Durigan (2006) em áreas de restauração florestal com tipo vegetacional e idades similares às áreas do presente estudo. Em trabalho realizado na mesma região em que o presente estudo, Suganuma e Torezan (2013) encontraram taxas de acúmulo de biomassa elevadas, variando entre 6 e 16 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, alcançando valores entre 19 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e 81 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tabela 10), indicando o potencial destas áreas para recuperar os estoques de carbono da área de maneira rápida. A taxa de acúmulo de biomassa variou entre as áreas, entretanto foi semelhante entre os dois estudos, comprovando o alto potencial de formação de estoques de carbono.

No reflorestamento estudado em Sertaneja -PR, houve aumento na taxa de acúmulo quando compara-se este estudo com o de Suganuma e Torezan (2013). Uma possível explicação seria o deslocamento competitivo, com o

aumento do sombreamento, das gramíneas invasoras, que podem ter influenciado negativamente o desenvolvimento inicial do reflorestamento (CHEUNG et al. 2009; FERREIRA et al. 2010).

Tabela 10 - Estimativas de biomassa aérea em reflorestamentos e fragmentos florestais, em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, idade dos reflorestamentos (em anos) e taxa de acúmulo, em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. S&T 2013: dados do trabalho de Suganuma e Torezan (2013). Ref.AS – Reflorestamento Alvorada do Sul; Ref.PM: Reflorestamento Primeiro de Maio, ambos estudados por Suganuma e Torezan (2013)

| Área de estudo | S&T 2013 | Idade | taxa de acúmulo | Este estudo | idade | taxa de acúmulo |
|----------------|----------|-------|-----------------|-------------|-------|-----------------|
| Frag.1 | 134 | - | - | 62,9 | - | - |
| Frag.2 | 115 | - | - | 63,4 | - | - |
| Ref.1 | 81 | 5 | 16,2 | 128,3 | 11 | 11,7 |
| Ref.2 | 19 | 3 | 6,3 | 134,1 | 10 | 13,1 |
| Ref.3 | - | - | - | 89,6 | 11 | 8,1 |
| Ref.4 | - | - | - | 94,9 | 10 | 9,5 |
| Ref.AS | 29 | 3,5 | 8,3 | - | - | - |
| Ref.PM | 60 | 4 | 15 | - | - | - |

Outro fator que poderia contribuir para explicar a rápida formação de grande quantidade de biomassa é justamente a baixa competição nas etapas iniciais do reflorestamento, que mesmo com uma alta densidade de indivíduos plantados (cerca de $1.600 \text{ indivíduos}\cdot\text{ha}^{-1}$), permite que a grande porção destes indivíduos tenha desenvolvimento pleno, em crescimento primário e secundário (CAVALHEIRO et al. 2002; BUFO 2008). Isto é perceptível a partir da densidade de indivíduos presentes nestes reflorestamentos (Ref. 1 – 1310, Ref. 2 – 1130, Ref. 3 – 830 e Ref. 4 – 870 $\text{indivíduos}\cdot\text{ha}^{-1}$), as quais são semelhantes ou maiores do que os valores encontrados nos fragmentos estudados ($930 \text{ indivíduos}\cdot\text{ha}^{-1}$) para a mesma classe de tamanho. Assim, o padrão observado é resultado do desempenho das árvores no espaçamento utilizado e no contexto de invasão, ainda que parcial, por gramíneas. Estas forças antagônicas somente terão a sua importância relativa dimensionada em experimentos controlados.

Os valores de biomassa aérea apresentados aqui para os fragmentos florestais são bastante inferiores aos estimados por Trevisan (1998) no Parque Estadual Mata dos Godoy, um remanescente de floresta estacional bem

conservado ($435 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Ainda que as diferentes metodologias empregadas limitem a comparação, com base nesta referência externa é possível sugerir que os fragmentos aqui estudados podem ter sofrido perdas de biomassa, decorrente do aumento da mortalidade de árvores, por sua vez resultante de efeitos da fragmentação, e da extração seletiva de madeira (PÜTZ et al. 2013).

Em observações de campo, foi possível notar grande densidade de lianas nestes fragmentos florestais, fator que, segundo Durán e Sanchez-Azofeifa (2015), é responsável por prejudicar a recuperação de florestas secundárias, incluindo o acúmulo de biomassa.

Esta diferença com a referência externa, somada à diferença encontrada na estrutura da comunidade, tanto na distribuição de indivíduos, quanto de biomassa nas diferentes classes de DAP, sugerem a possibilidade de que os reflorestamentos apresentam-se ainda em processo de desenvolvimento, e caso não ocorra estagnação ou colapso no desenvolvimento dos mesmos, há capacidade de haver maior acúmulo de biomassa com o passar do tempo.

Segundo Martin e colaboradores (2013) o período necessário para que uma floresta tropical secundária atinja valores de biomassa semelhantes aos de florestas primárias é aproximadamente de 85 anos, embora outros estudos apontem que em áreas úmidas este tempo pode ser reduzido para cerca de 66 anos (POORTER et al. 2016). O acúmulo de biomassa em áreas de florestas tropicais secundárias pode ser dividido em duas etapas, sendo que na primeira, e inicial (primeiros 10 a 15 anos) este acúmulo ocorre de maneira acelerada, devido à presença de espécies de crescimento rápido, mas para que estas florestas atinjam valores deste estoque semelhantes ao de florestas conservadas, é necessário que haja ingresso de espécies vegetais tardias com o progresso da sucessão, resultando em uma segunda fase de acúmulo de biomassa mais lento (BROWN & LUGO 1990; SALIMON & BROWN 2000).

A baixa similaridade de espécies vegetais lenhosas encontrada entre reflorestamentos e os fragmentos florestais estudados indicam que até o presente momento o ingresso de indivíduos de espécies tardias é incipiente, e segundo o estudo de Brown e Lugo (1990), a falta de ingresso destas espécies, decorrente da existência de filtros bióticos ou abióticos (HOBBS & NORTON 2004), em florestas secundárias é causa da estagnação ou eventualmente colapso do desenvolvimento destes ecossistemas. Desta forma é necessário

acompanhar a evolução dos mesmos a fim de identificar se haverá continuidade do processo sucessional naturalmente, ou se haverá necessidade de novas intervenções, como exemplo o enriquecimento através de plantio de mudas ou semeadura de espécies de final da sucessão (MARTÍNEZ-GARZA & HOWE 2003; LAMB et al. 2005; RODRIGUES et al. 2007).

Serapilheira

Os altos valores da produção de serapilheira observados nas áreas localizadas em Sertaneja-PR (Frag.2 e Ref.2) podem estar relacionados à condição edáfica, pois, segundo Suganuma (2008), o solo desta área possui maior proporção de areia, do que as demais, possivelmente resultando em menor retenção de água disponível no solo para as plantas. Assim, em períodos de redução na pluviosidade pode haver estresse hídrico, e a um aumento na taxa de abscisão foliar (HASEGAWA 2004). No entanto valores semelhantes de produção de serapilheira foram encontrados em ecossistemas de floresta estacional semidecidual ocorrendo sobre solos argilosos (VITAL et al. 2004; TOSCAN 2013).

De forma geral os resultados demonstram que a produção de serapilheira nos reflorestamentos apresenta valores semelhantes aos encontrados nos ecossistemas de referência deste estudo. Os valores encontrados também se assemelham ao reportado por Pimenta e colaboradores (2011) em estudo realizado em um fragmento de floresta estacional com alto grau de conservação, indicando que a produção primária, indicada pela fração da mesma representada no ciclo de deposição de matéria orgânica, recupera-se rapidamente e com cerca de uma década se assemelha aos remanescentes de floresta, demonstrando que em áreas de restauração existe capacidade de desenvolver rapidamente a produção de serapilheira, igualando, em massa produzida, à produção de remanescentes florestais.

Da mesma forma o estoque de necromassa presente sobre o solo (serapilheira + serapilheira grossa) também apresentou um rápido acúmulo, com valores semelhantes aos encontrados para as áreas de referência. Estes resultados sugerem que os ambientes de restauração florestal estejam recuperando rapidamente seu ciclo natural de nutrientes, bem como a

capacidade de formar uma camada de matéria orgânica sobre o solo que seja suficientemente capaz de protegê-lo de eventos como lixiviação, erosão, excesso de perda de umidade do solo por evaporação (SILVA et al. 2000), além de auxiliar a manutenção de outros seres vivos, como macro e micro-invertebrados, bactérias, fungos entre outros (BOTTTINELI et al. 2015).

Fu e colaboradores (2011) encontraram um aumento de cerca de 60% na retenção de água, como decorrência do desenvolvimento de uma vegetação em área de restauração com 8 anos de idade, demonstrando o potencial destas áreas de recuperar rapidamente a capacidade de proteção ao solo. Portanto, a implantação de reflorestamentos demonstra-se importante para a recuperação dos estoques de carbono do solo (GUO & GIFFORD 2002; PICHÉ & KELTING 2015)

No entanto, deve-se estudar melhor a composição química, a taxa de decomposição desta matéria orgânica, a comunidade animal edáfica e os aspectos físicos do solo, a fim de ter maior certeza sobre a evolução desses processos nestas áreas em restauração.

Todos locais de estudo apresentaram aumento da produção de serapilheira no final da estação seca, de forma semelhante ao padrão encontrado para a FES (VITAL et al. 2004; PIMENTA et al. 2011). Entretanto, nos reflorestamentos a diferença entre as épocas do ano não são bem distintas, como consequência da seleção de espécies utilizadas no plantio, pois, segundo Martins e Rodrigues (1999), espécies de início de sucessão ao mesmo tempo em que possuem alta produtividade primária, também possuem rápida abscisão do material vegetal produzido, e conseqüentemente produzem grande quantidade de serapilheira em todas as estações do ano. Os resultados do teste de correlação entre a queda de serapilheira com a precipitação pluviométrica reforça esta ideia, pois é possível perceber que uma baixa precipitação durante 60 dias ou mais foi capaz de determinar uma maior queda de material vegetal nos fragmentos florestais, como resultado de um possível estresse hídrico sofrido pelas plantas. Por outro lado, esta correlação não foi observada nos reflorestamentos, devido ao fato de a produção de serapilheira ocorrer de forma homogênea durante o ano, como consequência da alta presença de espécies de início de sucessão nestas áreas.

A proporção que o estoque de necromassa alcança em relação à biomassa indica que o carbono presente na matéria orgânica morta deve ser considerado em estudos que visem a compreensão da dinâmica dos estoques tanto de carbono quanto de nutrientes. Além disso, em estimativas visando a negociação de créditos de carbono deste componente pode conter valores consideráveis, de até 21% do observado na biomassa, normalmente o único componente mensurado para esta finalidade.

CONCLUSÃO

Os reflorestamentos estudados possuem grande potencial para fixar CO₂ atmosférico, sendo capazes de acumular entre 8 e 13Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ em biomassa, conseqüentemente podem ser utilizados para auxiliar em estratégias de mitigação do aquecimento global antropogênico.

Os estoques de carbono dos reflorestamentos evoluíram de maneira rápida de forma que se igualaram (necromassa) ou superaram (biomassa) os valores dos estoques presentes nos fragmentos. Quando somados os dois estoques estudados, a média dos reflorestamentos foi 65% maior que os estoques dos fragmentos florestais.

A proporção que a necromassa alcança em relação à biomassa (Reflorestamentos – 10%; Fragmentos - 18%) permite sugerir que este componente deve ser considerado em pesquisas sobre os ciclos do carbono e de nutrientes, bem como nas estimativas visando créditos de carbono.

O efeito da sazonalidade da produção de serapilheira é diferente entre os dois tipos de ambiente, sendo que nos fragmentos há uma relação forte com a ocorrência de chuvas, e, conseqüentemente, com a disponibilidade de água no solo. Nos reflorestamentos não há uma sazonalidade marcante, estando a produção possivelmente relacionada com as características das espécies ali presentes.

Considerações finais

Os reflorestamentos acumularam estoques de carbono de maneira relativamente rápida. Entretanto, é preciso verificar a evolução futura destes estoques, de modo a verificar se a sucessão secundária está ocorrendo e

espécies de estágios mais avançados estão sendo recrutadas para substituir espécies pioneiras na comunidade. É importante frisar que este processo pode ser truncado em reflorestamentos mais afastados de fragmentos florestais remanescentes (PEREIRA et al. 2013)

Por outro lado, processos ecossistêmicos importantes, como a ciclagem de nutrientes, precisam ser melhor estudados. Para tanto, são necessárias análises químicas da matéria orgânica, bem como determinar as taxas de decomposição e de mineralização dos nutrientes presentes na necromassa.

A quantidade relativamente baixa de biomassa observada nos fragmentos pode ser resultado de tanto de efeitos da fragmentação quanto de extração seletiva de madeira. Assim, deve ser investigada a capacidade de recuperação dos próprios fragmentos, por meio de estudos de longo prazo.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, T.M., HIGUSHI, N., CARVALHO JÚNIOR, J.A. (1999) Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117: 43-52.
- BAEDE, A.P.M.; AHLONSOU, E.; DING., Y.; SCHMEL., D. (2001) The Climate System: an Overview. Pages 87-98 In: HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOUGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J. DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (Orgs.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press.
- BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWVSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. (2015) Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil and Tillage Research*, 146:118–124
- BROWN, I.F.; MARTINELLI, L.A.; THOMAS, W.W.; MOREIRA, M.Z.; FERREIRA, C.A.C.; VICTORIA, R.A. (1995) Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75: 175 -189.
- BROWN, S.; LUGO, (1990) A.E. *Tropical Secondary Forests*. *Journal of Tropical Ecology*. 6: 1-32.
- BROWN, S. (1997) *Estimating biomass and biomass changing of tropical forests: a primer*. *FAO Forestry Paper*, Roma, 134: 1-55.
- BUFO, L.V.B. (2008) *Restauração florestal e estoque de carbono em modelos de implantação de mudas sob diferentes combinações de espécies e espaçamentos*. *Mater thesis*, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BURGER, D.M.; DELLITTI (1999) W.B.C. *Fitomassa epígea da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, Itapira-SP*. *Revista Brasileira de Botânica*, 22: 429 – 435.

- CAHILL, A.E.; AIELLO-LAMMENS, M.E.; FISHER-REID, M.C.; HUA, X.; KARANEWSKY, C.J.; RYU, H.Y.; SBEGLIA, G.C.; SPAGNOLO, F.; WALDRON, J.B.; WARSI, O.; WIENS, J. (2012) How does the climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B*, v.280, n. 1750, DOI: 10.1098/rspb.2012.1890.
- CANADELL, J.G.; RAUPACH, M.R. (2008) Managing Forests for Climate Change Mitigation, *Science*, 320: 1456 - 1457.
- CAVALHEIRO, A.L.; TOREZAN, J.M.D.; FADELLI, L. (2002) Recuperação de áreas degradadas: Procurando por diversidade e funcionamento dos ecossistemas. Pages 213-224 In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Eds.), *A bacia do rio Tibagi*, Londrina.
- CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. (2000) *Cartas climáticas do Paraná*. IAPAR, Londrina.
- CHANG, M.Y. (2004) Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. Pages 15-37 In SANQUETA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M.A.B. (Eds.) *Fixação de carbon: atualidades, projetos e pesquisas*, UFPR/Ecoplan, Curitiba.
- CHEUNG, K.C.; MARQUES, M.C.M.; LIEBSCH, D. (2009) Relação entre a presença de vegetação herbácea e a regeneração natural de espécies lenhosas em pastagens abandonadas na Floresta Ombrófila Densa do sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 23: 1048-1056.
- COOK, J.; NUCCITELLI, D.; GREEN, S.A.; RICHARDSON, M.; WINKLER, B.; PAINTING, R.; WAY, R.; JACOBS, P.; SKUCE, A. (2013) Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8: 024024.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J. (2000) Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, v.408, n. 6809.
- DURÁN, S.M.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A. (2015). *Liana Effects on Carbon Storage and Uptake in Mature and Secondary Tropical Forests*. In *Biodiversity of Lianas* (pp. 43-55). Springer International Publishing.
- EDWARDS, R.; LARIVÉ, J-F.; BEZIAT, J-C. (2011) *Well-to-whells analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, version 3c*. European Commission Joint Research Centre, Concawe and Eucar.

- ELSAYED, M.A.; MATTHEWS, R.; MORTIMER, N.D. (2003) Carbon and energy balances for a range of biofuel options. Sheffield: Resources Research Unit Sheffield Hallam University, 341 f.
- EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro.
- ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. (2003) Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. Pages 01-26 In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL V.L.; GANDARA, F.B. (Eds.), Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais, FEPAF, Botucatu.
- FEARNSIDE, P.M. (1999) Forest and global warming mitigation in Brazil: opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the “clean development mechanism”. Biomass and Bioenergy, v.16, n. 3, p. 171-189.
- FEARNSIDE, P.M. (2000) Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. Climatic Change, 46: 115-158.
- FELLEY, K.J.; WRIGTH, S.J.; SUPARDI, M.N.N.; KASSIM, A.R.; DAVIES, S.J. (2007) Decelerating growth in tropical forest trees. Ecology Letters, v. 10, p. 461 – 469.
- FIGUEIREDO FILHO, A., MORAES, G.F.; SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, D.J. (2003) Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18.
- FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R.; FERREIRA, D.F. (2010) Regeneração natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da usina hidrelétrica de Camargos, MG. Revista Árvore, 34: 651-660.
- FU, B.; LIU, Y. LÜ, Y.; HE, C.; ZENG, Y.; WU, B. (2011) Assessing the soil erosion control service of ecosystem change in the Loess Plateau of China. Ecological Complexity, 8: 284-293.

- GALVÃO, A.V.F.; LOURENÇO, A. (2011.). REED no Brasil: Um enfoque amazônico. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 5ª ed., Brasília, DF.
- GUO, L.B., GIFFORD, R.M. (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8:345–360.
- HASEGAWA, P.M. (2004) Fisiologia do estresse. Pages 613-644 In: *Fisiologia Vegetal*, TAIZ, L.; ZEIGER, E. Artmed, 3 ed. Porto Alegre.
- HENRIQUES, F.S. (2010) O futuro incerto das florestas tropicais. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 33, n. 2, p. 265 – 271.
- HOBBS, R.J.; NORTON, D.A. (2004) Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Pages 72-95 In: TEMPERTON, V.M.; HOBBS, R.J.; NUTTLE, T.; HALLE, S. (Eds.) *Assembly rules and restoration ecology*. Island Press, Washington.
- HOUSE, J.I.; PRENTICE, C.; LE QUÉRÉ, C. (2002) Maximum impacts of future reforestation or deforestation on atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, v. 8, p. 1-6.
- HUGHES, L. (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already. *Tree*, v.15, n. 2, p. 56-61.
- IPCC Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) (2007) *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, Geneva, Switzerland.
- IPCC. (2014) *Sumário do Relatório do IPCC para tomadores de decisão – WGII AR5. Iniciativa Verde*, 46p.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K.A. (2007) How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, v. 137, n.3, p. 253 -268.

- KARHU, K.; AUFFRET, M.D.; DUNGAIT, J.A.J.; HOPKINS, D.W.; PROSSER, J.I.; SINGH, B.K.; SUBKE, J.; WOOKEY, P.A.; AGREN, G.I.; SEBASTIÀ, M.; GOURIVEAU, F.; BERGKVIST, G.; MEIR, P.; NOTTINGHAM, A.T.; SALINAS, N.; HARTLEY, I.P. (2014) Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. *Nature*, v. 513, n.1, p 81 – 84.
- KOEHLER, W. C. (1989) Variação estacional de deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na Região de Ponta Grossa – PR. . 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- LACIS, A.A.; SCHMIDT, G.A.; RIND, D.; RUEDY, R.A. (2010) Atmospheric CO₂: Principal control knob governing earth's temperature. *Science*, v. 330, n. 356, p.356-359.
- LAL, R. (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, v. 123, n.1, p. 1 -22.
- LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTA, J.A. (2005) Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310: 1628-1632.
- LAU, L.C.; LEE, K.T.; MOHAMED, A.R. (2012) Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Protocol Kyoto to the Copenhagen Accord – A comment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7): 5280-5284.
- LE QUÉRÉ, C. RAUPACH, M.R.; CANADELL, J.G.; MARLAND, G. *et al.* (2009) Trends in the source and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, < DOI: 10.1038/NGEO689>
- LIEBSCH, D.; MARQUES, M.C.M.; R. GOLDENBERG (2008) How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession *Biology Conservation*, 141: 1717–1725.
- LIU, L.; KING, J.S.; GIARDINA, C.P. (2005) Effects of elevated concentrations of atmospheric CO₂ and tropospheric O₃ on leaf litter production and chemistry in trembling aspen and paper birch communities. *Tree Physiology*, v. 25, p. 1511-1522.

- LLOYD, J.; FARQUHAR, G.D. (2008) Effects of rising temperatures and CO₂ on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, p. 1811 – 1817.
- LOCATELLI, B.; CATTERALL, C.P.; IMBACH, P.; KUMAR, C.; LASCO, R.; MARÍN-SPIOTTA, E.; MERCER, B.; POWERS, J.S.; SCHWARTS, N.; URIARTE, M. (2015) Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. *Restoration Ecology*, v.23, n.4, p. 337-343.
- MACHADO, P.L.O.A. (2005) Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v. 28, n. 2, p. 329 – 334.
- MARENCO J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; OLIVEIRA, G.S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L.M.; BROWN, I.F. (2008) The Drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, v.21, p. 495-516.
- MARTIN, P.A.; NEWTON, A.C.; BULLOCK, J.M. (2013) Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. *Royal Society Publishing B*, 280, 20132236.
- MARTÍNEZ-GARZA, C.; HOWE, H.F. (2003) Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *Journal of applied ecology*, 40: 423-429.
- MCKINSEY & COMPANY. (2009) Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. São Paulo. Disponível em <http://www.mckinsey.com.br/sao_paulo/carbono.pdf>, Acesso em 19 de agosto de 2015.
- MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. (2006) Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. *Scientia Forestalis*, 71:49-154.
- NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. (2007) Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 59, n. 3.
- PAGANO, S.N. ; DURIGAN, G. (2000) Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Pages 109-123 In: RODRIGUES, R.R; LEITÃO FILHO H.F. (eds). *Matas ciliares : conservação e recuperação*. Editora da USP, São Paulo.

- PEREIRA, L.C.S.M.; OLIVEIRA, C.C.C.; TOREZAN, J.M.D. (2013) Woody species regeneration in Atlantic Forest restoration sites depends on surrounding landscape. *Natureza & Conservação*, 11: 138-144.
- PETER, G.P.; ANDREW, R.M.; BODEN, T.; CANADELL, J.G.; CIAIS, P.; LE QUÉRÉ, C.; MARLAND, G.; RAUPACH, M.R.; WILSON, C. (2013) The challenge to keep global warming below 2°C. *Nature Climate Change*, 3(1): 4-6.
- PICHÉ, N.; KELTING, D.L. (2015) Recovery of soil productivity with forest succession on abandoned agricultural land. *Restoration Ecology*. DOI: 10.1111/rec.12241
- PIMENTA, J. A; ROSSI, L. B; TOREZAN, J. M. D; CAVALHEIRO, A. L; BIANCHINI, E. (2011) Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25: 53-57.
- POORTER, L., BONGERS, F., AIDE, T. M., ZAMBRANO, A. M. A., BALVANERA, P., BECKNELL, J. M. et al. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211-214.
- PREISKORN, G.M. (2011) Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes. 129p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- PÜTZ, S.; GROENEVELD, J.; HENLE, K.; KNOGGE, C.; MARTENSEN, A.C.; METZ, M.; METZGER, J.P.; RIBEIRO, M.C.; PAULA, M.D.; HUTH, A. (2014) Long-term carbon loss in fragment neotropical forest. *Nature Communication*, 5: 5037, 2014. Disponível em <DOI: 10.1038/ncomms6037 www.nature.com/naturecommunication>. Acesso em: 27 de outubro de 2014.
- REICOSKY, D.C. (1997) Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycle Agroecosystem*. 49: 273-285 apud MACHADO, P.L.O.A. (2005) Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28: 329-334, 2005.

- REZENDE, L.F.C.; ARENQUE, B.C.; AIDAR, S.T.; MOURA, M.S.B.; VON RANDOW, C.; TOURIGNY, E.; MENEZES, R.S.C.; OMETTO, J.P.H.B. (2015) Evolution and challenges of dynamic global vegetation models for some aspects of plant physiology and elevated atmospheric CO₂. *International Journal of Biometeorology*, <DOI 10.1007/s00484-015-1087-6>.
- RIGHELATO, R.; SPRACKLEN, D.V. (2007) Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science*, v. 317, n.5840, p.902.
- RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G.; ATTANASIO, C.M. (2007) Atividade de adequação ambiental e restauração florestal do LERF/ESALQ/USP. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 55: 7-21.
- RUBIN, E.S.; COOPER, R.N.; FROSCHE, R.A.; LEE, T. H.; MARLAND, G.; ROSENFELD, A. H.; STINE, D.D. (1992) Realistic Mitigation Options for Global Warming. *Science*, 257: 148-149, 261-266.
- SALIMON, C.I.; BROWN, I.F. (2000) Secondary forests in western amazonia: significant sinks for carbon released from deforestation. *Interciencia*, 25: 198-202.
- SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R. (2004) Metodologias para determinação de biomassa florestal, Pages 77-93 In: Sanqueta, C.R., Balbinot, R., Ziliotto, M.A.B. (Eds.), *Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*, UFPR/Ecoplan, Curitiba.
- SAYER, E.J.; POWERS, J.S.; TANNER, E. (2007) Increased litterfall in tropical Forests boosts the transfer of soil CO₂ to the atmosphere. *Plos One*, v. 2, n.12, e1299.
- SCHIERMEIER, Q. (2009) Climate change crisis for rain forests. *Naturenews*, <doi:10.1038/news.2009.136>.
- SILVA, M. G.; SANTOS, C. J. F.; COELHO-NETO, A.N.; FARIA, S. M. (2000) Adição de serapilheira para aceleração de revegetação em cicratizes de deslizamentos por movimento de massa no Parque Nacional da Tijuca, R.J. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., , Florianópolis. Anais... Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Florianópolis.

- SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. (2008) O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. *Floresta*, 38: 185-206.
- SILVER, W.L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A.E. (2000) The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pastures lands. *Restoration Ecology*, n. 4, v. 8, p. 394 – 407.
- STIPP, N. A. (2002) Principais tipos de solo da bacia do rio Tibagi. Pages 39-44 In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Eds.), *A bacia do rio Tibagi*, Londrina.
- SUGANUMA, M.S. (2008) Avaliação de sucesso da restauração florestal baseada em estrutura florestal e processos do ecossistema. Master thesis, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.
- SUGANUMA, M.S.; TOREZAN, J.M.D. (2013) Evolução dos processos ecossistêmicos em reflorestamentos da Floresta Estacional Semidecídua. *Hoehnea*, 40: 557-565.
- TAHIR, M; AMIN, N.S. (2013) Recycling of carbon dioxide to renewable fuels by photocatalysis: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 25, n. 1, p.560-579.
- TOMMASINO, H.; FALADORI, G. (2001) Certezas sobre *la crisis* ambiental. *Ambiente & Sociedade*, Campinas, n.8, p. 49-68.
- TOREZAN, J.M.D. (2002) Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. Pages 103-107 In: MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O.A.; PIMENTA, J.A. (Eds.), *A bacia do rio Tibagi*, Londrina.
- TOSCAN, M.A.G. (2013) Produção de serapilheira e chuva de sementes no corredor de biodiversidade Santa Maria, Master, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.
- TREVISAN, G.V. (1998) Biomassa e produção de serapilheira no Parque Estadual “Mata dos Godoy”, Bachelor thesis, Universidade Estadual de Londrina, PR.

- VAN DER WERF, G.R.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; OLIVIER, J.G.J.; KASIBHATLA, P.S.; JACKSON, R.B.; COLLATZ, G.J.; RANDERSON, J.T. (2009) CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience*, v.2, n.11, p. 737-738.
- VENTURA, A.C.; ANDRADE, J.C.S; ALMEIDA, A.C.A. (2011) Soluções locais para problemas globais: Análise de possíveis contribuições das tecnologias sociais para a mitigação do aquecimento global. *Revista Ciências Administrativas*, v. 17, n. 3, p. 768 – 795.
- VIJAYAVENKATARAMAN, S.; INIYAN, S.; GOIC, R. (2012) A review of climate change , mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, n.1, p. 878-897.
- VITAL, A. R. T; GUERRINI, I. A; FRANKEN, W. K; FONSECA, R. C. B. (2004) Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 28: 793-800.
- WINJUN, J.K.; DIXON, R.K.; SCHROEDER, P.E. (1992) Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, air and soil pollution*, n. 64, p 213 – 227.
- YUSUF, R.O.; NOOR, Z.Z.; HASSAN, M.A.A. (2012) Methane emissions by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigations methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 7, p. 5059-5070.
- ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Lista de espécies utilizadas no plantio das diferentes áreas de restauração florestal estudadas. Reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. Ref: Reflorestamento

| Nome científico | Família | Sítio de estudo | | | |
|--|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | Lamiaceae | x | x | x | x |
| <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | x | x | x | x |
| <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan | Fabaceae | x | x | - | - |
| <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl. | Malvaceae | x | x | x | x |
| <i>Bauhinia forficata</i> Link | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd. | Nyctaginaceae | x | - | x | x |
| <i>Cecropia glaziovii</i> Snethl. | Urticaceae | - | - | x | x |
| <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | Urticaceae | x | x | x | x |
| <i>Ceiba speciosa</i> (A. St. -Hil.) Ravenna | Malvaceae | x | x | x | x |
| <i>Cestrum intermedium</i> Sendtn. | Solanaceae | x | x | x | x |
| <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins | Rhaminaceae | x | x | x | x |
| <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud. | Boraginaceae | x | x | x | x |
| <i>Croton floribundus</i> Spreng. | Euphorbiaceae | x | x | x | x |
| <i>Croton urucurana</i> Baill. | Euphorbiaceae | x | - | x | x |
| <i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham. | Verbenaceae | x | x | x | x |
| <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Falcataria moluccana</i> (Miq.) Barneby & J.W. Grimes | Fabaceae | x | x | - | - |
| <i>Ficus guaranitica</i> Chodat | Moraceae | x | - | x | x |
| <i>Ficus insipida</i> Willdenow | Moraceae | - | - | x | x |
| <i>Ficus</i> sp. | Moraceae | x | x | x | x |
| <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | Phytolaccaceae | x | x | x | x |

| Nome científico | Família | Sítio de estudo | | | |
|--|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| <i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg. | Euphorbiaceae | x | - | x | x |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | x | x | x | x |
| <i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth | Malvaceae | x | x | x | x |
| indet. | Malpighiaceae | x | - | - | - |
| <i>Inga affinis</i> DC. | Fabaceae | x | - | x | x |
| <i>Inga marginata</i> Willd. | Fabaceae | - | - | x | x |
| <i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart. | Fabaceae | x | - | x | x |
| <i>Inga</i> sp. 1 | Fabaceae | x | - | x | x |
| <i>Inga</i> sp. 2 | Fabaceae | x | - | - | - |
| <i>Inga</i> sp. 3 | Fabaceae | x | - | - | - |
| <i>Inga striata</i> Benth. | Fabaceae | - | - | x | x |
| <i>Inga virescens</i> Benth. | Fabaceae | x | - | - | - |
| <i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC. | Caricaceae | x | - | - | - |
| <i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl. | Anacardiaceae | x | - | x | x |
| <i>Miconia</i> sp. | Melastomataceae | - | - | x | x |
| <i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult. | Primulaceae | x | - | - | - |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Phytolacca dioica</i> L | Phytolaccaceae | x | - | x | x |
| <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr. | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Prunus sellowii</i> Koehne | Rosaceae | x | x | x | x |
| <i>Pterogyne nitens</i> Tul. | Fabaceae | x | x | x | x |
| <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | Anacardiaceae | x | x | x | x |
| <i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby | Fabaceae | x | x | - | - |
| <i>Solanum mauritianum</i> Scop. | Solanaceae | - | - | x | x |
| <i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC. | Apocynaceae | x | x | x | x |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume | Cannabaceae | x | - | x | x |

| Nome científico | Família | Sítio de estudo | | | |
|-------------------|---------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | Ref.1 | Ref.2 | Ref.3 | Ref.4 |
| Total de espécies | | 42 | 26 | 39 | 39 |

APÊNDICE B – Lista de espécies encontradas nos diferentes locais de estudo e a biomassa respectiva de cada espécie.

Reservatório Capivara, Rio Paranapanema, norte do estado do Paraná, Brasil. GE: grupo ecológico, pioneiras e iniciais (PI) e tardias e clímax (TC), Número de indivíduos para cada espécie

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|--------|---|----------------|----|----|---------------|
| Frag.1 | <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | Lamiaceae | PI | 1 | 42.55 |
| | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | PI | 5 | 426.34 |
| | <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. | Apocynaceae | TC | 2 | 577.91 |
| | <i>Astronium graveolens</i> Jacq. | Anacardiaceae | TC | 3 | 165.59 |
| | <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl. | Rutaceae | TC | 3 | 16.22 |
| | <i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd. | Nyctaginaceae | PI | 1 | 243.79 |
| | <i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart. | Meliaceae | TC | | - |
| | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg | Myrtaceae | TC | 3 | 132.67 |
| | <i>Casearia sylvestris</i> Sw. | Salicaceae | TC | 8 | 158.47 |
| | <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. | Sapotaceae | TC | 5 | 308.16 |
| | <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins | Rhaminaceae | TC | 2 | 254.31 |
| | <i>Croton floribundus</i> Spreng. | Euphorbiaceae | PI | 2 | 19.29 |
| | <i>Eugenia florida</i> DC. | Myrtaceae | TC | 1 | 3.22 |
| | <i>Eugenia ramboi</i> D.Legrand | Myrtaceae | TC | 1 | 3.97 |
| | <i>Eugenia subterminalis</i> D. Legrand | Myrtaceae | TC | 1 | 2.58 |
| | <i>Ficus glabra</i> Vell. | Moraceae | PI | 2 | 462.63 |
| | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | Phytolaccaceae | PI | 10 | 2432.51 |
| | <i>Guarea kunthiana</i> A.Juss. | Meliaceae | TC | 19 | 152.1 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|--------|---|----------------|----|----|---------------|
| Frag.1 | <i>Holocalyx balansae</i> Micheli | Fabaceae | TC | 4 | 30.36 |
| | <i>Jacaranda micrantha</i> Cham. | Bignoniaceae | PI | 1 | 6.87 |
| | indet1 | indet | - | 1 | 12.57 |
| | <i>Inga striata</i> Benth. | Fabaceae | TC | 1 | 3.22 |
| | <i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel | Fabaceae | TC | 3 | 45.02 |
| | <i>Margaritaria nobilis</i> L.f. | Phyllanthaceae | TC | 1 | 19.6 |
| | <i>Metrodorea nigra</i> A.St.-Hil. | Rutaceae | TC | 11 | 57.65 |
| | <i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC. | Monimiaceae | TC | 1 | 2.89 |
| | <i>Myrcia laruotteana</i> Cambess. | Myrtaceae | TC | 2 | 38.48 |
| | <i>Myrsine umbellata</i> Mart. | Primulaceae | TC | 1 | 6.87 |
| | <i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer | Lauraceae | TC | 3 | 24.64 |
| | <i>Picramnia ramiflora</i> Planch. | Picramniaceae | TC | 4 | 15.57 |
| | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. | Fabaceae | PI | 2 | 177.71 |
| | <i>Prockia crucis</i> P.Browne ex L. | Salicaceae | TC | 1 | 10.16 |
| | <i>Prunus sellowii</i> Koehne | Rosaceae | TC | 1 | 10.93 |
| | <i>Rollinia sylvatica</i> (A.St.-Hil.) Mart. | Annonaceae | TC | 1 | 2.89 |
| | <i>Schefflera calva</i> (Cham.) Frodin & Fiaschi | Aralicaceae | PI | 1 | 24.59 |
| | <i>Senna pendula</i> (Humb.& Bonpl.ex Willd.) H.S.Irwin & Barneby | Fabaceae | PI | 1 | 2.89 |
| | <i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger et al. | Moraceae | TC | 11 | 41.55 |
| | <i>Trichilia pallida</i> Sw. | Meliaceae | TC | 3 | 10.51 |
| | <i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam. | Rutaceae | TC | 1 | 148.29 |
| | <i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl. | Bignoniaceae | PI | 2 | 200.02 |
| | SOMA | | | 93 | 6295.58 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|--------|---|----------------|----|----|---------------|
| Frag.2 | <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | Lamiaceae | PI | 1 | 5.78 |
| | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | PI | 2 | 368.63 |
| | <i>Alseis floribunda</i> Schott | Rubiaceae | PI | 3 | 92.14 |
| | <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg. | Apocynaceae | TC | 1 | 15.33 |
| | <i>Astronium graveolens</i> Jacq. | Anacardiaceae | TC | 14 | 186.92 |
| | <i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl. | Rutaceae | TC | 1 | 7.46 |
| | <i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd. | Nyctaginaceae | PI | 3 | 178.67 |
| | <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart. | Meliaceae | TC | 1 | 9.43 |
| | <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg | Myrtaceae | TC | 3 | 15.69 |
| | <i>Casearia sylvestris</i> Sw. | Salicaceae | TC | 1 | 3.22 |
| | <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. | Sapotaceae | TC | 7 | 1404.76 |
| | <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins | Rhaminaceae | TC | 1 | 94.26 |
| | <i>Cordia ecalyculata</i> Vell. | Boraginaceae | TC | 1 | 19.6 |
| | <i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr. | Lauraceae | TC | 2 | 24.36 |
| | <i>Eugenia blastantha</i> (O.Berg) D.Legrand | Myrtaceae | TC | 1 | 3.97 |
| | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | Phytolaccaceae | PI | 14 | 1857.78 |
| | <i>Guarea kunthiana</i> A.Juss. | Meliaceae | TC | 3 | 18.37 |
| | <i>Holocalyx balansae</i> Micheli | Fabaceae | TC | 1 | 4.38 |
| | indet2 | indet | - | 1 | 256.41 |
| | indet3 | indet | - | 1 | 2.89 |
| | <i>Inga striata</i> Benth. | Fabaceae | TC | 2 | 87.47 |
| | <i>Lonchocarpus nitidus</i> (Vogel) Benth. | Fabaceae | PI | 1 | 22 |
| | <i>Margaritaria nobilis</i> L.f. | Phyllanthaceae | TC | 1 | 143.88 |
| | <i>Myrcia laruotteana</i> Cambess. | Myrtaceae | TC | 2 | 292.43 |
| | <i>Myrsine umbellata</i> Mart. | Primulaceae | TC | 5 | 19.78 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|--------|---|----------------|----|----|---------------|
| Frag.2 | <i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez | Lauraceae | TC | 1 | 5.29 |
| | <i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer | Lauraceae | TC | 1 | 3.58 |
| | <i>Pachystroma longifolium</i> (Nees) I.M.Johnst. | Euphorbiaceae | TC | 1 | 3.97 |
| | <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | PI | 1 | 31.95 |
| | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Fabaceae | PI | 1 | 33.57 |
| | <i>Picramnia ramiflora</i> Planch. | Picramniaceae | TC | 2 | 6.47 |
| | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. | Fabaceae | PI | 8 | 1081.33 |
| | <i>Rollinia sylvatica</i> (A.St.-Hil.) Mart. | Annonaceae | TC | 1 | 4.38 |
| | <i>Seguiera aculeata</i> Jacq. | Phytolaccaceae | TC | 1 | 2.58 |
| | <i>Syagrus oleracea</i> (Mart.) Becc. | Arecaceae | TC | 1 | 10.93 |
| | <i>Trichilia pallida</i> Sw. | Meliaceae | TC | 1 | 2.58 |
| | <i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg. | Rutaceae | TC | 1 | 14.37 |
| | SOMA | | | 93 | 6336.57 |
| Ref.1 | <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | Lamiaceae | PI | 10 | 212.05 |
| | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | PI | 2 | 14.65 |
| | <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan | Fabaceae | PI | 1 | 169.06 |
| | <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl. | Malvaceae | PI | 11 | 1566.65 |
| | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | Urticaceae | PI | 2 | 144.94 |
| | <i>Ceiba speciosa</i> (A. St. -Hil.) Ravenna | Malvaceae | PI | 1 | 301.96 |
| | <i>Cestrum intermedium</i> Sendtn. | Solanaceae | PI | 7 | 130.62 |
| | <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins | Rhaminaceae | TC | 3 | 156.15 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|-----------------------------------|---|----------------|----|-------|---------------|
| Ref.1 | <i>Croton floribundus</i> Spreng. | Euphorbiaceae | PI | 2 | 459.84 |
| | <i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham. | Verbenaceae | PI | 1 | 176.36 |
| | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | Fabaceae | PI | 3 | 201.52 |
| | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | Phytolaccaceae | PI | 4 | 351.58 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | PI | 16 | 1846.67 |
| | <i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth | Malvaceae | PI | 30 | 3617.73 |
| | <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | PI | 2 | 14.79 |
| | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Fabaceae | PI | 1 | 95.63 |
| | <i>Phytolacca dioica</i> L | Phytolaccaceae | PI | 3 | 955.38 |
| | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. | Fabaceae | PI | 1 | 335.16 |
| | <i>Pterogyne nitens</i> Tul. | Fabaceae | PI | 1 | 5.94 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | Anacardiaceae | PI | 18 | 1804.69 |
| | <i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC. | Apocynaceae | PI | 9 | 237.95 |
| <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume | Cannabaceae | PI | 3 | 35.49 | |
| | SOMA | | | 131 | 12834.8 |
| Ref.2 | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | PI | 3 | 38.97 |
| | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | Urticaceae | PI | 1 | 122.64 |
| | <i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav. | Solanaceae | PI | 1 | 11.16 |
| | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud. | Boraginaceae | PI | 1 | 5.94 |
| | <i>Croton floribundus</i> Spreng. | Euphorbiaceae | PI | 1 | 11.16 |
| | <i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham. | Verbenaceae | PI | 1 | 79.71 |
| | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | Fabaceae | PI | 5 | 6326.68 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|--|--|----------------|----|--------|---------------|
| Ref.2 | <i>Falcataria moluccana</i> (Miq.) Barneby & J.W. Grimes | Fabaceae | PI | 30 | 1139.04 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | PI | 13 | 1679.2 |
| | <i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth | Malvaceae | PI | 20 | 1482.77 |
| | <i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl. | Fabaceae | PI | 3 | 28.35 |
| | <i>Machaerium scleroxylon</i> Tul. | Fabaceae | PI | 4 | 846.97 |
| | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Fabaceae | PI | 1 | 38.98 |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | Myrtaceae | PI | 1 | 16.81 |
| | <i>Pterogyne nitens</i> Tul. | Fabaceae | PI | 1 | 5.94 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | Anacardiaceae | PI | 27 | 1572.09 |
| | SOMA | | | 113 | 13406.42 |
| Ref.3 | <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham. | Lamiaceae | PI | 4 | 34.39 |
| | <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | PI | 4 | 373.66 |
| | <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl. | Malvaceae | PI | 8 | 672.4 |
| | <i>Cecropia pachystachya</i> Trécul | Urticaceae | PI | 1 | 26.54 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | PI | 19 | 2812.99 |
| | <i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth | Malvaceae | PI | 11 | 2376.3 |
| | <i>Phytolacca dioica</i> L. | Phytolaccaceae | PI | 8 | 1225.01 |
| | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. | Fabaceae | PI | 1 | 29.66 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | Anacardiaceae | PI | 17 | 1052.44 |
| <i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC. | Apocynaceae | PI | 10 | 358.24 | |
| | SOMA | | | 83 | 8961.62 |

| Local | Espécie | Família | GE | N | Biomassa (Kg) |
|-------|---|----------------|----|----|---------------|
| Ref.4 | <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Euphorbiaceae | PI | 3 | 386.23 |
| | <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan | Fabaceae | PI | 2 | 620.77 |
| | <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | PI | 4 | 627.48 |
| | <i>Bauhinia forficata</i> Link | Fabaceae | TC | 1 | 5.94 |
| | <i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd. | Nyctaginaceae | PI | 1 | 29.55 |
| | <i>Colubrina glandulosa</i> Perkins | Rhaminaceae | TC | 2 | 115.09 |
| | <i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud. | Boraginaceae | PI | 1 | 11.16 |
| | <i>Croton floribundus</i> Spreng. | Euphorbiaceae | PI | 1 | 38.98 |
| | <i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham. | Verbenaceae | PI | 6 | 648.48 |
| | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | Fabaceae | PI | 3 | 590.31 |
| | <i>Ficus</i> sp. | Moraceae | PI | 1 | 12.44 |
| | <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms | Phytolaccaceae | PI | 1 | 89.82 |
| | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | Malvaceae | PI | 26 | 4121.26 |
| | <i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth | Malvaceae | PI | 1 | 179.63 |
| | <i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl. | Anacardiaceae | TC | 1 | 31.86 |
| | <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan | Fabaceae | PI | 1 | 41.54 |
| | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | Fabaceae | PI | 8 | 1125.99 |
| | <i>Pterogyne nitens</i> Tul. | Fabaceae | PI | 3 | 87.22 |
| | <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi | Anacardiaceae | PI | 21 | 728.99 |
| | SOMA | | | 87 | 9492.74 |