

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**APORTE DE SERAPILHEIRA, FAUNA EDÁFICA E MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

DEIVID LOPES MACHADO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

BOTUCATU, SÃO PAULO

Março - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**APORTE DE SERAPILHEIRA, FAUNA EDÁFICA E MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

DEIVID LOPES MACHADO

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vera Lex Engel

Coorientador: Pesq. Dr. Luiz Fernando Duarte de Moraes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

BOTUCATU, SÃO PAULO

Março – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M149a Machado, Deivid Lopes, 1984-
Aporte de serapilheira, fauna edáfica e matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de restauração florestal / Deivid Lopes Machado. - Botucatu : [s.n.], 2016 xix, 183 f. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Vera Lex Engel
Coorientador: Luiz Fernando Duarte de Moraes
Inclui bibliografia

1. Florestas tropicais. 2. Mata Atlântica. 3. Biodiversidade. 4. Ecossistemas. 5. Serapilheira. 6. Fauna do solo. 7. Matéria orgânica. Engel, Vera Lex. II. Moraes, Luiz Fernando Duarte de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APORTE DE SERAPILHEIRA, FAUNA EDÁFICA E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL


AUTOR: DEIVID LOPES MACHADO

ORIENTADORA: VERA LEX ENGEL


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. VERA LEX ENGEL
Depto. de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu


Profa. Dra. GISELDA DURIGAN
Floresta Estadual de Assis / INSTITUTO FLORESTAL DE SÃO PAULO


Profa. Dra. MARIA ELIZABETH FERNANDES CORREIA
EMBRAPA Agrobiologia


Prof. Dr. RAFAEL LEANDRO DE FIGUEIREDO VASCONCELOS
EMBRAPA Meio Ambiente


Profa. Dra. BRIGITTE JOSEFINE FEIGL
Centro de Energia Nuclear na Agricultura / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

Botucatu, 11 de março de 2016.

*Aos meus pais, Jesuel Lopes Machado e Nelzira Schmidt Machado,
com o amor do tamanho do universo.*

Dedico

Epígrafe

“Embora a criatividade humana seja capaz de fazer várias invenções, com a ajuda de diversas máquinas atendendo ao mesmo objetivo, ela jamais projetará algo mais belo ou mais simples ou mais pertinente do que a natureza, cujas invenções nada têm de incompleto, tampouco de supérfluo.”

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Mais uma jornada foi finalizada. Seria uma tarefa muito difícil finalizar esta pesquisa sem o apoio e ajuda de muitas pessoas; por isso, quando penso nas pessoas que fizeram parte de todo o ciclo, só me vem uma palavra: GRATIDÃO.

Agradeço a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa; especialmente:

À minha querida orientadora, Professora Dra. Vera Lex Engel, pela acolhida em seu laboratório (Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal - LERF/Botucatu), pela oportunidade de desenvolver este estudo em seu experimento, pela orientação, pela confiança e pelos valiosíssimos ensinamentos. Ainda à Vera, pela parceria nas braçadas e pernadas, junto à equipe Botumaster de natação.

Ao meu coorientador, Dr. Luiz Fernando Duarte de Moraes, pelas sugestões e discussões desde o início do planejamento da pesquisa.

Ao Professor Dr. Ronaldus Gerardus de Maria Goede (Ron de Goede), pela acolhida na Universidade de Wageningen, Holanda, durante o período sanduíche, pelas sugestões e discussões nas análises estatísticas.

À Dra. Giselda Durigan, pelas sugestões, pelos ensinamentos e por me encantar pela forma que faz ciência.

À Dra. Maria Elizabeth Fernandes Correia, pelas sugestões, pela amizade e pelos conselhos valiosíssimos.

Ao Professor Dr. Marcos Gervasio Pereira, um amigo de longa data, pelos ensinamentos, pelas sugestões e pelos conselhos.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP-Botucatu), pela estrutura e apoio em todas as frentes de ensino e pesquisa; especialmente aos funcionários do departamento de Ciência Florestal (Rosângela, Ieda e Dinho); aos queridos funcionários da Biblioteca; às secretárias da pós-graduação; e aos funcionários da seção de conservação e manutenção das fazendas experimentais, um mais que especial ao Jovem e Clóvis.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão da bolsa de Doutorado (Processo nº 2011/23593-1).

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio financeiro por meio do Edital Universal (nº 14/2011).

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de Doutorado Sanduíche (Processo nº 99999.004653/2014-09).

À Universidade de Wageningen (Holanda), pela acolhida e por ter me proporcionado um grande crescimento pessoal e profissional.

Às Doutoras Giselda Durigan e Renata Evangelista de Oliveira, pelas contribuições por ocasião do exame de qualificação.

Às Doutoras Giselda Durigan, Maria Elizabeth Fernandes Correia, Brigitte Josefine Feigl e ao Doutor Rafael Leandro de Figueiredo Vasconcellos, pelas valiosas contribuições por ocasião da defesa da tese.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF-UNESP) e agregados, pela ajuda nos trabalhos de campo, pelas trocas de ideias e pelas muitas gargalhadas; especialmente: Diego, Keila, Dani, Rita, Hã, Elder, Zé, Gisele, Pita, Mabio, Fervo, Cabrito, Wander, Mário, Sombra, Dimitrio, Lucas, Diana, Thayana, Madre, Jader e Diaçúcar.

Ainda ao pessoal do LERF, um agradecimento especial ao Diego, Dani e Hã pela excelente parceria nos trabalhos de campo.

Aos amigos da república “sem nome”: Zé, Rafael, Darlin, José Carlos, Paulo e Matheus, pela convivência e pela amizade.

Aos amigos da Botumaster, pelos prazerosos momentos de descontração; especialmente: Carla, Cecília, Márcio, Alessandro, Juliana, Guto, Arnaldo, Vera, Cardoso, Matias, Milene, Vivian e Vivi.

Ao pessoal do International Language Center (ILC), pelos ótimos momentos de aprendizagem e descontração; especialmente às amigas Sanae e Magda.

Aos amigos da equipe de Handebol de Botucatu, pela ótima equipe que formamos; especialmente: Paulinho, José Nelson, Lindão e Redtube.

Aos amigos da Associação Atlética Ferroviária, pelas ótimas conversas, jogos de sinuca e jantares, especialmente: Alessandro, Márcio, Marquinhos, Paulinho, Nelo, Júnior, Emerson, Marcão, Luiz, Luiz Alho, Jailton, Rizzo, Walter, Luciano, Cesinha e Bisqui.

Aos novos amigos, agora do Vôlei, pela acolhida e pelo carinho nos últimos momentos de redação da tese; especialmente ao grupo FOMINHAS: Carol, Maicon, Emerson, Vania, Adilson, Josy, Ana, Amaury e Priscila; e um mais que especial ao Gustavo, pelo carinho e amizade.

À Renake, pela acolhida em Wageningen, Holanda, pelo carinho e pela grande amizade.

Aos amigos de Wageningen (aterrorizadores^a e não aterrorizadores^b), pelos incríveis momentos de descontração: ^aGiovani, Luana, Naira, Diego, Ezequiel, Milene, Joana, Athos; ^bRenake, Amanda, Márcio, Mariana, Anabele, Wibi, Gustavo, Paulo, Tiago, Alexandre, Joshua e Padráic.

Aos amigos do Handebol de Wageningen, que me proporcionaram ótimos momentos de descontração; especialmente: Oriol, Tillman e Alexander.

Aos amigos do departamento de qualidade do solo da Universidade de Wageningen, Holanda, pelas ótimas conversas no “red corner”; especialmente: Ximxim, Giovani, Naira, Tati, Paulo, Way, Walter, Joana e Sumaye.

Ao grande amigo Diego, pelas valiosas conversas sobre ciência e sobre a vida.

Aos grandes amigos, Itaynara e Rodrigo, pela acolhida em Botucatu e pela amizade, carinho e preocupação.

Ainda à Itaynara, pelas longas conversas sobre análises de dados (Holanda-Brasil, Brasil-Holanda, Brasil-Brasil) e sobre a vida, e por compartilhar momentos de angústia, desespero e, é claro, de muita felicidade.

Ao quarteto TAKEDESA (TAttiane, KEila, DEivid e SAmoel) que permanece unido desde a graduação, ao longo de 13 anos de amizade.

Ainda ao TAKEDESA, um agradecimento à Keila que, desde a graduação, tem sido uma grande amiga, e que tem compartilhado de perto (Botucatu) e longe (Macapá e Concórdia) momentos de ansiedade e alegria.

Ainda ao TAKEDESA, um agradecimento à Tatti, que, mesmo distante, sempre com uma palavra amiga e carinhosa acalma o meu coração.

Ainda ao TAKEDESA, um agradecimento mais que especial ao nosso amigo Samoel Serra Monteiro (*in memoriam*). Meu amigo e irmão, muito obrigado pela amizade e pela cumplicidade nesses 13 anos. Lembre-se sempre: “*Amigo, te guardarei eternamente no lado esquerdo do meu peito, dentro do meu coração...e qualquer dia meu amigo a gente vai se encontrar*”.

À minha família, pelo amor incondicional e pelo grande apoio (pais: Jesuel e Nelzira; irmãs: Estefani, Débora e Ingrid; sobrinhos: André, Ana Clara, Matheus, Pedro, Gabriel, Elisa...; cunhados: Lelo, Luciano e Flávio). O amor e a compreensão de todos vocês são fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os colegas e amigos, que, de certa forma, contribuíram para a realização deste estudo.

Agradeço de todo o meu coração.

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO GERAL	5
2. MATERIAL E MÉTODOS GERAL	10
2.1. Localização e caracterização da região de estudo.....	10
2.2. Delineamento experimental dos sistemas de restauração	16
2.3. Caracterização da vegetação	23
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO I.....	31
“PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E TRANSFERÊNCIA DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL: EFEITOS DO SÍTIO E DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO”	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.1. Produção de serapilheira	35
2.2. Transferência de nutrientes via serapilheira	36
2.3. Análise de dados	36
3. RESULTADOS	40
4. DISCUSSÃO.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
CAPÍTULO II.....	62
“CARACTERÍSTICAS DE SÍTIO E SAZONALIDADE SÃO FATORES DETERMINANTES NA ESTRUTURAÇÃO DE COMUNIDADES DA FAUNA DE SERAPILHEIRA DE SISTEMAS FLORESTAIS EM RESTAURAÇÃO”.....	62
1. INTRODUÇÃO.....	63
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1. Amostragem da fauna associada à serapilheira	66
2.2. Densidade, índices ecológicos e grupos funcionais.....	68
2.3. Caracterização da serapilheira	69
2.4. Análise de dados	69
3. RESULTADOS	74
4. DISCUSSÃO.....	90
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

CAPÍTULO III	103
“EFEITOS DE DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SÍTIOS COM CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS CONTRASTANTES”	103
1. INTRODUÇÃO.....	104
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	107
2.1. Composição granulométrica	107
2.2. Análise isotópica do ¹⁵ N e ¹³ C.....	107
2.3. Estoques de carbono e nitrogênio	108
2.4. Caracterização da estabilidade da matéria orgânica do solo.....	108
2.5. Análise de dados	109
3. RESULTADOS	113
4. DISCUSSÃO.....	133
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
CONCLUSÕES GERAIS	151
APÊNDICES	153

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização da fertilidade e da granulometria dos sítios experimentais e da floresta de referência, no ano de 1997/1998, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo (Fonte: NOGUEIRA JÚNIOR, 2000). 13
- Tabela 2.** Caracterização da fertilidade do solo (média \pm erro padrão) dos sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no ano de 2013, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho, Botucatu, SP (N=3). 14
- Tabela 3.** Caracterização da fertilidade do solo (média \pm erro padrão) dos sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no ano de 2013, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP (N=3). 15
- Tabela 4.** Lista das espécies, famílias e nomes populares das plantas utilizadas para compor os sistemas de semeadura direta (SEM), agroflorestal (AGR), comercial (CML) e diversificado (DIV), no Sítio 1 (Fazenda Lageado) e Sítio 2 (Fazenda Edgardia), Botucatu, SP. 20
- Tabela 5.** Análise de variância de medidas repetidas no tempo para os efeitos do sítio, sistema, mês e interações na produção mensal de serapilheira. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 41
- Tabela 6.** Transferência total de nutrientes via serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios e entre sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Valores com mesma letra na coluna, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. 44
- Tabela 7.** Análise de regressão múltipla dos efeitos das características da vegetação na produção total média de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e na transferência de nutrientes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 45
- Tabela 8.** Análise de regressão múltipla dos efeitos das características da vegetação na produção total média de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e na transferência de nutrientes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo). Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 46
- Tabela 9.** Classificação do hábito alimentar dos grupos exclusivamente transformadores e predadores da fauna associada à serapilheira. 69

Tabela 10. Análise de variância dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações na densidade total de indivíduos, densidade de transformadores, densidade de predadores, riqueza rarefeita, índice de Pielou e no índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 76

Tabela 11. Efeitos padronizados diretos, indiretos e totais das características da vegetação e serapilheira na densidade total de indivíduos e riqueza rarefeita da fauna, baseados no modelo de equação estrutural. (valores representam significância a 5%; ns: não significativo; N=48). Maiores detalhes são encontrados no Apêndice 12. 81

Tabela 12. Resumo da análise de variância multivariada de medidas repetidas (PERMANOVA) dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações na composição de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; N=48). 82

Tabela 13. Resumo da análise de redundância (RDA) dos efeitos das características da vegetação e serapilheira estocada, de diferentes sistemas de restauração ecológica, na densidade de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 84

Tabela 14. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] da densidade total de indivíduos, riqueza rarefeita, índice de Pielou, índice de Shannon-Wiener, densidade de transformadores e densidade de predadores da fauna de serapilheira, entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Não houve diferenças entre os sistemas de restauração e o sistema controle (Tukey; $p < 0,05$). 86

Tabela 15. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{referência})$] da densidade total de indivíduos, riqueza rarefeita, índice de Pielou, índice de Shannon-Wiener, densidade de transformadores e densidade de predadores da fauna de serapilheira entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e a referência (REF), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito (teste t; $p < 0,05$). 87

Tabela 16. Resumo da análise de variância multivariada (PERMANOVA) de medidas repetidas dos efeitos de sítio, sistemas florestais (sistemas de restauração, sistema controle e referência), estação e interações na composição de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 88

Tabela 17. Composição granulométrica e classificação textural dos solos em diferentes sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência. Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. 114

Tabela 18. Valores médios \pm erro padrão dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT) e densidade aparente do solo (Ds), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 117

Tabela 19. Valores médios \pm erro padrão do carbono orgânico da fração humina (HUM), fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 119

Tabela 20. Resultados da análise de variância dos efeitos dos sistemas de restauração nos estoques de carbono (Est.C) e nitrogênio (Est. N), em diferentes profundidades do solo, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 120

Tabela 21. Resultados da análise de correlação (Pearson) entre as variáveis da vegetação dos sistemas de restauração e os estoques de nitrogênio e carbono ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores do coeficiente de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=12$). 124

Tabela 22. Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios de nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT), densidade aparente do solo (Ds), carbono orgânico da fração humina (HUM), fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) e referência (REF), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho), Botucatu, SP. Valores em negrito representam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 128

Tabela 23. Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios de nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT), densidade aparente do solo (Ds), carbono orgânico da fração humina (HUM), fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) e referência (REF), no Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores em negrito representam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 130

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação mensal (mm) e temperatura mínima, média e máxima (°C) no período de maio de 2012 a abril de 2013, no Câmpus da UNESP/FCA, Botucatu, SP. 10
- Figura 2.** Localização dos sítios experimentais nas fazendas pertencentes ao Câmpus da UNESP-FCA, Botucatu, SP. Legenda: Sítio 1: Fazenda Lageado (Nitossolo Vermelho); Sítio 2: Fazenda Edgardia (Argissolo Vermelho Amarelo). 11
- Figura 3.** Disposição dos sistemas e dos blocos no Sítio 1: Fazenda Lageado (a) e no Sítio 2: Fazenda Edgardia (b), Botucatu, SP. Legenda: B1: bloco 1; B2: bloco 2; B3: bloco 3; CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado). Fonte: Google Earth (acesso em: 10-05-2014). 19
- Figura 4.** Aspecto geral dos sistemas de restauração implantados, sistema controle e floresta de referência, no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho), Fazenda Lageado, Botucatu SP. Legenda: CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: fragmento de referência. 22
- Figura 5.** Coletores cônicos para a coleta de serapilheira instalados no Sítio 2, Fazenda Edgardia, Botucatu, SP. 35
- Figura 6.** Produção total de serapilheira entre sítios (a) e entre sistemas (b) de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, São Paulo. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Barras indicam média \pm erro padrão. Barras com letras iguais, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. 40
- Figura 7.** Produção mensal de serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios (a) e entre sistemas (b) de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, São Paulo. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. 42
- Figura 8.** Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios da produção total de serapilheira entre os sistemas de restauração e a floresta de referência no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência, e entre os sistemas de restauração e o sistema controle no Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo) (b), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo). 47
- Figura 9.** Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios da transferência de nutrientes, entre os sistemas de restauração e a floresta de referência no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência, e entre os sistemas de restauração e o sistema controle no Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo) (b,c), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças

significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo)..... 49

Figura 10. Valores de precipitação acumulada (mm) para os diferentes sítios e estações, nos dias que antecederam a amostragem da fauna de serapilheira (90, 60, 30 e 15 dias)... 66

Figura 11. Amostragem da fauna associada à serapilheira com auxílio de um gabarito metálico de 0,25 m lado, Botucatu, SP..... 67

Figura 12. Bateria de funis de Berlese-Tülgren utilizados para extração da fauna de serapilheira..... 68

Figura 13. Variação sazonal do erro-padrão da densidade média (a) e da riqueza média (b) da fauna de serapilheira dos sistemas de restauração, nos diferentes sítios e épocas de amostragem. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo. 74

Figura 14. Efeitos de interação entre sítios e estações na densidade total de indivíduos (ind.m^2) da fauna de serapilheira, em diferentes sistemas de restauração ecológica, Botucatu, SP. Letras iguais, maiúsculas entre sítios e minúsculas entre estações, não diferem estatisticamente (Tukey; $p < 0,05$)..... 76

Figura 15. Efeitos de sítio e estação na riqueza rarefeita (a) e no índice de Pielou (b), da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, Botucatu, SP. Letras iguais, nas comparações entre sítios e estações, não diferem estatisticamente (Tukey; $p < 0,05$)..... 77

Figura 16. Densidade de indivíduos (%) dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira em sistemas de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; LarFor: Larva de Formicidae; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera..... 78

Figura 17. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características de vegetação e serapilheira dos sistemas em restauração na densidade total de indivíduos da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Linhas contínuas representam relações significativas ($p < 0,05$) e linhas tracejadas representam relações não significativas ($p \geq 0,05$) (N=48). Os coeficientes de caminho são padronizados. 79

Figura 18. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características de vegetação e serapilheira dos sistemas em restauração na riqueza rarefeita da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho

Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Linhas contínuas representam relações significativas ($p < 0,05$) e linhas tracejadas representam relações não significativas ($p \geq 0,05$) ($N=48$). Os coeficientes de caminho são padronizados..... 80

Figura 19. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) utilizando a densidade média de indivíduos (ind.m^2) por grupo taxonômico da fauna de serapilheira e os fatores de sítio, sistemas de restauração e estação. Stress = 0,177; ajuste não-métrico, $R^2 = 0,969$; ajuste linear, $R^2 = 0,813$, $N=16$. Legenda: inv.: inverno; ver.: verão; S1: Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); S2: Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hir: Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera. Os dois símbolos (grupos) na figura foram obtidos a partir do método de agrupamento de médias não ponderadas com média aritmética (UPGMA). 83

Figura 20. Diagrama de ordenação da análise de redundância (RDA) baseada nos efeitos da quantidade de serapilheira estocada e teores de Ca (9,26%) na densidade de grupos taxonômicos (ind.m^2), em diferentes sistemas de restauração, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. ($N=48$). Legenda: Aca: Acari; Ara: Araneae; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera. 85

Figura 21. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) utilizando a densidade média de indivíduos por grupo taxonômico da fauna de serapilheira e os fatores de sítio, sistemas de restauração, sistema controle, referência e estação. Stress = 0,198; ajuste não-métrico, $R^2 = 0,961$; ajuste linear, $R^2 = 0,778$, $N=24$. Legenda: inv: inverno; ver: verão; S1: Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); S2: Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: referência. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hir: Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera;

Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera. Os dois símbolos (grupos) na figura foram obtidos a partir do método de agrupamento de médias não ponderadas com média aritmética (UPGMA). 89

Figura 22. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais (ACP) dos valores médios dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo dos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, nas diferentes profundidades do solo, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. Legenda: COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; CN: relação carbono/nitrogênio; Ds: densidade aparente do solo; EstC: estoque de carbono; EstN: estoque de nitrogênio; HUM: humina; FAH: fração ácido húmico; FAF: fração acima fúlvico; COam: carbono associado aos minerais; COp: carbono orgânico particulado; CC3: carbono de plantas C3; CC4: carbono de plantas C4. 113

Figura 23. Valores médios dos estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha⁻¹) (a) e carbono (Est.C: Mg.ha⁻¹) (b) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 0-40 cm, em sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, nos diferentes sítios estudados (Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias ± erro padrão. 115

Figura 24. Valores médios de estoque de nitrogênio (Mg.ha⁻¹) e estoque de carbono (Mg.ha⁻¹) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 0-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias ± erro padrão. Valores médios com letras iguais entre os sistemas de restauração não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); ns: não significativo. 121

Figura 25. Valores médios da contribuição do carbono da floresta de referência (C-C3) e do carbono oriundo de gramíneas (C-C4) no estoque de carbono (Est.C: Mg.ha⁻¹), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e Sítio 2: (Argissolo Vermelho Amarelo) (b), Botucatu, SP. Barras indicam médias ± erro padrão. 122

Figura 26. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características da vegetação dos sistemas de restauração nos estoques de nitrogênio (a) e carbono (b), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2: (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. (N=24). Linhas contínuas representam relações significativas (p<0,05) e linhas tracejadas representam relações não significativas (p≥0,05). Os coeficientes de caminho foram padronizados. Maiores detalhes são encontrados no Apêndice 20. 123

Figura 27. Valores médios do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (‰) do carbono orgânico, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias ± erro padrão. 126

Figura 28. Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios do estoque de carbono e nitrogênio, na profundidade de 0-40 cm, entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) (a e c), e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (REF) (b e d), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo). 132

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização da vegetação arbórea dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e florestas de referência (REF-S1: referência do Sítio 1; REF-S2: referência do Sítio 2). FBN: capacidade de fixação biológica de nitrogênio (F: fixadoras). DEC: deciduidade (B: brevidecídua; D: decídua; SV: sempre verde). 153

Apêndice 2. Características da vegetação arbórea dos indivíduos plantados e regenerantes com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), dos sistemas de restauração ecológica, aos 16 anos, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado. 163

Apêndice 3. Características da vegetação arbórea dos indivíduos plantados e regenerantes com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, Botucatu, SP. SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; CON: sistema controle; REF: floresta de referência. 163

Apêndice 4. Características da vegetação arbórea dos indivíduos com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, Botucatu, SP. SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; CON: controle; REF: referência. Valores médios apresentados para os indivíduos plantados ou semeados (SEM, AGR, CML e DIV) e para os indivíduos regenerantes (SEM-REG, AGR-REG, CML-REG e DIV-REG, REF-REG, CON-REG). 164

Apêndice 5. Concentração de nutrientes da serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios e entre sistemas, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Valores com mesma letra na coluna, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. 165

Apêndice 6. Variação sazonal do erro-padrão da densidade média (a) e riqueza média (b) da fauna de serapilheira nos diferentes sistemas de restauração, sítios e épocas de amostragem. SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo. 166

Apêndice 7. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão), riqueza rarefeita (\pm erro padrão), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Nitossolo Vermelho na estação inverno, Botucatu, SP. 167

Apêndice 8. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão), riqueza rarefeita (\pm erro padrão), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração

ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Nitossolo Vermelho na estação verão, Botucatu, SP. 168

Apêndice 9. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão), riqueza rarefeita (\pm erro padrão), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Argissolo Vermelho Amarelo na estação inverno, Botucatu, SP. 169

Apêndice 10. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão), riqueza rarefeita (\pm erro padrão), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Argissolo Vermelho Amarelo na estação verão, Botucatu, SP. 170

Apêndice 11. Densidade de indivíduos (ind.m^2) dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira com composição relativa superior a 1%, em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. 171

Apêndice 12. Resumo da análise de equações estruturais para as variáveis de densidade total e riqueza rarefeita. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=48$). 172

Apêndice 13. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) em diferentes de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. 173

Apêndice 14. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) em diferentes de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. 174

Apêndice 15. Análise de variância dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações nas características da comunidade vegetal (riqueza, área basal, densidade, decíduas e fixadoras) e nas características da serapilheira estocada (estoque, C, N, C:N, Ca, Mg e K). Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$). 175

Apêndice 16. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e fauna de serapilheira que foram utilizadas na análise multivariada e nos modelos de equações estruturais, baseados nos sistemas de restauração nos diferentes sítios e estações. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=48$). 176

Apêndice 17. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e grupos taxonômicos da fauna, baseados nos sistemas de restauração nos diferentes sítios e estações. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=48$). 177

Apêndice 18. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV:

diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. 178

Apêndice 19. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e solo, baseados nos sistemas de restauração de ambos os sítios. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=24$). 179

Apêndice 20. Resumo da análise de equações estruturais para as variáveis de estoque de nitrogênio e carbono. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=24$). 180

Apêndice 21. Valores médios (\pm erro padrão) dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), nitrogênio total (NT: g.kg^{-1}), carbono orgânico total (COT: g.kg^{-1}), relação C:N(g.kg^{-1}), densidade do solo (Ds: g.cm^{-3}), estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha^{-1}) e carbono (Est.C: Mg.ha^{-1}), contribuição de plantas C4 (CC4) e C3 (CC3) no estoque de carbono, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho, Botucatu, SP. 181

Apêndice 22. Valores médios (\pm erro padrão) dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), nitrogênio total (NT: g.kg^{-1}), carbono orgânico total (COT: g.kg^{-1}), relação C:N(g.kg^{-1}), densidade do solo (Ds: g.cm^{-3}), estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha^{-1}) e carbono (Est.C: Mg.ha^{-1}), contribuição de plantas C4 (CC4) e C3 (CC3) no estoque de carbono, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. 182

Apêndice 23. Valores médios em g.kg^{-1} do carbono do fracionamento químico e físico, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em sítios sob solo Nitossolo Vermelho (Sítio 1) e Argissolo Vermelho Amarelo (Sítio 2), Botucatu, SP. 183

RESUMO

A composição e as características funcionais de espécies vegetais possuem grande efeito no funcionamento de ecossistemas florestais. Entretanto, o conhecimento das relações entre as características da vegetação com processos relacionados à ciclagem de nutrientes em sistemas em processo de restauração ecológica ainda é incipiente. Investigamos os efeitos de sítios e sistemas de restauração com composição e estrutura contrastantes na produção de serapilheira e na transferência de nutrientes, na fauna associada à serapilheira e na matéria orgânica do solo (MOS). Estudamos um experimento que foi implantando em 1997, no Câmpus da UNESP/FCA, em Botucatu, SP, em dois sítios com distintas características edáficas, sendo um localizado na Fazenda Lageado, que é caracterizado por apresentar textura argilosa e de maior fertilidade (Sítio 1 - Nitossolo Vermelho) e o outro localizado na Fazenda Edgardia, apresentando textura arenosa e menor fertilidade (Sítio 2 - Argissolo Vermelho Amarelo). O experimento foi delineado em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (sistemas de restauração) e três repetições, em parcelas de 50 x 50 m (2500 m²). Em cada sítio foram implantados quatro sistemas de restauração, que se diferenciaram pelo número e composição de espécies utilizadas: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal (AGR), comercial para madeira e lenha (CML) e diversificado (DIV). Também faz parte do experimento um sistema controle (CON), em que não foi feito plantio (restauração passiva), e se encontra em processo de sucessão natural. Próximo a cada sítio estudamos também um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, como referência (REF). Caracterizamos todos os sistemas de restauração e a floresta de referência quanto ao número de espécies (riqueza rarefeita), densidade, área basal, porcentagem de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e porcentagem de indivíduos de espécies decíduas. Os sistemas que produziram maior quantidade de serapilheira e nutrientes, independentemente das condições do sítio, foram o comercial (CML) e o diversificado (DIV), devido, respectivamente, à maior proporção de indivíduos de espécies potencialmente fixadoras de nitrogênio atmosférico e maior riqueza de espécies. O comercial e o diversificado também foram os sistemas que mais se diferiram do controle e mais se assemelharam à referência. Os sistemas de restauração não influíram na estruturação e composição da fauna, tampouco diferiram do controle e da floresta de referência, sendo as condições do sítio e a sazonalidade os principais fatores

responsáveis pelas diferenças ocorridas, um reflexo principalmente da umidade do solo e dos teores de P e Ca da serapilheira estocada. Embora nossos resultados indiquem que a riqueza de espécies e a porcentagem de fixadores de nitrogênio possuem forte influência na dinâmica da MOS, seus efeitos foram constatados somente no Sítio 1, devido à maior quantidade de argila; no Sítio 2, a grande quantidade de areia implicou em baixos teores de MOS. No Sítio 1, mesmo que não tenhamos verificado diferenças entre os sistemas de restauração, nossos resultados indicaram que os sistemas comercial e diversificado são os sistemas que mais se parecem com a floresta de referência, destacando-se o consórcio comercial que, além de altos valores de estoques, apresentou semelhanças com a referência nos valores de nitrogênio total, carbono orgânico total, abundância natural de ^{15}N e carbono associado aos minerais (COam). A partir de uma análise integradora dos diferentes processos aqui estudados, nossos resultados sugerem que, em sentido amplo, a utilização de espécies com características particulares (por exemplo, com potencial de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico) é tão eficaz na restauração dos processos de ciclagem de nutrientes, quanto sistemas com alta riqueza de espécies.

Palavras-chave: Floresta tropical estacional; mata atlântica, biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas; serapilheira; fauna do solo; matéria orgânica do solo.

FINE LITTERFALL, SOIL FAUNA AND SOIL ORGANIC MATTER IN DIFERENT FOREST RESTORATION SYSTEMS. Botucatu, 2016, 183p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Author: DEIVID LOPES MACHADO

Adviser: Dr. VERA LEX ENGEL

Co-adviser: Dr. LUIZ FERNANDO DUARTE DE MORAES

SUMMARY

Functioning of forest ecosystems is greatly affected by composition as well as functional traits of plant species. However, the relationship between vegetation traits with nutrient cycling related processes in ecological restoration is so far under explored in the literature. We investigated the effects of tree species traits on different aspects of nutrient cycling (litter and nutrients production, litter-associated fauna and soil organic matter - SOM) in different ecological restoration systems. We analyzed a long-term experiment implemented in 1997, at the Campus of UNESP/FCA in Botucatu, at two sites with different soil characteristics. Site 1 has a clayey and higher fertility soil (a fertile loamy Ultisol) and Site 2 has a sandy texture and lower fertility soil (Alfisol). The experiment was designed in randomized blocks with five treatments (restoration systems) and three replications in 50 x 50 m plots (2500 m²). Four different restoration systems were implanted at each site. Restoration systems are differentiated by the number and composition of species used: direct seeding (SEM), agroforestry (AGR), commercial timber and firewood and (CML) and diversified (DIV). A control system (CON), with no planting and natural succession processes are following its own way (passive restoration) was also analyzed. Furthermore, we studied a fragment of seasonal semideciduous forest next to each site as a reference (REF). We assessed the number of species (rarefied richness), density, basal area and percentage of nitrogen fixing species and percentage of individuals of deciduous species in all restoration systems and forest reference. Litter and nutrient yield were higher both in the commercial (CML) and diversified (DIV) systems, regardless of site condition, which was due, respectively, to the largest proportion of individuals of putative nitrogen fixing species and higher species richness in those systems. The commercial and diversified systems were also the ones who most differed from the

control and were the most similar to the reference. Restoration systems did not influence the soil fauna community structure, neither differed from the control and reference forest, while site conditions and seasonality were the main factors explaining differences, a reflection mainly of soil moisture and levels of P and Ca from litter stock. Although our results indicate that species richness and percentage of nitrogen-fixing species had a major influence on SOM dynamics, this was only observed at Site 1, due to the greater clay content. In Site 2, the high sand proportion resulted in low SOM levels. In Site 1, although we have not found differences amidst restoration systems, our results indicated that the commercial mixed planting (CML) and diversified (DIV) systems were the most similar ones to the reference forest, especially the COM, regarding total nitrogen, total organic carbon, natural ^{15}N abundance and carbon associated with minerals (COam). By means of an integrative analysis of all processes studied here, our results suggest that the choice of species with particular traits (for example, putative nitrogen biological fixation) are as effective at restoring processes nutrient cycling, as systems with high species richness.

Key words: Tropical seasonal forest; atlantic forest; biodiversisty and ecosystem function; litterfall; soil fauna; soil organic matter.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Esforços para a recuperação de florestas degradadas têm sido feitos desde o século XIX no Brasil, por meio de plantações florestais (FREITAS et al., 2006). Contudo, os plantios realizados naquela época se atinham apenas nos aspectos silviculturais das espécies plantadas, e não procuravam entender o papel dessas espécies no funcionamento do ecossistema florestal (BELLOTO et al., 2009). Somente a partir do final da década de 80, com o desenvolvimento da Ecologia da Restauração como ciência, os plantios florestais foram implantados com objetivos mais amplos e o termo restauração ecológica passou a ser mais claramente definido (ENGEL; PARROTA, 2008).

A restauração ecológica tem sido definida como a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, auxiliando o processo de estabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004), levando em consideração seus valores ecológicos, econômicos e sociais (ENGEL; PARROTA, 2008). A partir de então, a restauração florestal vem tomando importância crescente no contexto da qualidade ambiental e reflorestamentos têm sido implantados com maior frequência. Entretanto, devido à pouca idade que essas áreas em processo de restauração apresentam, ainda carecem de parâmetros que permitam verificar a eficácia das técnicas empregadas, sendo necessária a avaliação e o monitoramento desses ecossistemas para o seu aprimoramento (MELO; DURIGAN, 2007).

Para acompanhar a trajetória sucessional de ecossistemas em processo de restauração, diversos atributos ecossistêmicos têm sido utilizados, sendo que a maioria se concentra em parâmetros da comunidade vegetal como indicadores da restauração (RUIZ-JAÉN; AIDE, 2005). Contudo, o desenvolvimento da comunidade vegetal não representa a totalidade dos objetivos da restauração ecológica, já que esses consideram também que os processos do ecossistema devem ser restabelecidos (SER, 2004). A compreensão dos processos envolvidos no funcionamento do sistema ecológico e nas interações existentes entre seus componentes bióticos e abióticos é, portanto, necessária.

Uma nova perspectiva tem sido adotada em pesquisas de ecologia da restauração: a abordagem que relaciona a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema, ou teoria BEF (*Biodiversity and Ecosystem Function*), que sintetiza, em

conjunto, elementos da ecologia de comunidades e de ecossistemas (NAEEM, 2006). A abordagem BEF enfoca o papel chave da biodiversidade na regulação do funcionamento do ecossistema, dentro de limites impostos pelo ambiente físico (NAEEM, 2006; WRIGHT et al., 2009; CADOTTE, 2011). Essa abordagem considera que um ecossistema degradado possa ter sofrido redução tanto da biodiversidade como de seu funcionamento, e que a restauração teria como meta recuperar tais propriedades (LAMB et al., 2005; NAEEM, 2006), enfatizando os caracteres funcionais e as interações entre espécies, bem como seu papel regulador do funcionamento do ecossistema. O funcionamento inclui não só as propriedades e os serviços do ecossistema, mas também o conjunto existente de organismos capazes de modificar a matéria entre formas orgânicas e inorgânicas, limitados pelos fatores abióticos (HOOPER et al., 2005; DELAPLANTE et al., 2011).

As relações entre a biodiversidade e o funcionamento dependem da abundância de cada espécie, dos seus caracteres funcionais, e das interações bióticas que regulam a magnitude e a variabilidade de expressão da função considerada (NAEEM; WRIGHT, 2003; HOOPER et al., 2005). Nem sempre essa relação é linear, sendo na maioria das vezes assintótica, ou seja, existe certo grau de redundância no papel ecológico das espécies e, deste modo, em ecossistemas que atingiram um limiar máximo, a adição de novas espécies não necessariamente resultará em melhor funcionamento do ecossistema (NAEEM, 2006; ENGEL, 2011). O acréscimo de espécies em um ecossistema em que a diversidade é baixa possui efeito maior no seu funcionamento, havendo um ponto em que a adição de espécies não possuirá mais efeito significativo, pela maior redundância das funções ecológicas entre as espécies (NAEEM, 2006). No entanto, essa hipótese ainda carece de mais evidências experimentais.

A biodiversidade vegetal pode ter efeitos positivos no funcionamento de diversas funções e serviços do ecossistema, como, por exemplo, na produção de serapilheira e nutrientes, na fauna do solo e nos estoques de carbono e nitrogênio (SCHERER-LORENZEN et al., 2007; CELENTANO et al., 2011; LAOSSI et al., 2008; MACHADO et al., 2015; GAMFELDT et al., 2013; ZUO et al., 2015). Entretanto, deve-se considerar também o papel de espécies com características particulares, como as que possuem a capacidade de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio, na ciclagem de nutrientes de solos florestais (PRESCOTT, 2010), o que está relacionado, principalmente, com o seu papel de facilitação (LOREAU; HOOPER, 2001). Estudos têm demonstrado a importância de espécies com potencial de fixação biológica de nitrogênio

na produção de serapilheira e nutrientes, na fauna do solo e nos estoques de carbono e nitrogênio (FERNANDES et al., 2006; CELENTANO et al., 2011; LAOSSI et al., 2008; CUNHA-NETO et al., 2012; MACEDO et al., 2008; WANG et al., 2010).

Dentre os diversos processos ecológicos existentes nos ecossistemas terrestres, as relações que envolvem o ambiente do solo, bem como as ligações entre os componentes acima (comunidade vegetal) e abaixo do solo (fauna do solo), têm sido cada vez mais reconhecidas por auxiliarem na restauração desses ambientes (HENEGHAN et al., 2008; CALLAHAM JR. et al., 2008; EVINER; HAWKES, 2008; KARDOL; WARDLE, 2010). As relações planta-solo são fundamentais para a eficácia da restauração de comunidades e ecossistemas terrestres (EVINER; HAWKES, 2008), uma vez que a comunidade vegetal pode influir em todos os aspectos da composição e funções do solo, como temperatura, umidade, pH, matéria orgânica, relação C:N, biomassa microbiana, agregação, habitats e/ou recursos para microrganismos e macrorganismos (EVINER; HAWKES, 2008; BARDGETT; WARDLE, 2010). A partir do conhecimento da importância das relações planta-solo para o funcionamento dos ecossistemas, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas avaliando as ligações entre esses componentes (WARDLE et al., 2006; VANBERGEN et al., 2007; LAOSSI et al., 2008; BALL et al., 2009; DAVIS; UTROP, 2010). Contudo, no contexto da restauração de ecossistemas florestais tropicais, o conhecimento dessas ligações ainda é incipiente, principalmente em áreas em processos de restauração florestal no Brasil.

Na restauração de florestas tropicais, embora plantios de alta diversidade sejam bem sucedidos (RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011; LAMB, 2012), outros estudos demonstraram que um menor número de espécies plantadas inicialmente pode também levar a uma trajetória sucessional favorável, com aumento natural de espécies ao longo do tempo (LAMB et al., 2005; SCHERER-LORENZEN et al., 2007; DURIGAN et al., 2010; DURIGAN; ENGEL, 2012), desde que sejam utilizadas espécies cujas características irão contribuir mais efetivamente para o restabelecimento das funções do ecossistema. Em função disso, podemos pressupor que haja uma estrutura mínima da vegetação, em termos de riqueza e composição de espécies, capaz de garantir o bom funcionamento do ecossistema (NAEEM, 2006; WRIGHT et al., 2009), o que seria relevante para a restauração (ENGEL, 2011). No entanto, essa hipótese carece ainda de mais evidências experimentais, já que a maior parte dos estudos com essa abordagem têm

sido realizados em comunidades de herbáceas (HOOPER; VITOUSEK, 1998; GARTNER; CARDON, 2004; APONTE et al., 2013).

Cientistas da restauração têm buscado lacunas de conhecimento que precisam ser mais bem investigadas, de forma a fornecer base para sua inserção nas práticas de restauração ecológica. Dentre essas lacunas, há consenso sobre a necessidade de uma análise mais aprofundada das relações entre biodiversidade e os processos chave relacionados com a ciclagem de nutrientes, como a dinâmica de produção da serapilheira, da fauna edáfica e da matéria orgânica do solo, que estão intimamente relacionadas com o funcionamento dos ecossistemas.

Para tanto, estudamos um experimento de longa duração, implantado em 1997, intitulado “Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo”. O experimento em questão é fruto de um trabalho cooperativo entre pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e USDA-Forest Service, e tem como objetivo avaliar a sustentabilidade ecológica, econômica e social de diferentes modelos de associações de espécies, visando sua aplicação a pequenas e médias propriedades rurais. O projeto foi instalado em 1997, em três sítios experimentais, no campus da UNESP/FCA, Botucatu, em uma área total aproximada de 12,0 ha. Desde sua implantação, importantes resultados desse projeto têm sido obtidos, como os trabalhos de Engel e Parrota (2001), Siddique et al. (2008); Nogueira Júnior et al. (2011, 2014); Podadera et al. (2015); Ré et al. (2015) e muitos outros estão em fase de desenvolvimento. Pela maneira como foi delineado, por sua replicação em sítios com características edáficas contrastantes e levando-se em conta que próximo aos sítios experimentais existem fragmentos bem conservados de Floresta Estacional Semidecidual, que são utilizados como referência, é possível acompanhar as trajetórias sucessionais dos plantios. Dessa forma, esse projeto tornou-se um grande laboratório para o teste de várias hipóteses ecológicas.

Objetivamos, com esta pesquisa, compreender como sistemas de restauração ecológica com diferentes características de composição e estrutura influem em diferentes aspectos da ciclagem de nutrientes. Buscamos responder às seguintes questões:

- 1) Quais os efeitos dos fatores características ambientais dos sítios e sistemas de restauração florestal na produção de serapilheira e na transferência de nutrientes, na fauna edáfica e na matéria orgânica do solo?

2) Quais as características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração florestal melhor explicam a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes, a fauna edáfica e a matéria orgânica do solo?

3) Aos 16 anos após a implantação do experimento, os sistemas de restauração florestal foram capazes de restaurar a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes, a fauna edáfica e a matéria orgânica do solo, tendo como referência uma floresta conservada?

A tese foi organizada em três capítulos, precedidos por uma seção de Material e Métodos Geral, em que apresentamos a localização e a caracterização da região de estudo, bem como a caracterização dos sistemas florestais estudados, que são comuns aos três capítulos. Após o terceiro capítulo, apresentamos as conclusões gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS GERAL

2.1. Localização e caracterização da região de estudo

O estudo foi realizado na região centro-sul do Estado de São Paulo, no município de Botucatu, nas Fazendas Experimentais Edgardia e Lageado, pertencentes ao Câmpus da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP/FCA). As coordenadas geográficas são de 22°52'32”S e 48°26'46”W.

De acordo com Köeppen o clima é classificado como Cfa (ALVARES et al., 2013), subtropical úmido e quente. A precipitação média anual é de 1.494 mm, distribuída principalmente entre os meses de outubro a março. A temperatura média anual é de 19,4 °C, variando de 21,9 °C (janeiro) a 16,3 °C (julho) (NOGUEIRA JÚNIOR, 2000). Na Figura 1 é apresentada a precipitação mensal e as temperaturas, mínima, média e máxima mensal nos meses de maio de 2012 a abril de 2013, período em que foi realizada a maioria das amostragens.

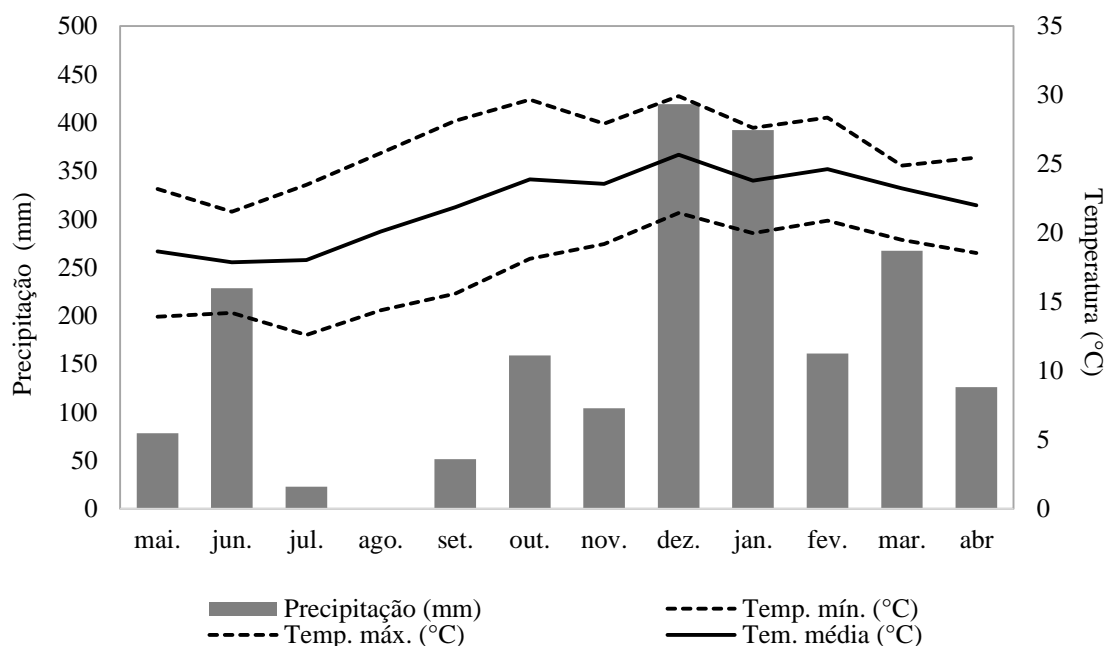


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura mínima, média e máxima (°C) no período de maio de 2012 a abril de 2013, no Câmpus da UNESP/FCA, Botucatu, SP.

A vegetação natural das áreas é classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual de domínio da Mata Atlântica (IBGE, 2012). Na região encontram-se alguns remanescentes de floresta em diversos estádios de conservação (ORTEGA; ENGEL, 1992; JORGE; SARTORI, 2002).

A região de estudo possui topografia acidentada, com altitude variando de 464 m a 775 m. Em decorrência da topografia e embasamento geológico, existe uma variação de tipos de solo, desde mais férteis de origem basáltica, até manchas de solo extremamente pobres e ácidos, representando bem a variação de classes de solo do Estado de São Paulo (NOGUEIRA JÚNIOR, 2000).

O presente estudo foi realizado em sítios experimentais que fazem parte de um projeto intitulado “Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo”, um trabalho cooperativo entre pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e USDA-Forest Service, que tem como objetivo avaliar a sustentabilidade ecológica, econômica e social de diferentes modelos de associações de espécies, visando sua aplicação a pequenas e médias propriedades rurais. O projeto foi instalado entre os anos 1997-1998, em três áreas experimentais localizadas no Câmpus da UNESP/FCA, Botucatu, em uma área total aproximada de 12,0 ha. Para a realização deste estudo foram utilizados dois sítios (Figura 2), os quais possuem características contrastantes.

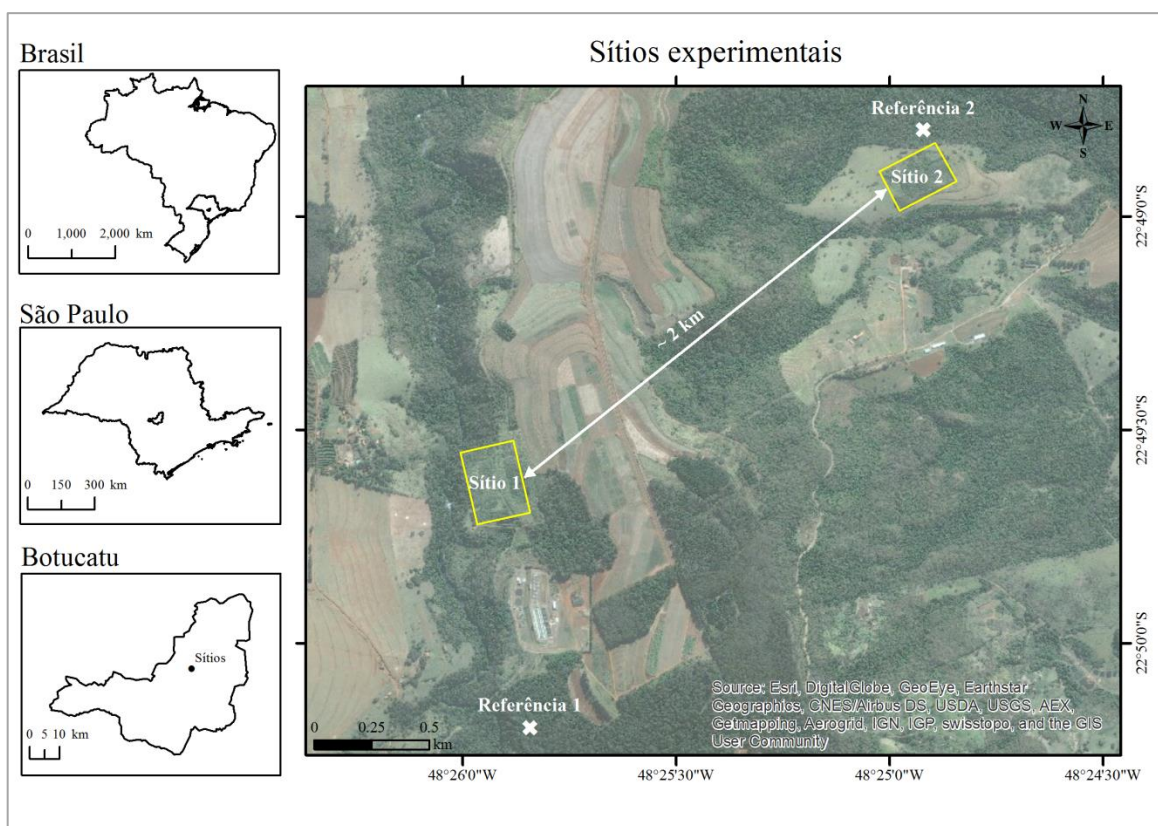


Figura 2. Localização dos sítios experimentais nas fazendas pertencentes ao Câmpus da UNESP-FCA, Botucatu, SP. Legenda: Sítio 1: Fazenda Lageado (Nitossolo Vermelho); Sítio 2: Fazenda Edgardia (Argissolo Vermelho Amarelo).

Sítio 1 (Nitossolo Vermelho): Está localizado na fazenda experimental Lageado, a aproximadamente 700 m de altitude, em relevo ondulado, em uma mancha de solo da classe Nitossolo Vermelho, caracterizado por apresentar textura argilosa e alta fertilidade natural, conforme caracterização realizada por Nogueira Júnior (2000) (Tabela 1) e feita no ano de 2013 (Tabela 2). O solo da área experimental antes da implantação do experimento era coberto por pastagem abandonada dominada por capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.). Esse sítio situa-se próximo à calha do Ribeirão Lavapés, em um vale relativamente isolado, circundado por campos agrícolas. Existem remanescentes próximos de matas ciliares naturais em estágio intermediário de sucessão, entre a área experimental e o rio (Figura 2).

Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo): Localiza-se a aproximadamente 547 m de altitude, em uma mancha de solo Argissolo Vermelho Amarelo, em relevo suave ondulado, caracterizado com textura arenosa e de menor fertilidade quando comparado com o Sítio 1, conforme descrição de Nogueira Júnior (2000) (Tabela 1) e realizada em 2013 (Tabela 3). Parte da área experimental, antes do plantio, era utilizada como pastagem de *Urochloa decumbens* Stapf., e parte como plantio de *Citrus* sp. que já estava senescente e abandonado. Próximo a esse sítio situa-se um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em bom estado de conservação, que sofreu apenas extrações seletivas de madeira até o ano de 1970 (Figura 2).

Tabela 1. Caracterização da fertilidade e da granulometria dos sítios experimentais e da floresta de referência, no ano de 1997/1998, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo (Fonte: NOGUEIRA JÚNIOR, 2000).

	pH	MO	P _{resina}	K	Ca	Mg	H	Al	V	Areia	Silte	Argila
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----cmol _c .dm ⁻³ -----					%	-----g.kg ⁻¹ -----		
Sítio 1												
-----0-5 cm-----												
Área experimental	5,8	51	40	4,7	84	26	26	0,1	82			
Floresta de referência	6,7	107	98	4,6	317	43	18	0,4	96			
-----5-10 cm-----												
Área experimental	5,7	44	22	4,8	59	22	28	0,4	76	300	170	530
Floresta de referência	6,3	84	106	4,1	274	44	22	0,2	94	417	246	337
-----10-20 cm-----												
Área experimental	5,7	37	16	3,6	77	18	32	0,5	77	210	120	670
Floresta de referência	5,7	73	73	3,4	236	44	28	0,5	91	350	223	427
-----20-40 cm-----												
Área experimental	5,6	26	13	1,8	64	15	30	0,4	72	223	127	650
Floresta de referência	6,0	63	45	4,5	181	40	27	0,1	90	380	230	390
Sítio 2												
-----0-5 cm-----												
Área experimental	5,6	16	27	2,3	18	12	13	0,1	67			
Floresta de referência	5,8	44	33	8,7	83	14	15	0,7	87			
-----5-10 cm-----												
Área experimental	5,1	14	19	1,7	14	8,4	16	0,6	56	920	0	80
Floresta de referência	5,4	27	25	2,4	52	10	16	0,6	79	920	20	60
-----10-20 cm-----												
Área experimental	4,6	11	12	1,3	12	5,8	18	1,6	47	899	0	101
Floresta de referência	5,1	18	18	1,7	32	7,8	15	0,9	72	933	20	47
-----20-40 cm-----												
Área experimental	4,4	6,5	10	1,3	10	4,8	20	2,5	38	852	27	121
Floresta de referência	4,8	7,0	12	2,0	19	5,5	16	0,7	62	940	20	40

Tabela 2. Caracterização da fertilidade do solo (média \pm erro padrão) dos sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no ano de 2013, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho, Botucatu, SP (N=3).

Sítio 1	pH	P _{resina}	HAI	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g.cm ⁻³			-----cmol _c .dm ⁻³ -----				%
0-5 cm									
CON	5,73 \pm 0,18	27,06 \pm 9,39	29,71 \pm 4,48	9,18 \pm 5,72	106,77 \pm 23,5	30,93 \pm 4,22	146,9 \pm 32,7	176,6 \pm 28,2	81,3 \pm 6,08
SEM	5,51 \pm 0,24	15,13 \pm 2,24	36,34 \pm 6,44	3,62 \pm 0,89	97,99 \pm 12,6	33,96 \pm 2,24	135,6 \pm 13,9	171,9 \pm 7,53	78,5 \pm 4,79
AGR	5,67 \pm 0,03	14,97 \pm 2,07	32,78 \pm 3,05	3,68 \pm 1,20	98,73 \pm 8,38	23,58 \pm 0,66	126,0 \pm 7,84	158,8 \pm 6,28	79,2 \pm 2,24
CML	5,40 \pm 0,15	20,65 \pm 2,40	42,52 \pm 3,89	4,08 \pm 1,30	105,31 \pm 5,52	23,36 \pm 1,31	132,8 \pm 7,92	175,3 \pm 4,26	75,6 \pm 2,69
DIV	5,80 \pm 0,08	17,47 \pm 3,07	27,39 \pm 2,38	5,59 \pm 1,24	124,68 \pm 3,49	28,77 \pm 0,43	159,1 \pm 3,64	186,4 \pm 1,44	85,3 \pm 1,37
REF	5,93 \pm 0,08	24,29 \pm 2,13	25,83 \pm 2,36	4,08 \pm 0,56	212,44 \pm 25,3	29,74 \pm 1,25	246,3 \pm 27,0	272,1 \pm 24,9	90,2 \pm 1,66
5-10 cm									
CON	5,37 \pm 0,15	20,19 \pm 9,16	35,61 \pm 3,03	9,36 \pm 6,03	90,68 \pm 15,8	23,47 \pm 3,49	123,5 \pm 25,2	159,1 \pm 23,5	76,3 \pm 5,04
SEM	5,03 \pm 0,23	8,19 \pm 1,20	46,86 \pm 6,64	2,16 \pm 0,72	58,50 \pm 9,69	23,58 \pm 1,21	84,2 \pm 10,8	131,1 \pm 4,8	63,9 \pm 5,96
AGR	5,57 \pm 0,03	11,89 \pm 1,86	35,22 \pm 2,9	2,97 \pm 1,58	73,50 \pm 10,82	22,71 \pm 2,48	99,2 \pm 13,4	134,4 \pm 10,9	73,1 \pm 4,38
CML	5,17 \pm 0,15	18,20 \pm 5,89	49,65 \pm 6,20	2,60 \pm 1,12	78,61 \pm 7,31	19,68 \pm 1,20	100,9 \pm 9,62	150,6 \pm 4,26	66,8 \pm 4,67
DIV	5,20 \pm 0,15	11,84 \pm 2,87	46,38 \pm 6,95	6,06 \pm 1,84	81,54 \pm 7,87	22,49 \pm 0,43	110,1 \pm 9,81	156,5 \pm 9,09	70,3 \pm 4,52
REF	5,71 \pm 0,12	17,57 \pm 1,64	32,17 \pm 2,76	2,50 \pm 0,86	153,94 \pm 15,8	27,69 \pm 1,31	184,1 \pm 17,8	216,3 \pm 15,2	84,8 \pm 2,47
10-20 cm									
CON	5,27 \pm 0,12	7,87 \pm 2,77	38,63 \pm 2,55	5,38 \pm 2,90	78,62 \pm 10,1	16,87 \pm 1,67	100,9 \pm 14,3	139,5 \pm 16,7	71,9 \pm 1,67
SEM	5,01 \pm 0,06	5,44 \pm 0,89	45,44 \pm 1,81	0,96 \pm 0,48	55,94 \pm 0,63	15,57 \pm 0,38	72,5 \pm 1,27	117,9 \pm 2,66	61,5 \pm 0,81
AGR	5,25 \pm 0,03	8,57 \pm 1,17	40,19 \pm 1,61	1,73 \pm 1,36	68,01 \pm 15,9	20,22 \pm 2,13	90,0 \pm 17,6	130,2 \pm 16,9	68,0 \pm 4,59
CML	4,95 \pm 0,07	12,42 \pm 5,24	54,64 \pm 3,11	1,58 \pm 1,25	65,09 \pm 5,89	14,71 \pm 0,94	81,4 \pm 7,86	136,0 \pm 4,82	59,6 \pm 3,56
DIV	4,91 \pm 0,16	9,97 \pm 3,89	52,46 \pm 4,67	5,28 \pm 2,15	67,64 \pm 7,82	16,33 \pm 1,28	89,3 \pm 10,1	141,7 \pm 9,44	62,7 \pm 4,21
REF	5,43 \pm 0,23	13,04 \pm 0,88	40,22 \pm 7,15	2,22 \pm 0,62	127,98 \pm 11,9	27,79 \pm 1,40	158,0 \pm 13,8	198,2 \pm 7,92	79,4 \pm 4,36
20-40 cm									
CON	5,30 \pm 0,00	7,13 \pm 1,79	37,68 \pm 0,82	3,37 \pm 1,60	73,50 \pm 12,6	14,82 \pm 2,00	91,7 \pm 15,2	129,4 \pm 15,9	70,2 \pm 2,84
SEM	4,97 \pm 0,09	5,11 \pm 0,78	45,53 \pm 4,64	0,59 \pm 0,27	54,12 \pm 2,92	13,95 \pm 1,87	68,7 \pm 1,82	114,2 \pm 4,50	60,3 \pm 2,70
AGR	5,20 \pm 0,06	7,97 \pm 1,77	38,75 \pm 0,54	1,39 \pm 1,20	55,21 \pm 8,65	15,79 \pm 1,03	72,4 \pm 9,42	111,1 \pm 8,93	64,6 \pm 3,24
CML	5,05 \pm 0,04	8,17 \pm 1,34	46,72 \pm 4,13	1,42 \pm 1,05	67,28 \pm 1,32	12,87 \pm 0,29	81,6 \pm 1,85	128,3 \pm 2,50	63,7 \pm 2,59
DIV	4,93 \pm 0,09	6,32 \pm 1,47	48,88 \pm 4,26	2,60 \pm 1,17	63,99 \pm 10,4	13,84 \pm 2,06	80,4 \pm 11,9	129,3 \pm 15,3	61,8 \pm 2,48
REF	5,37 \pm 0,12	12,51 \pm 0,65	42,77 \pm 2,87	1,70 \pm 0,68	117,01 \pm 12,3	24,34 \pm 2,72	143 \pm 15,74	185,8 \pm 13,1	76,5 \pm 3,30

A metodologia descrita por van Raij et al. (2001) foi utilizada para a extração de P_{resina} e determinação de elementos trocáveis.

Tabela 3. Caracterização da fertilidade do solo (média \pm erro padrão) dos sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no ano de 2013, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP (N=3).

Sítio 2	pH	P _{resina}	HAI	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g.cm ⁻³			cmol _c .dm ⁻³				%
0-5 cm									
CON	5,03 \pm 0,04	14,38 \pm 1,97	20,41 \pm 1,44	2,69 \pm 0,19	27,06 \pm 2,40	9,95 \pm 0,84	39,7 \pm 3,13	60,1 \pm 4,54	66,0 \pm 0,44
SEM	4,33 \pm 0,03	10,52 \pm 0,19	31,98 \pm 2,27	1,58 \pm 0,30	24,86 \pm 2,04	8,98 \pm 0,71	35,4 \pm 1,36	67,4 \pm 1,27	52,6 \pm 2,61
AGR	4,10 \pm 0,12	12,34 \pm 4,88	40,28 \pm 0,79	1,11 \pm 0,05	20,11 \pm 0,36	5,30 \pm 0,92	26,5 \pm 0,90	66,8 \pm 1,28	39,7 \pm 0,87
CML	4,21 \pm 0,05	10,40 \pm 0,97	45,26 \pm 12,0	1,42 \pm 0,20	23,03 \pm 3,35	5,84 \pm 0,97	30,3 \pm 3,67	75,6 \pm 8,46	42,0 \pm 8,56
DIV	5,15 \pm 0,30	11,85 \pm 1,45	22,27 \pm 0,62	2,12 \pm 0,27	42,17 \pm 10,38	9,18 \pm 1,24	53,5 \pm 11,6	75,7 \pm 12,2	69,4 \pm 3,60
REF	5,26 \pm 0,52	18,97 \pm 3,37	29,82 \pm 13,5	2,38 \pm 0,53	69,00 \pm 30,32	8,55 \pm 1,15	79,9 \pm 31,7	109,8 \pm 24,0	69,2 \pm 15,1
5-10 cm									
CON	4,57 \pm 0,03	8,27 \pm 1,83	23,18 \pm 2,25	1,70 \pm 0,08	16,46 \pm 3,35	5,51 \pm 0,67	23,7 \pm 4,04	46,9 \pm 6,04	50,1 \pm 2,61
SEM	4,20 \pm 0,06	6,23 \pm 1,24	30,61 \pm 3,01	0,86 \pm 0,28	16,09 \pm 3,87	5,41 \pm 0,60	22,4 \pm 4,61	53,0 \pm 2,39	41,7 \pm 7,51
AGR	4,10 \pm 0,06	9,63 \pm 4,44	36,86 \pm 2,03	0,56 \pm 0,05	16,09 \pm 0,73	3,24 \pm 0,19	19,9 \pm 0,74	56,8 \pm 1,96	35,1 \pm 1,65
CML	3,96 \pm 0,04	7,43 \pm 0,55	42,14 \pm 8,24	0,34 \pm 0,15	6,58 \pm 2,53	1,51 \pm 0,11	8,4 \pm 2,41	50,6 \pm 6,36	17,9 \pm 5,95
DIV	5,13 \pm 0,64	6,90 \pm 0,94	18,71 \pm 3,22	1,22 \pm 0,32	19,98 \pm 5,26	6,12 \pm 0,96	27,3 \pm 6,34	46,0 \pm 3,94	58,1 \pm 9,05
REF	5,15 \pm 0,73	11,94 \pm 2,59	24,39 \pm 9,86	1,72 \pm 0,58	58,38 \pm 34,62	5,94 \pm 1,59	66,0 \pm 36,71	90,4 \pm 29,0	63,1 \pm 19,7
10-20 cm									
CON	4,35 \pm 0,13	5,52 \pm 1,46	24,87 \pm 3,39	0,74 \pm 0,11	14,26 \pm 2,28	3,46 \pm 0,47	18,5 \pm 2,68	43,3 \pm 4,95	42,7 \pm 3,75
SEM	4,27 \pm 0,07	6,03 \pm 0,63	27,82 \pm 4,54	0,56 \pm 0,09	14,62 \pm 0,97	4,98 \pm 0,11	20,2 \pm 1,14	48,0 \pm 4,02	42,7 \pm 4,96
AGR	4,05 \pm 0,13	7,15 \pm 2,32	33,06 \pm 3,75	0,53 \pm 0,13	12,07 \pm 2,28	2,71 \pm 0,84	15,3 \pm 3,20	48,4 \pm 3,59	31,6 \pm 6,50
CML	4,08 \pm 0,07	5,38 \pm 0,41	31,61 \pm 7,45	0,44 \pm 0,25	9,87 \pm 0,63	2,81 \pm 0,43	13,1 \pm 0,80	44,7 \pm 6,71	31,0 \pm 5,51
DIV	4,66 \pm 0,27	5,14 \pm 0,61	19,31 \pm 0,96	0,87 \pm 0,34	14,76 \pm 1,90	4,97 \pm 0,30	20,6 \pm 1,96	39,9 \pm 1,94	51,4 \pm 3,11
REF	4,90 \pm 0,53	7,95 \pm 2,48	23,99 \pm 7,67	1,46 \pm 0,45	23,63 \pm 7,50	4,15 \pm 1,27	29,2 \pm 9,19	53,2 \pm 2,08	54,0 \pm 16,1
20-40 cm									
CON	4,30 \pm 0,17	4,58 \pm 2,00	29,30 \pm 3,90	0,37 \pm 0,18	16,45 \pm 3,95	3,14 \pm 1,38	20,0 \pm 5,51	49,3 \pm 1,74	39,9 \pm 9,57
SEM	4,23 \pm 0,14	4,72 \pm 0,34	28,30 \pm 4,36	0,37 \pm 0,18	10,97 \pm 4,57	4,11 \pm 0,96	15,5 \pm 5,30	43,8 \pm 8,10	34,2 \pm 7,43
AGR	4,13 \pm 0,13	3,93 \pm 0,49	37,44 \pm 8,67	0,53 \pm 0,22	13,90 \pm 2,93	4,76 \pm 1,22	19,2 \pm 3,12	56,6 \pm 7,20	35,3 \pm 7,20
CML	4,10 \pm 0,06	4,19 \pm 0,17	34,74 \pm 6,63	0,34 \pm 0,08	11,33 \pm 2,64	4,00 \pm 1,33	15,7 \pm 3,95	50,4 \pm 3,71	31,9 \pm 8,84
DIV	4,45 \pm 0,23	2,99 \pm 0,38	22,62 \pm 4,29	0,41 \pm 0,22	11,78 \pm 1,27	4,57 \pm 0,80	16,8 \pm 1,93	39,4 \pm 5,17	43,4 \pm 4,78
REF	4,19 \pm 0,13	6,87 \pm 1,43	24,03 \pm 5,75	0,79 \pm 0,21	7,36 \pm 2,98	2,28 \pm 0,49	10,4 \pm 3,59	34,5 \pm 3,01	31,5 \pm 11,5

A metodologia descrita por van Raij et al. (2001) foi utilizada para a extração de P_{resina} e determinação de elementos trocáveis.

2.2. Delineamento experimental dos sistemas de restauração

Em cada sítio foi instalado um experimento em delineamento blocos ao acaso, com cinco tratamentos (sistemas de restauração) e três repetições. As parcelas de cada sistema possuem dimensões originais de 50 x 50 m (0,25 ha), área total de 3,75 ha por sítio (Figura 3 a, b). Desprezamos 10 metros de bordadura de cada parcela, perfazendo uma parcela de 30 x 30 m, área útil de 900 m². Próximo a cada sítio experimental foi avaliado um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual utilizado como referência (Figura 2). A mesma área útil foi delimitada nas parcelas das florestas de referência. Nos sistemas agroflorestal e comercial (descritos a seguir), em função de outra pesquisa que foi desenvolvida na mesma época, com sistema manipulativo do dossel (PODADERA et al., 2015), a área útil da parcela foi de 200 m², referente à duas sub-parcelas de 10 x 10 m.

Os sistemas de restauração avaliados foram:

Controle (CON) - As parcelas experimentais desse sistema receberam o mesmo preparo de solo das demais e foram abandonadas desde então, encontrando-se em processo de sucessão natural (restauração passiva). No Sítio 1 há predomínio de capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) e no Sítio 2 de capim braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.).

Sistema semeadura direta (SEM) - Foi feita semeadura manual direta em linhas, à plena luz, em espaçamento de 1,0 x 1,0 m. Foram utilizadas cinco espécies heliófilas de rápido crescimento (Tabela 4). Foram usadas de 2 a 4 sementes por cova, esperando-se uma densidade aproximada de 4.000 plantas/ha, considerando-se todas as perdas. Em avaliação realizada dois anos após a semeadura, constatou-se a sobrevivência e predominância de duas espécies: *Enterolobium contortisiliquum* (tamboril) e *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) (ENGEL; PARROTA, 2001).

Sistema agroflorestal (AGR) - Realizou-se o plantio de mudas em linhas triplas intercaladas com faixas de 5 m. Nas faixas, até o fechamento do dossel, foram cultivadas culturais anuais, como feijão, milho, abóbora e mandioca. O espaçamento entre as plantas nas linhas triplas é de 1,5 m e entre linhas de 2,5 m. Nessas, as duas linhas externas são formadas por 10 espécies de leguminosas de uso múltiplo e/ou espécies de rápido crescimento para lenha. Na linha central foram plantadas 10 espécies de valor comercial para madeira, de crescimento mais lento (Tabela 4). Após o fechamento do

dossel, entre 2005-2006, foi feito consórcio com espécies frutíferas no Sítio 1 e espécies medicinais no Sítio 2, aproveitando-se os espaços antes destinados às culturas anuais.

Sistema de consórcio para madeira e lenha ou sistema comercial (CML) - Semelhante ao sistema agroflorestal, mas sem as faixas de cultura agrícola, espécies frutíferas e espécies medicinais. Nas parcelas desse sistema foram plantadas 10 espécies de crescimento rápido, para lenha, em linhas alternadas com 11 espécies de crescimento mais lento e ciclo de vida mais longo para produção de madeira para serraria e painéis (Tabela 4). Metade de cada parcela possui espaçamento 2 x 1,5 m e a outra metade 2 x 3 m. Estudos prévios indicaram que não existe diferença no desenvolvimento da florestas entre os espaçamentos (ENGEL, 2015)¹.

Sistema diversificado (DIV) - Esse sistema consiste do método convencional de plantio por mudas, sendo utilizadas 40 espécies características de remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual da região, as quais foram incluídas em diferentes grupos ecológicos/silviculturais (Tabela 4). Da mesma forma como o sistema anterior, as parcelas foram divididas para testar os efeitos de dois diferentes espaçamentos 1,5 x 1,5 m e 2 x 3 m. Estudos prévios não indicaram diferenças entre os espaçamentos (ENGEL, 2015)¹.

Próximo a cada sítio foi selecionado um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, que foi utilizado como referência (REF) (Figura 1). Em cada fragmento foram demarcadas três parcelas permanentes de 50 x 50 m. O fragmento referência do Sítio 1 localiza-se a aproximadamente 1 km de distância do experimento, e se encontra em estágio intermediário de sucessão natural (Figura 1). Optamos em selecionar esse fragmento, mesmo um pouco mais distante do experimento, ao invés do fragmento vizinho, devido à ausência de afloramentos de rocha. As rochas verificadas no fragmento vizinho impossibilitariam a amostragem da fauna do solo. O fragmento referência do Sítio 2 localiza-se a menos de 50 metros do experimento (Figura 1) e, dentre os fragmentos da região, é o que se apresenta em melhor estado de conservação, embora tenha sofrido exploração seletiva de madeira entre os anos de 1974 e 1980.

De acordo Engel (2015)¹, antes da implantação do experimento, no Sítio 1, devido à grande infestação de capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.), com cerca de 2 m de altura, realizou-se rebaixamento da vegetação com rolo-faca. Em seguida,

¹ ENGEL, V. L. (Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP). Comunicação pessoal, 2015.

aplicou-se herbicida pós-emergente em toda a área, após a rebrota do capim. No Sítio 2, removeu-se as árvores de *Citrus* e aplicou-se herbicida pós-emergente, após a rebrota das touças de capim. Os dois sítios foram cercados e aceirados contra fogo.

Os sulcos de plantio para semeadura direta, com cerca de 40 cm de profundidade, foram marcados em nível e abertos com subsolador acoplado a um trator de pneu, adotando-se a prática do cultivo mínimo. No restante dos sistemas, realizou-se aração, gradagem leve (duas para o Sítio 1) e gradagem niveladora. Após o preparo do solo, abriram-se as covas manualmente.

A semeadura direta foi realizada em fevereiro e março de 1997 e o plantio das mudas de janeiro a março de 1998. Não foi realizada adubação. O replantio das falhas foi efetuado após 2 meses do plantio inicial. A manutenção foi realizada nos dois primeiros anos com coroamento das mudas (capina manual seletiva no caso do sistema “Semeadura Direta”), capinas manuais com aplicação de herbicida *glyphosate* por meio de bomba costal e combate às formigas com iscas formicidas diretamente nos olheiros.

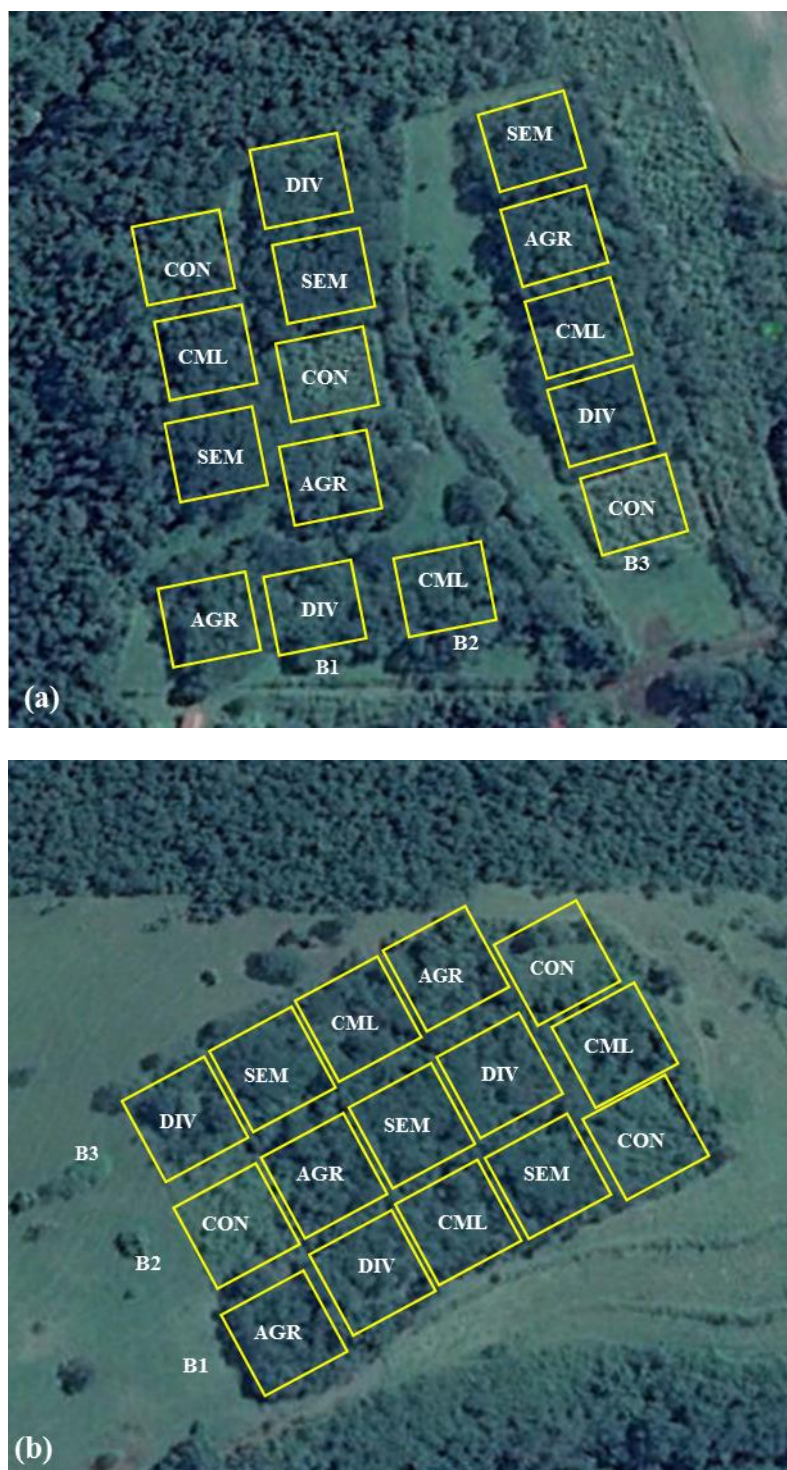


Figura 3. Disposição dos sistemas e dos blocos no Sítio 1: Fazenda Lageado (a) e no Sítio 2: Fazenda Edgardia (b), Botucatu, SP. Legenda: B1: bloco 1; B2: bloco 2; B3: bloco 3; CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado). Fonte: Google Earth (acesso em: 10-05-2014).

Tabela 4. Lista das espécies, famílias e nomes populares das plantas utilizadas para compor os sistemas de semeadura direta (SEM), agroflorestal (AGR), comercial (CML) e diversificado (DIV), no Sítio 1 (Fazenda Lageado) e Sítio 2 (Fazenda Edgardia), Botucatu, SP.

Família	Espécie	Nome popular	SEM	AGR	CML	DIV
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira				X
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	peroba-rosa		X	X	X
	<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Müll.Arg.	guatambu		X	X	X
	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba poca		X		
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	jerivá				X
	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	juçara		X	X	X
Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo		X	X	X
	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	ipê roxo			X	
Bixaceae	* <i>Bixa orellana</i> L.	urucum		X		
Boraginaceae	<i>Cordia superba</i> Cham.	baba-de-boi				X
Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba				X
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixinguí	X			X
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula		X	X	
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba		X	X	X
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá		X	X	X
	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel	jacaranda bico de pato			X	X
	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo		X	X	X
	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	bracatinga	X	X	X	
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	sansão-do-campo		X	X	
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau- jacaré		X	X	X
	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo		X	X	
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	X	X	X	X
	* <i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro		X	X	X
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-vermelho			X	X
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	guapuruvu	X			X
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	cumbarú				X

Continua

Família	Espécie	Nome popular	SEMD	AGR	CML	DIV
Fabaceae	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	olho-de-cabra				X
	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	coração-de-negro				X
	* <i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	araribá-amarelo				X
	* <i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	jacaranda-do-campo			X	
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	jacaranda-da-Bahia			X	
	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	cabreúva			X	
	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	ingá		X		
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira		X		X
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	jequitibá-branco				X
	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	jequitibá-vermelho			X	
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	paineira	X			X
	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc	açoita-cavalo				X
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro		X	X	X
	* <i>Cedrela odorata</i> L.	cedro-rosa		X	X	X
Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	figueira-branca				X
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	uvaia				X
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga				X
Phytolacaceae	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	pau-d'alho				X
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	jenipapo				X
Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	pau-marfim			X	X
	<i>Esenbeckia febrifuga</i> (A.St.-Hil.) A. Juss. ex Mart.	chupa-ferro				X
	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	guarantã		X	X	X
Sapindaceae	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	maria-preta				X
	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	grão-de-galo				X
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutamba		X	X	X
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola				X

* Plantadas em 2000.

Na Figura 4 são apresentadas imagens com aspectos gerais dos sistemas florestais no Sítio 1, localizado na Fazenda Lageado.

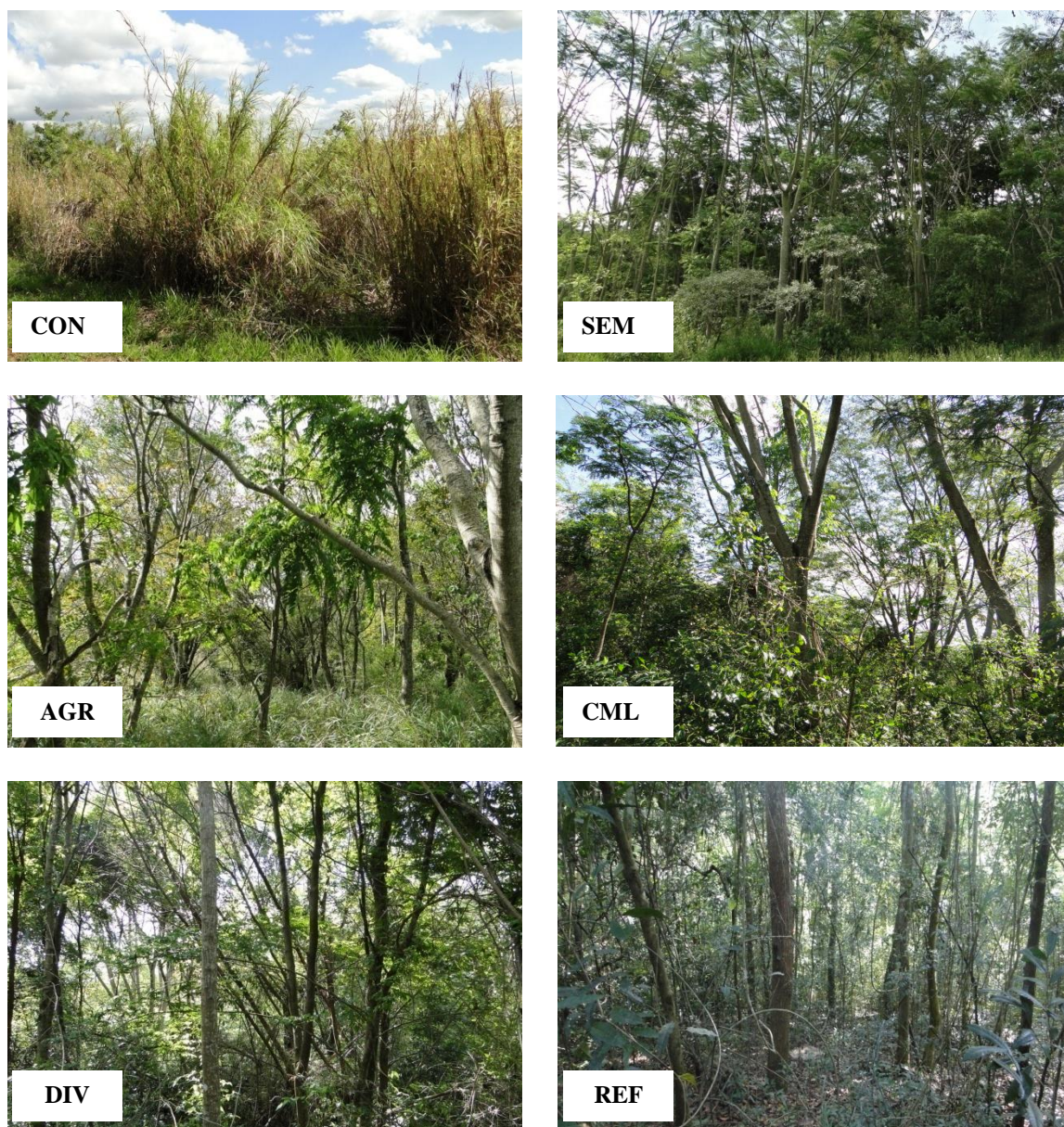


Figura 4. Aspecto geral dos sistemas de restauração implantados, sistema controle e floresta de referência, no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho), Fazenda Lageado, Botucatu SP. Legenda: CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: fragmento de referência.

2.3. Caracterização da vegetação

A comunidade vegetal arbórea não foi avaliada no sistema controle (CON) do Sítio 1, devido à predominância de capim napier, com grande altura em praticamente todas as parcelas (Figura 4). Em todas as outras parcelas, em março e abril de 2012, foram contabilizados e identificados todos os indivíduos (plantados e regenerantes) com altura igual ou superior a 1,30 m, sendo também aferido o diâmetro à altura do peito (DAP) e estimada a altura total.

A identificação dos indivíduos foi realizada em campo ou, posteriormente, com coletas de material botânico e auxílio de literatura especializada ou, ainda, mediante consulta a especialistas e comparação com material de outros herbários (Apêndice 1). Os nomes das espécies foram conferidos na Lista de Espécies da Flora do Brasil (FORZZA et al., 2013). No levantamento de todos os indivíduos plantados e regenerantes, com altura igual ou acima a 1,30 metros, foram medidos e identificados 7.845 indivíduos.

Classificamos as espécies em grupos funcionais de deciduidade (brevidécidas, decíduas e sempre-verdes) e de capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (fixadora ou não fixadora de nitrogênio) (Apêndice 1). A classificação da deciduidade seguiu primeiramente os estudos de Homem (2012), que avaliou os padrões fenológicos de espécies florestais nas mesmas áreas deste estudo. Posteriormente, consultamos os trabalhos de Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010), Cassola (2008), Prado-Júnior et al. (2014), Durigan (2015)² e Engel (2015)³. Nas análises apresentadas nos capítulos subsequentes, utilizamos a porcentagem conjunta dos indivíduos decíduos e brevidécidos. A classificação da capacidade das espécies se associarem com bactérias fixadoras de nitrogênio foi realizada por consultas à base de dados virtual GRIN (USDA, 2011), que possui registros de estudos científicos publicados sobre nodulação, e mediante a consulta dos trabalhos de Faria et al. (2011) e Canosa et al. (2013).

Em função da grande diferença de abundância entre as parcelas, a riqueza observada foi rarefeita com base na equação da série log normal (FISHER et al., 1943), denotada pela expressão:

² DURIGAN, G. (Instituto Florestal de Assis, SP). Comunicação pessoal, 2015.

³ ENGEL, V. L. (Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP). Comunicação pessoal, 2015.

$$S = \alpha \times \ln\left(1 + \left(\frac{N}{\alpha}\right)\right) \quad \text{Equação (1)}$$

em que: S= riqueza rarefeita para uma amostra de 100 indivíduos; α = índice de diversidade de Fisher (estimado por interações, com o uso do programa PAST (HAMMER et al., 2001); N= número de indivíduos amostrados, fixado para 100).

Para cada parcela, após identificação, calculamos os parâmetros de densidade (ind.m²), área basal (m².ha⁻¹), riqueza rarefeita (número de espécies), porcentagem de indivíduos de espécies decíduas (% de indivíduos decíduos + brevidecíduos) e porcentagem de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio (%) (Apêndices 2, 3 e 4).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.

BALL, B. A.; BRADFORD, M. A.; COLEMAN, D. C.; HUNTER, M. D. Linkages between below and aboveground communities: decomposer responses to simulated tree species loss are largely additive. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1155-1163, 2009.

BELLOTTO, A.; VIANI, R. A. G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Inserção de outras formas de vida no processo de restauração.** In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEM, I. (Orgs.) Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, p.55-61, 2009.

BARDGETT, R. D.; WARDLE, D. A. **Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes and Global Change.** Oxford University Press, New York, USA, 2010. 301p.

CADOTTE, M. W. The new diversity: management gains through insights into the functional diversity of communities. *Journal of Applied Ecology*, v.48, p.1067-1069, 2011.

CALLAHAM JR., M. A.; RHOADES, C. C.; HENEGHAN, L. A striking profile: soil ecological knowledge in restoration magement and science. *Restoration Ecology*, v.16, p.604-607, 2008.

CANOSA, G. A.; FARIA, S. M.; MORAES, L. F. D. **Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico.** EMBRAPA – CNPAB, (Comunicado Técnico 144). 2012, 12 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo : Embrapa Florestas, 2003, 1039p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica; Colombo : Embrapa Florestas, 2006, 627p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica; Colombo : Embrapa Florestas, 2008, 593p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica; Colombo : Embrapa Florestas, 2010, 644 p.

CASSOLA, H. **Aspectos da estrutura fitossociológica e silvigenética em fragmentos de floresta estacional semidecídua com diferentes histórias de perturbação em Botucatu, SP.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008, 85p.

CELENTANO, D.; ZAHAWI, R. A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R. C.; HOLL, K. D. Litterfall dynamics under different tropical Forest restoration strategies in Costa Rica. **Biotropica**, v.43, p.279-287, 2011.

CUNHA NETO, F. V.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1407-1417, 2012.

DAVIS, C. A.; UTROP, J. S. Response of terrestrial invertebrates to high-and-low-diversity grassland restorations in south-central Nebraska. **Restoration Ecology**, v.18, p.479-488, 2010.

DELAPLANTE, K; PICASSO, V. The Biodiversity–Ecosystem Function debate in Ecology. In: deLaplante, K; Peacock, K.A.. (Eds) Handbook of the Philosophy of Science. Volume 11: **Philosophy of Ecology**. Elsevier/BV, p.169-200, 2011.

DURIGAN, G.; ENGEL, V. L.; MELO, A. C. G.; TOREZAN, J. M.; MARTINS, S. V.; REIS, A.; SCARANO, F. R. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas? **Revista Árvore**, v.34, p.471-485, 2010.

DURIGAN, G; ENGEL, V. L. **Restauração de Ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir?** In: Martins, S.V. (Ed). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa: Editora da UFV, 2012, p.41-68.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. . An evaluation of direct seeding for restoration of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.152, p.169-181, 2001.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L.; Gandara, F.B. (Ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2008. cap. 1, p.3-26.

ENGEL, V. L. Abordagem “BEF”: um novo paradigma na restauração de ecossistemas? **In: IV Simpósio de Restauração Ecológica, São Paulo. Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica**. São Paulo : Instituto de Botânica-SMA,. v.1. p.155-165, 2011.

EVINER, V. T.; HAWKES, C. V. Embracing variability in the application of plant–soil interactions to the restoration of communities and ecosystems. **Restoration Ecology**, v.16, p.713-729, 2008.

FARIA, S. M.; MORAES, L. F. D.; LIMA, H. C.; RIBEIRO, R. D.; MATTOS, C. M. J.; RODRIGUES, T. M.; CASTILHO, A. F.; CANOSA, G. A.; SILVA, M. A. **Composição florística de leguminosas com potencial para fixação biológica de nitrogênio em áreas de vegetação de Canga (savana metalófito) do entorno do complexo minerador de Carajás**. EMBRAPA – CNPAB, (Comunicado Técnico 140), 2011. 20 p.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S.; CRUZ, A. R.; GIÁCOMO, R. G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária,

plântio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, v.16, p.163-175, 2006.

FISHER, R. A., CORBET, A. S., AND WILLIAMS, C. B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. **Journal of Animal Ecology**, v.12, p.42-58, 1943.

FORZZA, R. C. et al. **Lista de Espécies da Flora do Brasil 2012**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012>> Acesso em 03 jan. 2014.

FREITAS, S. R.; NEVES, C. L.; CHERNICHARO, P. Tijuca National Park: two pioneering restorationist initiatives in Atlantic forest in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, vol.66, n.4, 2006.

GAMFELDT, L.; SNÄLL, T.; BAGCHI, R.; JONSSON, M.; GUSTAFSSON, L.; KJELLANDER, P.; RUIZ-JAEN, M. C.; FRÖBERG, M.; STENDAHL, J.; PHILIPSON, C.D. MIKUSIŃSKI, G.; ANDERSSON, E.; WESTERLUND, B.; ANDRÉN, H.; MOBERG, F.; MOEN, J.; BENGTSSON, J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. **Nature Communications**, v.4, p.1340, 2013.

GARTNER, T. B.; CARDON, Z. G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. **Oikos**, v.104, p.230-246, 2004.

HAMMER, O., HARPER, D.A.T., RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v.4, n.1, 2001.

HENEGHAN, L.; MILLER, S. P.; BAER, S.; CALLAHAM JR., M. A; MONTGOMERY, J.; PAVAO-ZUCKERMAN, M.; RHOADES, C. C.; RICHARDSON, S. Integrating soil ecological knowledge into restoration management. **Restoration Ecology**, v.16, n.4, p.608-617, 2008.

HOMEM, M. N. G. **Padrões fenológicos em ecossistemas em processo de restauração e em fragmento florestal vizinho**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2011, 113p.

HOOPER, D. U.; VITOUSEK, P. M. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. **Ecological Monographs**, v.68, p.121-149, 1998.

HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETALA, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, v.75, p.3-35, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE. n. 1, 2012, 271p.

JORGE, L. A. B.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu, SP. **Revista Árvore**, v.26, p.585-592, 2002.

KARDOL, P.; WARDLE, D. A. How understanding aboveground-belowground linkages can assist restoration ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, v.25, p.670-679, 2010.

LAMB, D.; ERSKINE, P.; PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, v.310, p.1628-1639, 2005.

LAMB, D. Forest Restoration. The Third Big Silvicultural Challenge. **Journal of Tropical Forest Science**, v.24, p.295-299, 2012.

LAOSSI, K. R.; BAROT, S.; CARVALHO, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.; MARTINS, M.; MITJA, D.; RENDEIRO, A. C.; ROUSSEAU, G.; SARRAZIN, M.; VELÁSQUEZ, E.; GRIMALDI, M. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. **Pedobiologia**, v.51, p.397-407, 2008.

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. **Nature**, v.412, p.72-76, 2001.

MACEDO M. O., RESENDE A. S., GARCÍA P. C., BODDEY R. M., JANTALIA C. P., URQUIAGA S., CAMPELLO E. F. C., FRANCO A. A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1516-1524, 2008.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; MENEZES, C. E. G. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em floresta estacionil Semidecidual na Bacia do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Ciência Florestal**, v.25, p.91-106, 2015.

MARTIUS, C.; HOFER, H.; GARCIA, M. V. B.; ROMBLE, J. HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.68, p.137-154, 2004.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Forestalis**, n. 73, p.101-111. 2007.

NAEEM, S; WRIGHT, J. Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. **Ecology Letters**, v.6, p.567-579, 2003.

NAEEM, S. **Biodiversity and ecosystem functioning in restored ecosystems: extracting principles for a synthetic perspective**. In: Falk, D. A.; Palmer, M. A.; Zedler, J.B. (Eds). *Foundations of Restoration Ecology*. Washington, Island Press, 2006, p.210-237.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de**

espécies de Mata Atlântica. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2000, 50 p.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; GONÇALVES, J. L. M. ; ENGEL, V. L. ; PARROTTA, J. A. Soil dynamics and carbon stocks 10 years after restoration of degraded land using Atlantic Forest tree species. **Forest Systems**, v.20, p.536-545, 2011.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MELO, A. C. G.; RÉ, D. S. Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic Forest stands. **Biota Neotropica**, v.14, p.1-9, 2014.

ORTEGA, V. R.; ENGEL, V. L. **Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP.** In: Congresso Nacional sobre essências nativas, 2, São Paulo. Anais.... Revista do Instituto Florestal, v.4, p.834-852, 1992.

PODADERA, D. S.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MACHADO, D. L. ; SATO, L. M. ; DURIGAN, G. Influence of Removal of a Non-native Tree Species *Mimosa caesalpinifolia* Benth. on the Regenerating Plant Communities in a Tropical Semideciduous Forest Under Restoration in Brazil. **Environmental Management**, v.56, p.1148-1158, 2015.

PRADO-JÚNIOR, J. A.; VALE, V. S.; LOPES, S. F.; ARANTES, C. S.; OLIVEIRA, A. P. SCHIAVINI, I. Impacts of disturbance intensity in functional traits patterns in understories of seasonal forests. **Bioscience Journal**, v.30, p.901-911, 2014.

PRESCOTT, C. E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? **Biogeochemistry**, v.101, p.133-149, 2010.

RE, D. S. ; ENGEL, V. L. ; OTA, L. M. S. ; JORGE, L. A. B. . Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. **CERNE**, v.21, p.133-140, 2015.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R.A.F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.42, p.1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G; ARONSON, J.; BARRETO, T. E.; VIDAL, C. Y; BRANCALION, P. H. S. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.26, p.1605-1613, 2011.

RUIZ-JAÉN, M. C.; AIDE, T. M. Restoration success: how is it being measured? **Restoration Ecology**, v.13, p.569-577, 2005.

SCHERER-LORENZEN, M.; BONILLA, J. L.; POTVIN, C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. **Oikos**, Lund, v.116, p.2108-2124, 2007.

SER “**Society for Ecological Restoration International Science e Policy Working Group**”. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org e Tucson: Society for Ecological Restoration International. 2004.

SIDDIQUE, I.; ENGEL, V. L. ; PARROTTA, J. A. ; LAMB, D.; NARDOTO, G. B.; OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; SCHMIDT, S. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings with seven years. **Biogeochemistry**, v.83, p.89-101, 2008.

USDA. ARS, National Genetic Resources Program. **Germplasm Resources Information Network** - (GRIN), 2011. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/~sbmljw/cgi-bin/taxnodul.pl>> Último acesso em: 11/2014.

VANBERGEN, A. J.; WATT, A. D.; MITCHEL, R; TRUSCOTT, A. M.; PALMER, S. C. F.; IVITS, E.; EGGLETON, P.; JONES, T. H.; SOUSA, J. P. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. **Oecologia**, v.153, p.713-725, 2007.

van RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agronômico, Campinas, 2001, 285p.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; BARKER, G. M.; BONNER, K. I. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.1052-1062, 2006.

WRIGHT, J.; SYMSTAD, A.; BULLOCK, J. M.; ENGELHARDT, K.; JACKSON, L.; BERNHARDT, E. **Restoring biodiversity and ecosystem function: will an integrad approach improvise results?** *In*: Biodiversity, ecosystem functioning and human wellbeing. Oxford University Press. Eds S. Naeem; D. E. Bunker; A. Hector; M. Loreau; C. Perrings, p.167-177, 2009.

ZUO, X.; ZHANG, J.; ZHOU, X.; ZHAO, X.; WANG, S.; LIAN, J. Lv, P.; KNOPS, J. Changes in carbon and nitrogen storage along a restoration gradient in a semiarid sandy grassland. **Acta Oecologia**, v.69, p.1-8, 2015.

CAPÍTULO I

“PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E TRANSFERÊNCIA DE NUTRIENTES EM SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL: EFEITOS DO SÍTIO E DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO”

1. INTRODUÇÃO

O efeito da biodiversidade no funcionamento dos ecossistemas, ou abordagem BEF (*Biodiversity and Ecosystem Function*) é um dos tópicos da Ecologia que tem despertado interesse crescente nas últimas duas décadas, principalmente pelos efeitos negativos que a perda da biodiversidade pode ter nas funções e nos serviços dos ecossistemas (HOOPER et al., 2012) e, conseqüentemente, no bem estar humano (CARDINALE et al., 2012). Existe o consenso, por exemplo, de que a perda de biodiversidade reduz a eficiência com que as comunidades produzem biomassa, decompõe e reciclam os nutrientes (CARDINALE et al., 2012), processos de grande importância para o funcionamento dos ecossistemas.

As relações entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema são dirigidas por dois principais mecanismos (LOREAU; HECTOR, 2001). O primeiro, chamado de “efeito de complementaridade”, surge da diferenciação de nicho ou facilitação entre espécies que coexistem com características divergentes, o que diminui a competição interespecífica e pode aumentar a produtividade e estoque de nutrientes com o aumento da diversidade. O segundo, chamado de “efeito de seleção”, trata do aumento na probabilidade de inclusão de espécies com características específicas, de forte efeito nos processos do ecossistema, em função do aumento da diversidade. Por meio de processos ecológicos, tais como a competição interespecífica, uma espécie com características particulares pode se tornar dominante (alta abundância relativa) e influenciar de forma desproporcional o funcionamento do ecossistema (LOREAU; HECTOR, 2001).

A ciclagem de nutrientes nos ecossistemas é um dos processos que afetam seu funcionamento. Nesse processo, a produção de serapilheira em florestas representa o principal meio de entrada de matéria orgânica e elementos minerais da vegetação para a superfície do solo (VITOUSEK; SANFORD, 1986). A produção e a conseqüente decomposição da serapilheira são considerados processos chave para os ciclos de carbono e nutrientes, e de grande influência na nutrição das plantas (SWIFT et al., 1979). A perda da biodiversidade pode ter efeitos mais graves no funcionamento de florestas tropicais, devido à alta riqueza de espécies vegetais que esses ecossistemas apresentam, e pelo fato dessas florestas, em sua maioria, se localizarem em solos de média e baixa fertilidade (VITOUSEK; SANFORD, 1986), sendo o componente biótico responsável por praticamente toda a dinâmica de ciclagem de nutrientes.

A produção de serapilheira e nutrientes em florestas dependem do clima, tipo de floresta, idade da floresta, composição de espécies e fertilidade do solo (VITOUSEK; SANFORD, 1986; FACELLI; PICKETT, 1991). Um estudo com diversas formações florestais tropicais indicou forte relação entre a produção de serapilheira e o incremento da biomassa (CLARK et al., 2001). Apesar de serem bem conhecidos os fatores que determinam a dinâmica da ciclagem de nutrientes em florestas maduras, bem como em plantios monoespecíficos, o conhecimento dos fatores que influem ou podem influir na dinâmica de serapilheira e nutrientes de plantios diversos visando a restauração florestal ainda é incipiente. A falta desse conhecimento é um reflexo, principalmente, da complexidade de interações que ocorrem nesses ambientes.

São poucos os estudos que relacionam a biodiversidade à produção de serapilheira em ecossistemas florestais. Entretanto, um estudo realizado com espécies arbóreas de florestas tropicais no Panamá, indicou existir o efeito de complementaridade entre as espécies em plantios de diversidade intermediária, onde ocorreu maior produção de serapilheira, enquanto nos sistemas com mais espécies ocorreu maior efeito de competição, sendo a produção intermediária; contudo, ambos os sistemas com maior número de espécies, produziram maior quantidade de serapilheira do que as monoculturas com as mesmas espécies (SCHERER-LORENZEN et al., 2007).

Embora saibamos que a biodiversidade pode ter efeitos sobre diversas funções e serviços do ecossistema, estudos recentes têm também destacado o papel maior da diversidade funcional, ou seja, da variabilidade de caracteres funcionais (TILMAN et al., 2001; LOHBECK et al., 2012). Estudos apontam que a diversidade funcional possui um efeito preditivo maior, por exemplo, na produção de biomassa acima do solo do que a diversidade taxonômica (ROSCHE et al., 2012). Além disso, espécies com características particulares, como as que possuem a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, em função do seu papel de complementaridade (LOREAU; HOOPER, 2001), possuem significativo efeito nos processos do ecossistema, como na produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes (FERNANDES et al., 2006; SANTANA et al., 2009) e na regeneração natural (CHADA et al., 2004; PODADERA et al., 2015).

Objetivamos, neste capítulo, compreender como sítios com distintas características de solo e plantios de restauração com diferentes características de composição e estrutura influem na produção de serapilheira e na transferência de nutrientes. Buscamos responder às seguintes questões:

1) Quais os efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração florestal na produção de serapilheira e na transferência de nutrientes via serapilheira?

2) Quais características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração florestal que melhor explicam a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes?

3) Após 16 anos de implantação do experimento, os sistemas de restauração florestal foram capazes de restaurar os processos de produção de serapilheira e de transferência de nutrientes, tendo como referência uma floresta conservada?

2. MATERIAL E MÉTODOS

Avaliamos a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes em todos os sistemas de restauração em ambos os sítios, conforme descrição na seção de Material e Métodos Geral. A produção de serapilheira e a transferência de nutrientes não foi avaliada no sistema controle (CON) do Sítio 1, devido à ausência de indivíduos arbóreos regenerantes nas parcelas.

2.1. Produção de serapilheira

Para interceptação do material formador da serapilheira, utilizamos coletores cônicos de 0,25 m², confeccionados com mangueiras de meia polegada em material de polietileno, com fundo de tecido *voil* (Figura 5).

Em cada parcela, com área útil de 900 m², foram instalados, aleatoriamente, quatro coletores. Nas parcelas com área útil de 200 m² foram instalados dois coletores. Os coletores foram fixados a 1,00 m acima da superfície do solo, com o auxílio de estacas para sua fixação, sendo a altura do fundo do coletor até a superfície do solo de aproximadamente 0,30 m (Figura 5).



Figura 5. Coletores cônicos para a coleta de serapilheira instalados no Sítio 2, Fazenda Edgardia, Botucatu, SP.

Realizamos coletas mensais durante 12 meses, com o início em maio de 2012 e o término em abril de 2013. Após cada coleta, as amostras foram secadas em estufa de circulação forçada (65 °C, até peso constante) e pesadas, a fim de quantificar, posteriormente, a produção de serapilheira. A produção mensal de serapilheira (PMS) foi

calculada a partir da média aritmética do peso obtido a partir dos coletores de cada parcela, sendo quatro coletores por parcela para os sistemas CON, SEM, DIV e REF; e dois para os sistemas AGR e CML. A produção anual de serapilheira (PAS) foi obtida pela soma da produção dos 12 meses em estudo. A PMS e a PAS foram estimadas conforme as expressões:

$$PMS = \left(\frac{DMS}{Ac} \right) * 10 \quad \text{Equação (2)}$$

$$PAS = \Sigma DMS \quad \text{Equação (3)}$$

em que: PMS= produção mensal de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$); PAS = produção anual de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$); DMS = deposição mensal de serapilheira (kg); Ac = Área do coletor (m^2); 10 é a constante de conversão de $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ para $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

2.2. Transferência de nutrientes via serapilheira

A concentração de macronutrientes da serapilheira foi determinada em quatro épocas: abril a junho, julho a setembro, outubro a dezembro e janeiro a março; que corresponde, respectivamente, as épocas: transição época chuvosa-seca, época seca, transição época seca-chuvosa e época chuvosa (CUNHA; MARTINS, 2009).

Após determinamos a produção mensal, o material correspondente a cada época foi unido, homogeneizado, moído e encaminhado para a análise da concentração de macronutrientes. A análise dos nutrientes foi realizada por digestão sulfúrica, sendo quantificadas as concentrações de N, P, K, Ca e Mg (TEDESCO et al., 1985). A partir dos valores das concentrações de nutrientes para os períodos de tempo ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) e dos valores da produção mensal de serapilheira ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), estimamos o conteúdo dos nutrientes aportados mensalmente ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$). Posteriormente, determinamos a produção anual de macronutrientes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

2.3. Análise de dados

As áreas estudadas fazem parte de um grupo de experimentos, em que o delineamento é o mesmo em dois sítios com distintas características edáficas. Portanto, antes de inserirmos o sítio como um fator no modelo estatístico da análise de variância, foi necessário, inicialmente, checar a existência de homogeneidade de variâncias entre os sítios (teste de Bartlett; $p < 0,05$), conforme critério proposto por Pimentel-Gomes e

Garcia (2002). Atendendo à premissa, prosseguimos com a análise; caso contrário, realizamos as transformações dos dados (log). Os modelos lineares foram compostos inicialmente por todos os fatores em estudo (sítio, sistema e mês) e suas interações, ou por todas as variáveis explicativas (características da comunidade vegetal), e pelas variáveis respostas (produção de serapilheira e nutrientes). Para cada modelo, testamos, primeiramente, as premissas da análise de variância (normalidade e homogeneidade da distribuição dos resíduos). A variável resposta foi transformada (log) quando o modelo não atendeu aos pressupostos da análise de variância. Comparações múltiplas de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey, e consideramos $p < 0,05$ como significativo.

Todos os procedimentos estatísticos, para cada questão em estudo, foram realizados utilizando o software R versão 3.2.1 (R Development Core Team, 2015), conforme apresentamos a seguir:

1) Quais os efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração florestal na produção de serapilheira e na transferência de nutrientes via serapilheira?

Realizamos análises de variância e testes múltiplos de médias. As variáveis produção mensal de serapilheira, produção total de serapilheira e transferência de nutrientes atenderam à premissa de homogeneidade de variância entre os sítios, e, portanto, os sítios foram avaliados em conjunto. Para avaliar os efeitos dos fatores bloco, sítio, sistema, mês e suas interações na produção mensal de serapilheira, realizamos análises de variância de medidas repetidas com a função de mínimos quadrados generalizados, conforme Zuur et al. (2009) (pacote nlme; função gls: generalized least squares). Realizamos a transformação da variável produção mensal para o modelo atender as premissas da análise de variância. Para a produção anual de serapilheira e nutrientes, os fatores testados foram bloco, sítio, sistema e interações; e as variáveis respostas: produção de serapilheira e os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg (pacote car; função lm). Todos os modelos atenderam às premissas da análise de variância. Na análise de variância, os fatores que não tiveram efeito significativo ($p \geq 0,05$) na variável resposta foram retirados do modelo, e, dessa forma, utilizamos o modelo mais parcimonioso. As comparações múltiplas de médias foram feitas utilizando o teste de Tukey.

2) Quais características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração florestal que melhor explicam a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes?

Realizamos análises de regressão múltipla. Em todos os modelos utilizamos como variáveis explicativas: riqueza rarefeita, área basal, densidade de indivíduos, proporção de indivíduos caducifólios e proporção de indivíduos fixadores de nitrogênio. As variáveis respostas foram: produção total de serapilheira e os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg. Realizamos duas análises: na primeira, com o objetivo de observar padrões gerais, analisamos os sítios em conjunto, uma vez que todos os modelos atenderam a homogeneidade de variância entre sítios. Na segunda, realizamos separadamente as análises para cada sítio, pois acreditamos que os sítios, por possuírem distintas características de fertilidade (Tabela 2 e 3), podem influir diferencialmente nas relações entre as características da vegetação e as produções de serapilheira e nutrientes. Na análise de variância (pacote car, função lm), o modelo inicialmente foi composto por todas as variáveis explicativas. Posteriormente, realizamos o procedimento seleção de variáveis (step wise selection, direction “backward”) para encontrar dentre as variáveis explicativas as que melhor explicassem a variável resposta. Após esse procedimento, incluímos no modelo as variáveis explicativas selecionadas e procedemos com a análise de variância. Todos os modelos atenderam às premissas da análise de variância.

3) Após 16 anos de implantação do experimento, os sistemas de restauração florestal foram capazes de restaurar os processos de produção de serapilheira e de transferência de nutrientes, tendo como referência uma floresta conservada?

Realizamos dois tipos de análises, sendo ambas realizadas separadamente para cada sítio. O primeiro tipo de análise foi realizado somente para o Sítio 2, com comparações entre os sistemas de restauração e o sistema controle, em que realizamos análises de variância e testes múltiplos de médias (teste de Tukey); já que os sistemas possuem o mesmo delineamento experimental. O segundo foi realizado para os dois sítios separadamente, com comparações de médias entre cada sistema de restauração e a floresta de referência (teste t de Student; $p < 0,05$). Realizamos essa forma de análise uma vez que a floresta não fazia parte do delineamento experimental. Para ambos os tipos de análises as variáveis respostas foram: produção total de serapilheira e produção total de N, P, K, Ca e Mg. Na primeira análise, os fatores analisados foram bloco e sistemas, em que todas as variáveis atenderam às premissas da análise de variância (pacote car; função lm). Na segunda, o fator analisado foi o sistema (restauração x floresta). Nós calculamos

também as taxas de respostas dos sistemas de restauração (restaurado) comparados com o sistema controle $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e a floresta de referência $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ para cada variável estudada (GUREVITCH; HEDGES, 2001). Optamos em apresentar no texto os valores médios da taxa de resposta, destacados quando apresentaram diferenças significativas pelos testes estatísticos.

3. RESULTADOS

3.1. Efeitos do sítio e de diferentes sistemas de restauração florestal na produção de serapilheira e transferência de nutrientes via serapilheira

A produção total de serapilheira quantificada, após um ano de avaliação, foi diferente entre os sítios ($F=21,45$; $p<0,001$) e entre os sistemas de restauração ($F=4,62$; $p=0,015$), ao passo que a interação desses fatores não teve efeito ($p\geq 0,05$).

O Sítio 1, localizado em Nitossolo Vermelho e caracterizado com maior fertilidade natural, produziu maior quantidade de serapilheira, com total médio de $10.121,23 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. No Sítio 2, um Argissolo Vermelho Amarelo de menor fertilidade, a produção foi de $7.776,50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (Figura 6 a).

Independentemente do sítio, a produção média anual entre os sistemas de restauração foi superior no sistema DIV $10.460,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e inferior nos sistemas SEM $8.095,92 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e AGR $8.157,50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. O sistema CML apresentou produção intermediária $9.021,90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, não diferindo dos outros sistemas avaliados (Figura 6 b).

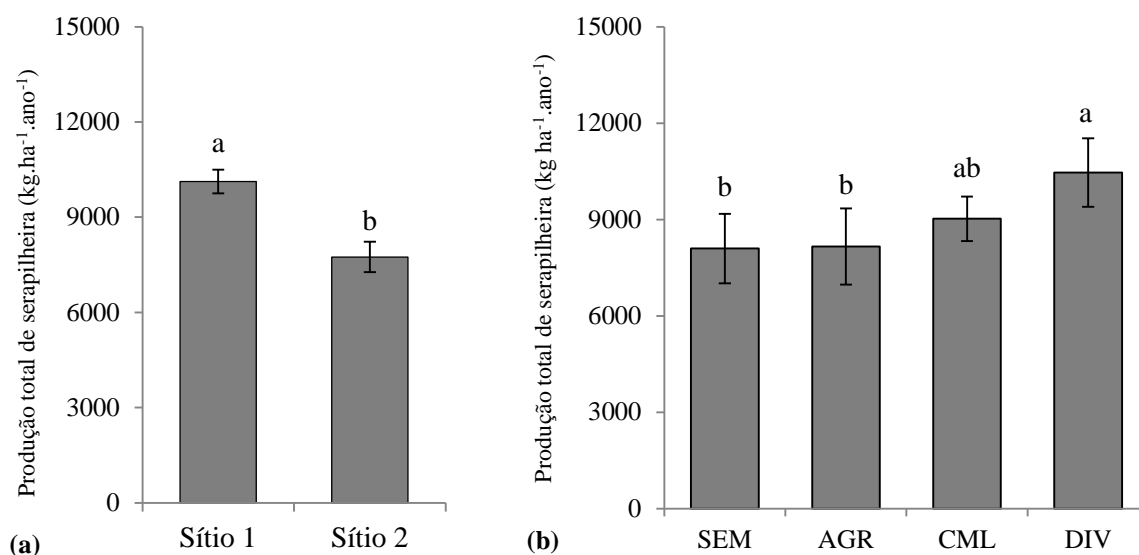


Figura 6. Produção total de serapilheira entre sítios (a) e entre sistemas (b) de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, São Paulo. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Barras indicam média \pm erro padrão. Barras com letras iguais, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A análise de variância de medidas repetidas para a produção mensal de serapilheira revelou efeitos significativos de sítio, sistema e mês, e das interações entre sítio x mês e sistema x mês (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância de medidas repetidas no tempo para os efeitos do sítio, sistema, mês e interações na produção mensal de serapilheira. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

Fonte de variação	GL	F	p-valor
Bloco	2	6,89	0,0013
Sítio	1	40,13	<0,0001
Sistema	3	20,06	0,0002
Mês	11	20,06	<0,0001
Sítio x sistema	---	---	---
Sítio x mês	11	3,42	0,0002
Sistema x mês	33	2,22	0,0004
Sítio x sistema x mês	---	---	---
Resíduos	226		

Verificamos um pico de produção no mês de setembro. Esse fato ocorreu nos dois sítios e nos sistemas AGR, CML e DIV (Figura 7 a, b). Em contraste, para o sistema de semeadura direta (SEM) o máximo da produção mensal ocorreu em julho (Figura 7 b).

As comparações mensais entre os sítios indicam dois períodos com distintas produções (Figura 7 a). De maio a setembro, a produção mensal foi maior no Sítio 1. Por outro lado, entre outubro e abril, a produção não diferiu entre os sítios (Figura 7 a).

Analisando os sistemas de restauração, verificamos diferenças nos meses de junho, setembro e dezembro (Figura 7 b). Em setembro, a produção foi maior em CML e DIV, intermediária em AGR e menor em SEM. No mês de dezembro, diferenças ocorreram somente entre SEM e DIV, com maior produção em DIV. Já em junho, verificamos que o sistema SEM produziu maior quantidade do que CML e DIV, e não diferiu do AGR (Figura 7 b).

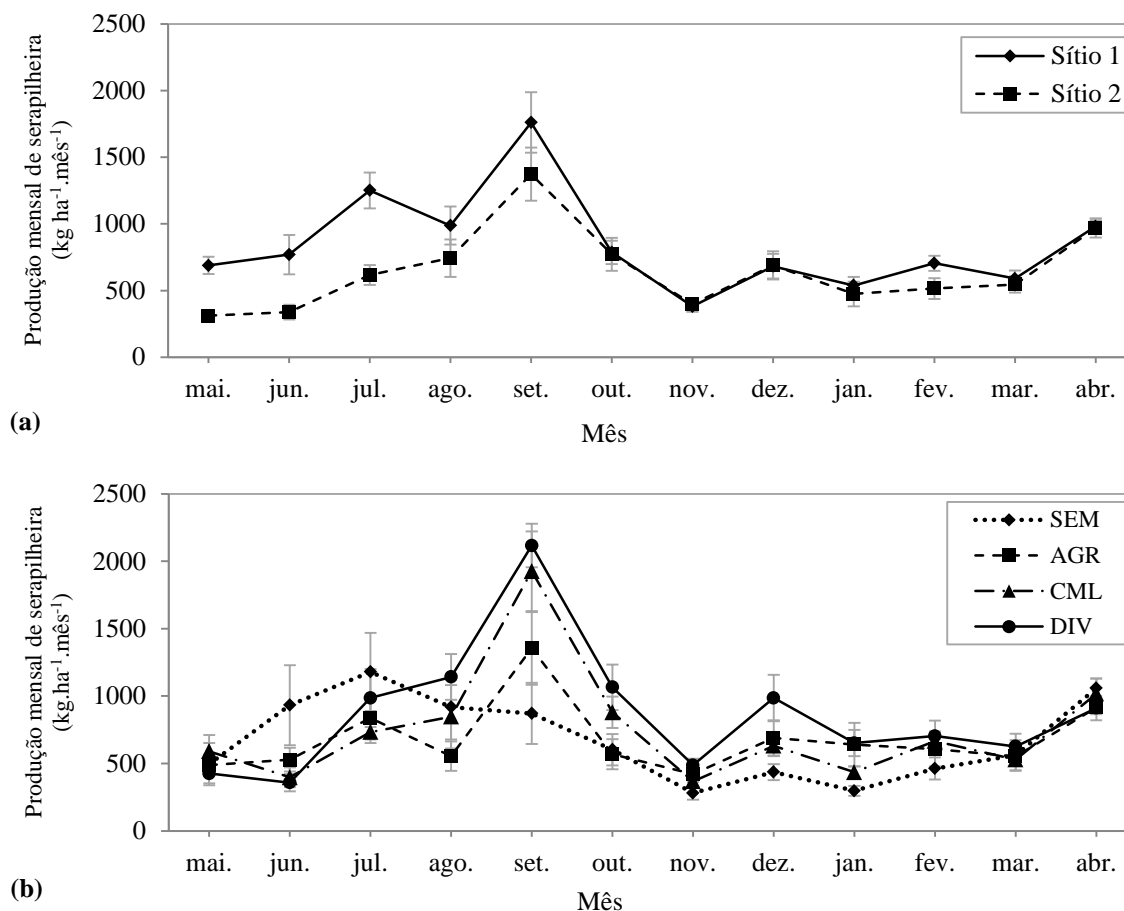


Figura 7. Produção mensal de serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios (a) e entre sistemas (b) de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, São Paulo. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: sementeira direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado.

Os resultados das comparações das transferências totais de macronutrientes revelaram efeitos do sítio para a maioria dos nutrientes analisados, exceto para Mg ($F=1,99$; $p=0,1756$) (Tabela 6). Já, para os sistemas de restauração, verificamos efeitos na transferência de todos os elementos ($p<0,05$) (Tabela 6).

A transferência anual de N, P, K e Ca foi superior no Sítio 1, (Tabela 6). Os conteúdos de Mg foram iguais entre os sítios. Ao compararmos os sistemas de restauração, verificamos que o DIV transferiu anualmente maior quantidade de Ca e Mg do que os demais sistemas. O sistema DIV também transferiu maior quantidade de P do que SEM e AGR, enquanto sua transferência não diferiu do CML. Diferindo do resultado de maior transferência no DIV, o sistema CML transferiu anualmente mais N do que o SEM, ao passo que sua transferência não diferiu dos sistemas AGR e DIV (Tabela 6).

Quando analisamos a ordem decrescente de transferência de nutrientes para cada sistema e sítio, verificamos diferentes resultados. (Tabela 6). Os sistemas SEM e DIV transferiram maior quantidade de Ca, sendo a ordem de transferência para esses sistemas de $Ca > N > K > Mg > P$. No Sítio 1 também constatamos maior transferência de Ca para todos os sistemas. Por outro lado, os sistemas AGR e CML transferiram maior quantidade de N, sendo a ordem decrescente de $N > Ca > K > Mg > P$. O mesmo ocorreu no Sítio 2 (Tabela 6). Destacamos, portanto, a significativa transferência de N pelos sistemas AGR e CML. Além disso, também destacamos os significantes teores de N da serapilheira dos sistemas AGR e CML (Apêndice 5).

Tabela 6. Transferência total de nutrientes via serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios e entre sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Valores com mesma letra na coluna, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

	N		P		K		Ca		Mg	
kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹										
Sítio										
Sítio 1	194 \pm 9,44	a	10,6 \pm 0,63	a	57,3 \pm 4,86	a	242 \pm 14,05	a	28,0 \pm 2,38	a
Sítio 2	131 \pm 8,06	b	7,92 \pm 0,67	b	35,5 \pm 3,83	b	106 \pm 10,14	b	24,7 \pm 1,95	a
F	38,58		25,09		24,82		124,09		1,99	
Sistema										
SEM	135 \pm 19,2	b	7,34 \pm 0,88	c	39,9 \pm 7,33	b	164 \pm 52,6	b	21,8 \pm 3,43	b
AGR	167 \pm 28,6	ab	8,36 \pm 1,57	bc	35,2 \pm 8,11	b	154 \pm 41,5	b	23,8 \pm 3,78	b
CML	186 \pm 27,3	a	9,61 \pm 1,41	ab	47,8 \pm 10,6	ab	157 \pm 39,5	b	25,1 \pm 1,49	b
DIV	163 \pm 21,4	ab	11,8 \pm 0,90	a	62,8 \pm 11,0	a	223 \pm 52,3	a	34,5 \pm 4,61	a
F	4,33		12,48		7,60		7,09		5,87	
Anova										
Bloco	0,2207		0,0256		0,1612		0,0798		0,1717	
Sítio	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		0,1756	
Sistema	0,0192		<0,001		0,0019		0,0027		0,0061	
Sítio x Sistema	---		---		---		---		---	

3.2. Efeitos das características da vegetação na produção de serapilheira e transferência de nutrientes via serapilheira

Nossos resultados da análise de regressão múltipla, realizada para testar os efeitos das características da vegetação na produção média anual de serapilheira e na transferência de nutrientes, indicaram efeitos positivos significativos da riqueza rarefeita, proporção de indivíduos de espécies decíduas e proporção de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio (Tabela 7). Dos atributos da vegetação estudados, a riqueza foi o único que exerceu efeito sobre todas as variáveis estudadas. A deciduidade afetou a transferência dos nutrientes N e Mg, e a proporção de fixadoras afetou a produção de serapilheira (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de regressão múltipla dos efeitos das características da vegetação na produção total média de serapilheira ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) e na transferência de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

		Intercepto	Riqueza rarefeita	Área basal	Densidade	Decíduas	Fixadoras	r^2
			(n° sp.)	($\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{ind}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(% ind.)	(% ind.)	
Serap.	<i>B</i>	1805,81	231,78	---	---	---	78,61	0,40
	valor t	0,91	3,65	---	---	---	2,66	
	valor p	0,3738	0,0015	---	---	---	0,0146	
N	<i>B</i>	-13,36	4,21	-1,91	0,0059	1,46	---	0,55
	valor t	-0,26	3,87	-1,91	1,66	2,72	---	
	valor p	0,7944	0,0010	0,0714	0,1130	0,0137	---	
P	<i>B</i>	-0,62	0,35	---	---	---	0,074	0,52
	valor t	-0,26	4,56	---	---	---	2,06	
	valor p	0,7982	0,0001	---	---	---	0,0516	
K	<i>B</i>	15,16	1,29	---	---	---	---	0,23
	valor t	1,20	2,58	---	---	---	---	
	valor p	0,2413	0,0172	---	---	---	---	
Ca	<i>B</i>	3,30	0,060	---	---	---	0,014	0,38
	valor t	6,02	3,47	---	---	---	1,69	
	valor p	<0,001	0,0023	---	---	---	0,1064	
Mg	<i>B</i>	12,16	0,76	---	---	0,29	-0,16	0,38
	valor t	1,15	2,94	---	---	2,29	-1,49	
	valor p	0,2645	0,0081	---	---	0,0328	0,1523	

Quando analisamos separadamente os sítios, observamos resultados diferentes (Tabela 8). No sítio de maior fertilidade (Sítio 1), verificamos efeitos significativos da deciduidade, área basal e densidade; mas somente a densidade possuiu efeito positivo na produção de N e K. Em contraste, no sítio de menor fertilidade, Sítio 2, nossos resultados destacaram os efeitos positivos da riqueza e da fixação de nitrogênio, na produção de todas as variáveis estudadas. Além disso, a área basal e a deciduidade

afetaram a produção de K, com efeito positivo da área basal e negativo da deciduidade (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de regressão múltipla dos efeitos das características da vegetação na produção total média de serapilheira ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) e na transferência de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo). Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

		Intercepto	Riqueza rarefeita	Área basal	Densidade	Decíduos	Fixadores	r^2
			(n° sp.)	($\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{ind}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(% ind.)	(% ind.)	
Sítio 1								
Serap.	<i>B</i>	16.077,54	---	---	---	-89,66	---	0,43
	valor t	7,29	---	---	---	-2,72	---	
	valor p	$\leq 0,001$	---	---	---	0,0214	---	
N	<i>B</i>	245,32	1,15	-4,95	0,013	-0,84	2,13	0,86
	valor t	3,64	1,19	-3,53	4,19	-1,18	1,76	
	valor p	0,0108	0,2805	0,0124	0,0058	0,2819	0,1291	
P	<i>B</i>	15,57	0,12	---	0,00048	-0,15	---	0,67
	valor t	2,99	1,49	---	2,04	-2,43	---	
	valor p	0,0171	0,1741	---	0,0751	0,0409	---	
K	<i>B</i>	129,89	---	---	0,0054	-1,75	1,49	0,63
	valor t	4,79	---	---	2,33	-3,65	1,91	
	valor p	0,0014	---	---	0,0481	0,0065	0,0923	
Ca	<i>B</i>	444,60	---	---	---	-3,04	---	0,34
	valor t	4,98	---	---	---	-2,29	---	
	valor p	0,0005	---	---	---	0,0453	---	
Mg	<i>B</i>	61,89	---	---	---	-0,51	---	0,34
	valor t	4,07	---	---	---	-2,25	---	
	valor p	0,0022	---	---	---	0,0480	---	
Sítio 2								
Serap.	<i>B</i>	-4.261,49	424,83	---	---	---	136,07	0,73
	valor t	-1,70	4,63	---	---	---	4,85	
	valor p	0,1231	0,0012	---	---	---	0,0009	
N	<i>B</i>	-135,85	7,84	0,89	---	0,36	2,78	0,88
	valor t	-2,93	5,94	1,53	---	1,19	5,93	
	valor p	0,0219	0,0005	0,1697	---	0,2725	0,0006	
P	<i>B</i>	-7,31	0,58	0,086	---	-0,049	0,19	0,71
	valor t	-1,20	3,33	1,13	---	-1,26	3,15	
	valor p	0,2682	0,0125	0,2945	---	0,2475	0,0162	
K	<i>B</i>	-56,01	3,41	0,87	---	-0,42	1,22	0,83
	valor t	-2,10	4,51	2,61	---	-2,42	4,53	
	valor p	0,0733	0,0028	0,0349	---	0,0459	0,0027	
Ca	<i>B</i>	-171,20	10,36	2,84	-0,0065	-1,06	4,03	0,78
	valor t	-1,71	3,44	2,19	-1,32	-1,88	3,65	
	valor p	0,1374	0,0137	0,0715	0,2360	0,1097	0,0170	
Mg	<i>B</i>	-28,19	1,82	0,42	---	-0,14	0,65	0,73
	valor t	-1,66	3,75	1,98	---	-1,29	3,81	
	valor p	0,1415	0,0071	0,0876	---	0,2369	0,0066	

3.3. Comparações dos sistemas de restauração florestal com a restauração passiva (controle) e floresta de referência

As comparações da produção média anual de serapilheira entre os sistemas de restauração e a floresta de referência, representadas pela taxa de resposta (Figura 8 a, b), mostram diferenças no Sítio 1 para os sistemas SEM ($t= 4,00$; $p= 0,0161$) e AGR ($t= -3,96$; $p= 0,0166$), em que ambos os sistemas tiveram produção inferior (Figura 8 a). Por outro lado, os sistemas CML ($t= -3,64$; $p= 0,066$) e DIV ($t= 0,41$; $p= 0,702$) não diferiram na quantidade de serapilheira da referência (Figura 8 a).

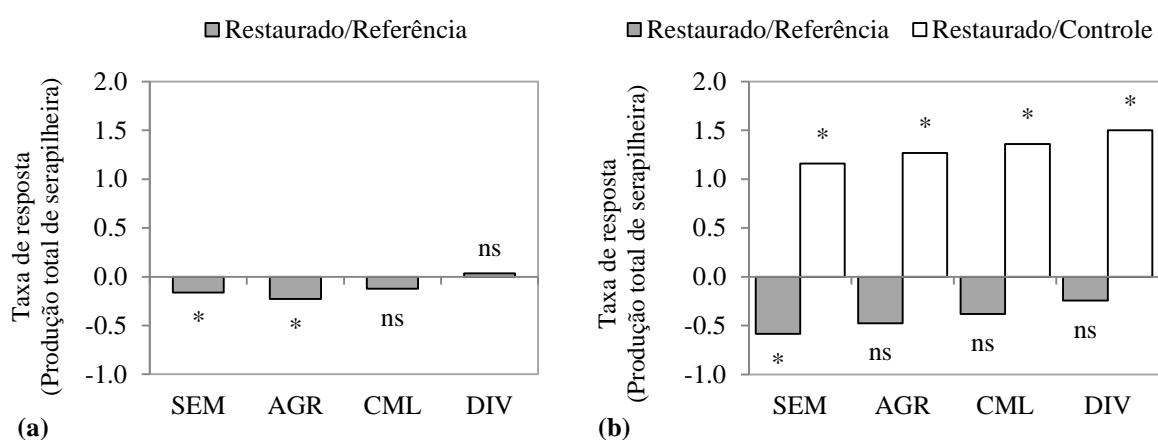


Figura 8. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e [$\ln(\text{restaurado}/\text{referência})$] dos valores médios da produção total de serapilheira entre os sistemas de restauração e a floresta de referência no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência, e entre os sistemas de restauração e o sistema controle no Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo) (b), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo).

As taxas de resposta no Sítio 2 foram todas negativas (resultados das análises não significativas a 5%), e somente SEM produziu menor quantidade de serapilheira do que a referência ($t= 3,57$; $p= 0,0233$) (Figura 8 b). Ainda no Sítio 2, para as comparações com o controle, verificamos taxas de resposta positivas e significativas para todos os sistemas estudados ($t=10,49$; $p= 0,0028$) (Figura 8 b).

Em relação à transferência total de nutrientes, as taxas de resposta entre os sistemas de restauração e a floresta de referência mostram, de maneira geral, respostas negativas para ambos os sítios estudados. (Figura 9 a, b). Respostas positivas foram apenas observadas no Sítio 1 nas produções de P e K. No Sítio 1, todos os sistemas

transferem menor quantidade de N do que a referência, ao passo que no Sítio 2 os sistemas AGR, CML e DIV não diferem (Figura 9 a, b). Para P, no Sítio 2 os sistemas AGR, CML e DIV também transferem quantidade que não difere da referência, enquanto que no Sítio 1 somente os sistemas CML e DIV não diferiram entre si. Para a transferência de K, enquanto que no Sítio 1 os sistemas AGR, CML e DIV já transferem quantidade que não difere da referência, no Sítio 2 todos os sistemas transferem menor quantidade. Para os valores de Ca, em SEM e DIV no Sítio 1 a quantidade transferida não difere dada referência, ao passo que no Sítio 2 CML e DIV não diferem entre si. A comparação da transferência de Mg em cada sítio foi contrastante, enquanto que no Sítio 1, apenas em DIV a quantidade não diferiu da referência, no Sítio 2 todos os sistemas transferem menor quantidade (Figura 9 a, b).

As taxas de resposta das comparações da transferência de nutrientes entre os sistemas de restauração e o sistema controle foram todas positivas (Figura 9 c). Todos os sistemas transferem maior quantidade N, Ca e Mg do que o controle. No entanto, somente o DIV transfere maior quantidade de P do que o controle. Da mesma forma, o DIV também transfere maior quantidade de K; além do CML que obteve maior produção (Figura 9 c).

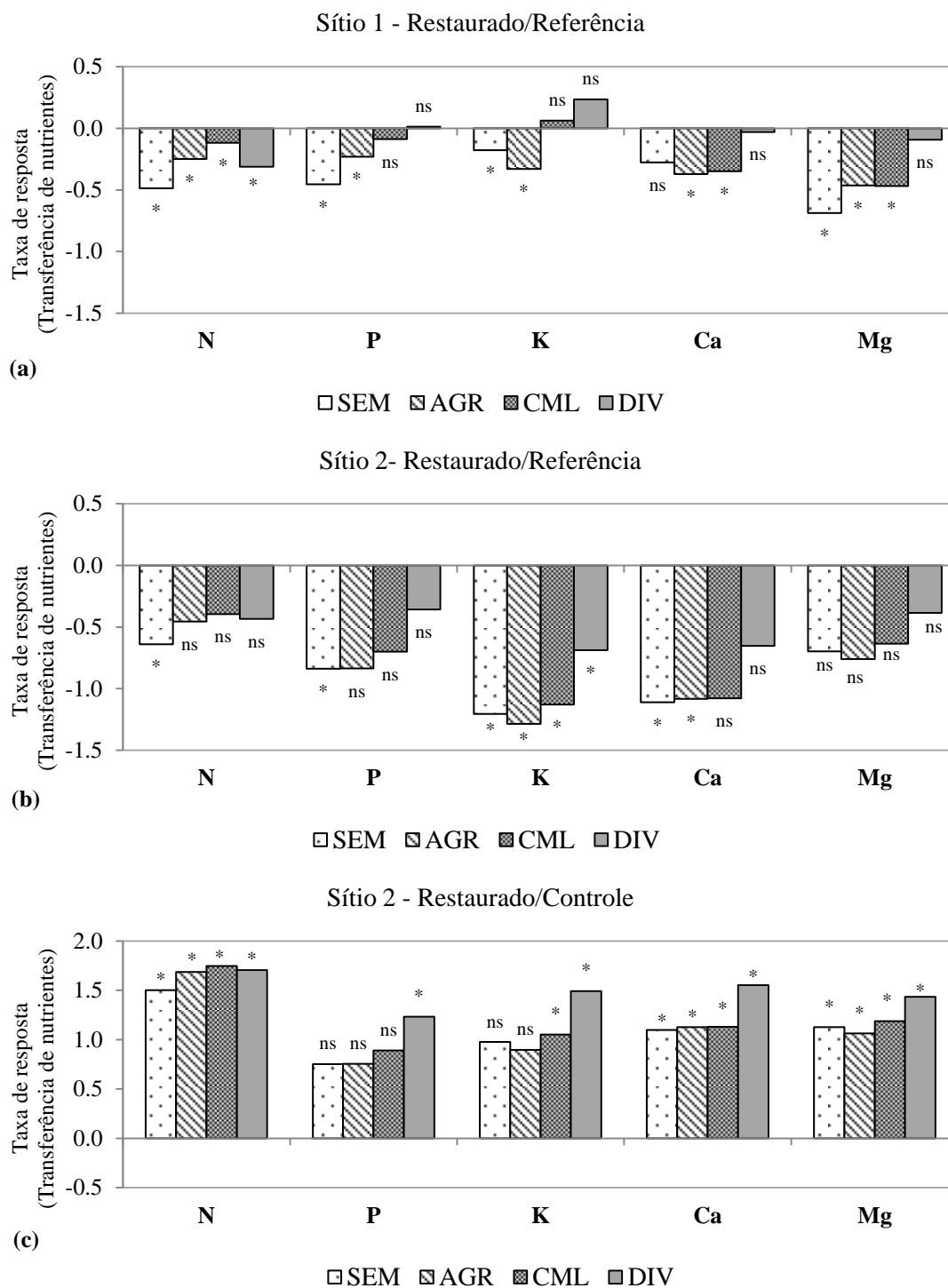


Figura 9. Taxa de resposta $[\ln(\text{restaurado}/\text{controle})]$ e $[\ln(\text{restaurado}/\text{referência})]$ dos valores médios da transferência de nutrientes, entre os sistemas de restauração e a floresta de referência no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência, e entre os sistemas de restauração e o sistema controle no Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo) (b,c), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo).

4. DISCUSSÃO

Em nosso estudo, os sistemas em restauração com maior riqueza, independentemente das condições do sítio, produziram maior quantidade de serapilheira e nutrientes. Além da riqueza, a maior produção de serapilheira e a transferência de nutrientes estão relacionadas também com a maior proporção de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. Nessa linha, nossos resultados demonstram não somente a importância de sistemas biodiversos na ciclagem biogeoquímica de nutrientes, mas também a importância das características funcionais das espécies, como as espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio.

As condições do sítio afetaram diferencialmente as relações entre as espécies vegetais, ao influírem nas características estruturais e funcionais das comunidades responsáveis pela ciclagem de nutrientes. No sítio de baixa fertilidade, a riqueza e a proporção de fixadoras são as características da vegetação mais associadas à maior produção de serapilheira e transferência de nutrientes, o que parece indicar o efeito de complementaridade na utilização dos recursos pelas espécies; por outro lado, no sítio de maior fertilidade natural, a densidade de indivíduos é a principal variável da comunidade relacionada com a transferência de nutrientes, o que nos leva a supor que exista um efeito de seleção das espécies.

4.1. Efeitos do sítio e de sistemas de restauração florestal na produção de serapilheira e transferência de nutrientes

Verificamos efeitos do sítio na produção de serapilheira e nutrientes, assim como observado em ampla revisão de ciclagem de nutrientes realizada em florestas tropicais úmidas de diversas regiões do mundo (VITOUSEK; SANFORD, 1986). Nesse estudo, a produção de serapilheira e nutrientes foram comparadas entre distintos tipos de solos e, da mesma forma que no presente estudo, os autores concluíram que florestas em solos de maior fertilidade natural produzem maior quantidade de serapilheira e nutrientes do que florestas localizadas em sítios com solos de fertilidade média e baixa.

Além disso, a disponibilidade de nutrientes no solo pode influir em todos os aspectos do desenvolvimento de comunidades vegetais (EHLERINGER; SANDQUIST, 2006). Estudos realizados em sistemas florestais têm demonstrado efeitos,

por exemplo, na sobrevivência e crescimento de espécies (BAKER et al., 2003; PARK et al., 2010; van BREUGEL et al., 2011; LI et al., 2014), e na produção de serapilheira e nutrientes (VITOUSEK et al., 2004; DENT et al., 2006; FYLLAS et al. 2009; CHAVE et al., 2010).

Nossos resultados mostraram que, de maneira geral, o maior número de espécies arbóreas (riqueza) e a maior proporção de indivíduos de espécies que potencialmente se associam a bactérias fixadoras de nitrogênio (fixadoras) são as variáveis da vegetação com efeito significativo na produção de serapilheira. Da mesma forma, a riqueza de espécies influi na transferência de nutrientes, enquanto a proporção de indivíduos decíduos influencia na produção de nitrogênio e magnésio. De fato, o sistema diversificado, que foi caracterizado no plantio com o maior número de espécies arbóreas, com diferentes características ecológicas/silviculturais, produziu maior quantidade de serapilheira do que os sistemas semeadura direta e agroflorestal. De igual importância, o sistema comercial, com riqueza intermediária de espécies, porém com valores expressivos de densidade e área basal de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (sansão-do-campo) (Apêndice 1), uma espécie fixadora de nitrogênio, produziu mesma quantidade que os demais sistemas, inclusive apresentou a mesma produção que o sistema diversificado.

Os efeitos das características de plantações florestais na produção de serapilheira e nutrientes foram reportados em alguns poucos estudos (MONTAGNINI, 2000; SCHERER-LORENZEN et al., 2007; CELENTANO et al., 2011; GAZELL et al., 2012), sendo os resultados contrastantes. No Brasil, por exemplo, encontramos apenas um estudo com esse enfoque (GAZELL et al., 2012), e os autores não verificaram diferenças ao compararem sistemas de restauração com 20, 60 e 120 espécies, aos seis anos de idade. Da mesma forma, um estudo comparando monoculturas e plantios mistos com três espécies (MONTAGNINI, 2000) e outro comparando diferentes métodos de restauração (CELENTANO et al., 2011), ambos desenvolvidos na Costa Rica, também não encontraram relações da riqueza com a produção; efeitos somente foram significativos para a cobertura de dossel e a biomassa (CELENTANO et al., 2011a). Por outro lado, um experimento de biodiversidade no Panamá indicou diferenças ao compararem seis espécies arbóreas implantadas em sistemas homogêneos, em sistemas com três espécies e em sistema com todas as seis espécies, em que a maior produção foi constatada no sistema com diversidade intermediária (SCHERER-LORENZEN et al., 2007). De fato, nossos resultados não apontaram diferenças em produção entre os sistemas onde foram

implantadas 41 (diversificado) e 21 espécies (comercial). Dessa forma, se por um lado, a maior riqueza de espécies no sistema diversificado pode ter influenciado na produção de serapilheira, em função de diferentes características funcionais das espécies e que pode ter resultado em uso complementar de recursos (HECTOR, 1998), por outro lado, a alta produção no sistema comercial pode estar associada à espécie *M. caesalpinifolia*, que tem potencial de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio e caracterizada por produzir grande quantidade de biomassa de folhas (FERNANDES et al., 2006; FERREIRA et al., 2007; CAMARGO; ENGEL, 2011⁴).

Em relação à transferência de nutrientes, verificamos o efeito da riqueza de espécies em todos os nutrientes, bem como o efeito da proporção de indivíduos de espécies decíduas na transferência de nitrogênio e magnésio. De fato, o sistema com o maior número de espécies, o diversificado, de maneira geral, transferiu maior quantidade de nutrientes do que os demais sistemas avaliados. A única exceção foi para a transferência de nitrogênio, com altos valores nos sistemas agroflorestal e comercial, com destaque para o sistema comercial que foi o único que se diferenciou do semeadura direta. De acordo com Hooper et al. (2005), em plantios diversificados ocorre forte competição por recursos, que é ocasionada pela diferenciação de nichos e que pode induzir o efeito de complementaridade na utilização dos recursos pelas espécies. Assim, no sistema com maior número de espécies, caracterizado por apresentar espécies com diferentes características ecológicas, pode ter ocorrido o uso complementar de recursos, o que favoreceu a maior transferência de nutrientes nesse sistema. Efeitos da diversidade de plantas do dossel e riqueza de espécies na transferência de nutrientes também foram verificados por outros autores (CELENTANO et al., 2011). Além disso, os altos valores da produção de N, principalmente nos sistemas agroflorestal e comercial, podem estar relacionados às características funcionais das espécies, como, por exemplo, a capacidade de fixação biológica de N₂, que podem influir na dinâmica de N da comunidade florestal, aumentando as concentrações nos tecidos vegetais (PARROTA, 1999; PIOTTO, 2008; SIDDIQUE et al., 2008), e, conseqüentemente, na transferência de nutrientes (CELENTANO et al., 2011).

As significantes transferências de N nos sistemas agroflorestal e comercial estão relacionadas, principalmente, com a expressiva contribuição na produção

⁴ CAMARGO, J. A. S. C.; ENGEL, V. L. (Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP). Dados não publicados, 2011.

de folhas da espécie fixadora de nitrogênio *M. caesalpinifolia*, com valor 20% do total de biomassa foliar produzida (CAMARGO; ENGEL, 2011)⁴. Um estudo recente dos efeitos do manejo de *M. caesalpinifolia* na produção de serapilheira e nutrientes nos sistemas agroflorestal e comercial, indicou maior produção nas parcelas não manejadas do que as parcelas manejadas, onde os indivíduos foram eliminados (OLIVEIRA et al., 2015)⁵. Esses resultados são mais um indício do importante papel que a espécie apresenta no ciclo dos nutrientes.

Quanto aos efeitos da deciduidade na transferência de nutrientes, nossos resultados indicaram efeitos positivos da proporção de indivíduos de espécies decíduas (representada pelo conjunto de espécies brevidécidas e decíduas), o que pode estar relacionado com a menor longevidade foliar das espécies, sendo nossos resultados corroborados por outros estudos (VILLAR et al., 2006; ARAÚJO; HARIDASAN, 2007).

Apesar de os sítios apresentarem distintas características edáficas e de paisagem, nossos resultados não apontaram interações entre sítio e sistema, indicando que, independentemente das características contrastantes dos sítios, os sistemas em restauração seguiram um padrão de produção de serapilheira e nutrientes. No entanto, quando analisamos os efeitos que as características da vegetação possuem sobre as produções de serapilheira e nutrientes, separadamente para cada sítio, nossos resultados mostraram distintos efeitos. Enquanto no Sítio 1, com solo comparativamente mais fértil, a densidade de indivíduos possuiu efeito positivo na transferência de nutrientes; no sítio 2, de menor fertilidade, a riqueza de espécies e a porcentagem de indivíduos fixadores de nitrogênio possuíram forte efeito nas produções de todas as variáveis estudadas. Diante disso, podemos supor que no Sítio 1, o aumento da densidade implicou em um processo de seleção, em função, possivelmente, da inclusão de espécies com características particulares que favoreceram a maior transferência de nutrientes. Contudo, não foi possível determinar se realmente ocorreu o efeito de seleção, pois não quantificamos a transferência de nutrientes/serapilheira por espécie. Adicionalmente, devido à maior fertilidade desse sítio, não encontramos indícios de competição, já que o aumento da densidade não afetou negativamente a produção, o que também foi observado por Forrester et al. (2013). Em sítios com maior fertilidade também pode ocorrer o efeito de dominância de algumas

⁴ CAMARGO, J. A. S. C.; ENGEL, V. L. (Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP). Dados não publicados, 2011.

⁵ OLIVERIA, L. H. et al. (2015) (Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP). Dados não publicados, 2015.

espécies, por meio de processos de seleção, como a competição interespecífica, que causa dominância de espécies com características particulares (LOREAU; HECTOR, 2001). Outros estudos, porém, têm sugerido que a alta disponibilidade de recursos pode reduzir a competição por nutrientes, reduzindo também a necessidade das plantas em ocupar diferentes nichos (OELMANN et al., 2010). Assim, a alta disponibilidade de recursos no solo pode reduzir o efeito da diversidade de árvores em sistemas mistos. Já no sítio de menor fertilidade, a maior riqueza e a maior proporção de espécies fixadoras de nitrogênio podem estar desencadeando um efeito de complementaridade, com maior partição de nichos entre as espécies (LOREAU; HECTOR 2001), o que tem favorecido a produção de serapilheira e nutrientes.

4.2. Comparações dos sistemas de restauração florestal com a restauração passiva (controle) e floresta de referência

Os valores da produção total de serapilheira verificados neste estudo, tanto para os sistemas de restauração quanto para as florestas de referência, estão entre os reportados em estudos realizados com diferentes métodos de restauração da Floresta Estacional Semidecidual (ARATO et al., 2003; MOREIRA e SILVA, 2004; COSTA et al., 2004; GAZELL et al., 2012); e de acordo também com estudos realizados em áreas de restauração passiva de mesma fisionomia em diferentes estádios sucessionais (PEZZATO e WISNIEWSKI, 2006; MACHADO et al., 2015); e com estudos desenvolvidos em plantações florestais de diferentes florestas tropicais (MONTAGNINI, 2000; SCHERER-LORENZEN et al., 2007; CELENTANO et al., 2011). Os valores da transferência de nutrientes também estão de acordo com trabalhos realizados em diferentes fisionomias da Floresta Tropical (COSTA et al., 2004; ARAÚJO et al., 2006; FERREIRA et al., 2007; CELENTANO et al., 2011).

A quantidade de serapilheira depositada nos sistemas comercial e diversificado não diferiram dos ecossistemas de referência. Esses sistemas, de maneira geral, também não diferiram da referência na transferência de nutrientes. Como discutido anteriormente, as variáveis da vegetação com maior efeito nas produções e que, possivelmente, fizeram com que a produção nos sistemas não diferisse das referências foram a riqueza de espécies, mais associada com o sistema diversificado, e a proporção de fixadoras de nitrogênio, mais relacionada com o comercial. De fato, o sistema diversificado apresentou riqueza de espécies com valor intermediário às florestas de

referência, com 30 espécies; as referências apresentaram 28 (Sítio 1) e 34 (Sítio 2) espécies. A maior riqueza de espécies no sistema diversificado, com espécies com distintas características funcionais (por exemplo, ritmo de crescimento, arquitetura, índice de área foliar), proporcionou melhor estratificação vertical, características também observadas nas florestas de referência, o que pode ter influenciado na alta produção de serapilheira nesse sistema, e que também comumente afeta as altas produções de florestas referência (RUIZ-JAÉN; AIDE, 2005). Além disso, outras características funcionais, em conjunto com as já listadas acima, podem ter favorecido o uso complementar dos recursos, e assim favorecido a maior transferência de nutrientes. Outros estudos também apontaram que a capacidade de fixação biológica de nitrogênio favoreceu a produção de serapilheira e nutrientes e fez com que a estratégia de restauração não diferisse da referência (CELENTANO et al., 2011).

Nossos resultados também apontaram que no sítio de menor fertilidade, Sítio 2, todos os sistemas produziram maior quantidade de serapilheira do que o sistema controle, que se encontra em processo de regeneração natural, sem qualquer intervenção. O mesmo ocorreu, de maneira geral, para a transferência de nutrientes; mas, apenas o diversificado produziu quantidades de todos os nutrientes superiores aos outros sistemas. No sistema controle, todas as parcelas estão infestadas por capim braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.), o que tem dificultado a regeneração natural e, conseqüentemente, a produção de serapilheira. No Sítio 1, a infestação no sistema controle por capim napier ou capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) é ainda maior, principalmente pelo grande porte da espécie, e isso impossibilitou a amostragem nas parcelas. Nas parcelas também não verificamos a presença de indivíduos regenerantes. As gramíneas, portanto, atuam como uma barreira na restauração de algumas funções e serviços ecossistêmicos (HOLL, 2002), inclusive com efeitos na produção de serapilheira (CELENTANO et al., 2011).

4.3. Implicações para a restauração de ecossistemas florestais tropicais

Nossos resultados indicam que, em sentido amplo, sistemas em restauração com menor riqueza de espécies, mas com espécies com características particulares (por exemplo, com potencial de fixação biológica de nitrogênio), são tão eficazes na restauração dos processos de ciclagem de nutrientes, quanto sistemas com alta riqueza de espécies. Em nosso estudo, o sistema comercial, com a utilização de 21 espécies no plantio, obteve produção de serapilheira e nutrientes que não diferiu do sistema

diversificado, com 41 espécies. No comercial, foi utilizada uma espécie de leguminosa não nativa na região, a espécie *M. caesalpinifolia*, que é pioneira de rápido crescimento e caracterizada por produzir alta biomassa foliar; o que poderia ser um problema na restauração de florestas tropicais, caso apresentasse alta dominância, difícil decomposição e potencial de invasividade, características que poderiam ter efeito negativo sobre outros processos do funcionamento do ecossistema. No entanto, não constatamos alta dominância da espécie. Estudos prévios verificaram que as folhas da espécie possuem fácil decomposição (FERNANDES et al., 2006) e que a mesma não possui potencial de se tornar invasora (PODADERA et al., 2015).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, p.715-721, 2003.

ARAÚJO, R. S.; PINA RODRIGUES, F. C. M.; MACHADO, M. R.; PEREIRA, M. G.; FRAZÃO, F. J. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. **Revista Floresta e Ambiente**, v.12, p.15-21, 2006.

ARAÚJO, J. F.; HARIDASAN, M. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, p.533-542, 2007.

BAKER, T. R.; SWAINE, M. D.; BURSLEM, D. F. R. P. Variation in tropical forest growth rates: combined effects of functional group composition and resource availability. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v.6, p.21-36, jan 2003.

CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D. U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G. M.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A.; KINZIG, A. P.; DAILY, G. C.; LOREAU, M.; GRACE, J. B.; LARIGAUDERIE, A.; SRIVASTAVA, D. S.; NAEEM, S. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v.486, p.59-67, 2012.

CELENTANO, D.; ZAHAWI, R. A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R. C.; HOLL, K. D. Litterfall dynamics under different tropical Forest restoration strategies in Costa Rica. **Biotropica**, v.43, p.279-287, 2011a.

CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista Árvore**, v.28, p.801-809, 2004.

CHAVE, J.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARAGÃO, L.E.; BONAL, D.; CHATELER, P.; SILVA-ESPEJO, J. E.; GOREF, J.Y.; VON HILDEBRAND, P.; JIMENEZ, E.; PATINO, S. PENUELA, M. C.; PHILIPS, O. L.; STEVENSON, P.; MALHI, Y. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**, v.7, p.43-55, 2010.

CLARK, D. A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.; CHAMBERS, J.; THOMLINSON, J. R.; NI, J.; HOLLAND, E. A. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications**, v.11, p.371-384, 2001.

COSTA, G. S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.919-927, 2004.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v.14, p.1-11, 2009.

DENT, D. H.; BAGCHI, R.; ROBINSON, D.; MAJALAP-LEE, N.; BURSLEM, D. F. R. P. Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. **Plant and Soil**, v.288, p.197-215, 2006.

EHLERINGER, J. R.; SANDQUIST, D. R. **Ecophysiological constraints on plant responses in a restoration setting**. In: FALK, D. A. et al. *Foundations of Restoration Ecology*, Washington, DC: Island Press, 2006. p. 42-58.

ENGEL, V. L. **Abordagem “BEF”: um novo paradigma na restauração de ecossistemas?** In: Barbosa, L.M (Coord). *IV Simpósio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros*. São Paulo, Instituto de Botânica, 2011. p.155-165 (<http://pt.scribd.com/doc/78855915/ANAIS-IV-SIMPOSIO-DE-RESTAURACAO-ECOLOGICA>).

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: light interception and effects on an old-field plant community. **Ecology**, v.72, p.1024-1031., 1991.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JÚNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) **Revista Árvore**, v.31, p.7-12, 2007.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S.; CRUZ, A. R.; GIÁCOMO, R. G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, v.16, p.163-175, 2006.

FORRESTER, D. I.; KOHNLE, U.; ALBRECHT, A. T.; BAUHUS, J. Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. **Forest Ecology and Management**, v.304, p.233-242, 2013.

FYLLAS, N. M.; PATINO, S.; BAKER, T. R.; BIELEFELD NARDOTO, G.; MARTINELLI, L. A.; QUESADA, C. A.; PAIVA, R.; SCHWARZ, M.; HORNA, V.; MERCADO, L. M.; SANTOS, A.; ARROYO, L.; JIMENEZ, E. M.; LUIZAO, F. J.; NEILL, D. A.; SILVA, N.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; SILVIERA, M.; VIEIRA, I. C. G.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L.; AND LLOYD, J. Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate, **Biogeosciences**, v.6, p.3707-3769, 2009.

GAZELL, A. C. F.; RIGHI, C. A.; STAPE, J. L.; CAMPOE, O. C. Tree species richness, does it play a key role on a forest restoration plantation? **BOSQUE**, v.33, p.245-248, 2012.

HECTOR, A. The effect of diversity on productivity: detecting the role of species complementarity. **Oikos**, v.82, p.597-599, 1998.

HOLL, K. D. **Tropical moist forest restoration**. In A. J. Davy and M. Perrow (Eds.). *Handbook of ecological restoration*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. v.2, p.539-558, 2002.

HOOPER, D. U.; CHAPIN, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL,S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETALA,H.; SYMSTAD,A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological Monographs** v.75, p.3-35, 2005.

GUREVITCH, J.; HEDGES, L. V. **Meta-analysis: Combining the Results of Independent Experiments**. In: Design and Analysis of Ecological Experiments, S. M. SCHEINER, J. GUREVITCH, Eds. (Oxford Univ. Press, Oxford), 347p., 2001.

LAMB, D.; ERSKINE, P.; PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, v.310, p.1628-1639, 2005.

LOHBECK, M.; POORTER, L.; PAZ, H.; VAN BREUGEL, L. P. M.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; BONGERS, F. Functional diversity changes during tropical forest succession. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.14, p.89-96, 2012.

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. **Nature**, v.412, p.72-76, 2001.

LI, Y.; HÄRDITTE, W.; BRUELHEIDE, H.; NADROWSKI, K.; SCHOLTEN, T.; VON WEHRDEN H.; von OHEIMB, G. V. Site and neighborhood effects on growth of tree saplings in subtropical plantations (China). **Forest Ecology and Management**, v.327, p.118-127, 2014.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; SANTOS, L. L.; MENEZES, C. E. Ciclagem de nutrientes em diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica na Bacia do rio Paraíba do Sul, RJ. **Bioscience Journal**, v.31, p.1222-1237, 2015.

MONTAGNINI, F. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. **Forest Ecology and Management**, v.134, p.257-270, 2000.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, v.28, p.49-59, 2004.

OELMANN, Y.; POTVIN, C.; MARK, T. ;WERTHER, L.; TAPERNON, S.; WILCKE, W. Tree mixture effects on aboveground nutrient pools of trees in an experimental plantation in Panama. **Plant and Soil**, v.326, p.199-212, 2010.

PARK, A.; BREUGEL, M. VAN; ASHTON, M. S.; et al. Local and regional environmental variation influences the growth of tropical trees in selection trials in the Republic of Panama. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.260, p.12-21, 2010.

PARROTA, J. A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v.124, p.45-77, 1999.

PEZZATTO, A. W.; WISNIEWSKI, C. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da Floresta Estacional Semidecidual no oeste do Paraná. **Floresta**, Paraná, v.36, p.111-120, 2006.

PIMENTEL-GOMES, F; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PIOTTO, D. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.781-786, 2008.

PODADERA, D. S.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MACHADO, D. L.; SATO, L.M.; DURIGAN, G. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a Tropical Semideciduous Forest under restoration in Brazil. **Environmental Management**, v.56, p.1148-1158, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Versão 3.2.1. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 18 junho de 2015.

ROSCHER, C.; SCHUMACHER, J.; GUBSCH, M.; LIPOWSKY, A.; WEIGELT, A.; BUCHMANN, N. Using plant functional traits to explain diversity-productivity relationships. **PLOS ONE**, v.7, p.1-7, 2012.

RUIZ-JAEN, M. C.; AIDE, T. M. Restoration success: how is it being measured? **Restoration Ecology**, v.13, p.569-577, 2005.

SANTANA, J. A. S.; VILAR, F. C. R.; SOUTO, P. C.; ANDRADE, L. A. Acúmulo de serapilheira em plantios puros e em fragmento de Mata Atlântica na Floresta Nacional de Nísia Floresta – RN. **Caatinga**, v.22, p.59, 2009.

SCHERER-LORENZEN, M.; BONILLA, J.L.; POTVIN, C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. **Oikos**, Lund, v.116, p.2108-2124, 2007.

SIDDIQUE, I.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J.; LAMB, D.; NARDOTO, G.; OMETTO, J.; MARTINELLI, L.; SCHMIDT, S. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. **Biogeochemistry**, v.88, p.89-101, 2008.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 372p.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Boletim Técnico de Solos n.5,188p., 1995.

TILMAN, D.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; REICH, P.; RITCHIE, M.; SIEMANN, E. The Influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. **Science**, v.277, p.1300-1302, 1997.

van BREUGEL, M.; HALL, J. S.; CRAVEN, D. J.; et al. Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.261, p.1580-1589, 2011.

VILLAR, R.; ROBLETO, J. R.; JONG, Y.; POORTER, H. Differences in construction costs and chemical composition between deciduous and evergreen wood species are small as compared to differences among families. **Plant, Cell and Environment**, v.29, p.1629-1643, 2006.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review Ecology Systems**. v.17, p.137-167, 1986.

VITOUSEK, P. M. **Nutrient Cycling and Limitation: Hawai'i as a Model System**. Princeton University Press, Princeton, 232p, 2004.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N. J.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G.M. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. Springer, New York, NY, USA, 564p., 2009.

CAPÍTULO II

“CARACTERÍSTICAS DE SÍTIO E SAZONALIDADE SÃO FATORES DETERMINANTES NA ESTRUTURAÇÃO DE COMUNIDADES DA FAUNA DE SERAPILHEIRA DE SISTEMAS FLORESTAIS EM RESTAURAÇÃO”

1. INTRODUÇÃO

A produção e a decomposição da serapilheira são consideradas o principal meio de acúmulo de matéria orgânica em solos florestais, sendo, portanto, processos fundamentais da ciclagem biogeoquímica nesses sistemas (VITOUSEK; SANFORD, 1986). O processo de decomposição é um processo essencialmente biológico, em que organismos invertebrados e microrganismos são os principais agentes da desestruturação física e química do material vegetal (LAVELLE et al., 1997). A diversidade biológica tem importância, portanto, pelas transformações biogeoquímicas que os organismos desempenham no ambiente do solo, ao atuarem nos processos de fragmentação do material vegetal, e indiretamente, ao estimularem toda a comunidade microbiana (CORREIA; ANDRADE, 2008).

O solo, além de ser substrato para o crescimento de plantas, é um ambiente muito biodiverso, contendo milhares de animais e microrganismos (PARRON et al., 2015). Animais do solo podem representar 23% da diversidade total de organismos vivos que tem sido descrita (DECAENS et al., 2006). A fauna edáfica inclui milhares de espécies de organismos invertebrados que variam em escalas de tamanho, desde alguns micrômetros até metros de comprimento, com ciclos de vida que variam de alguns dias até mais de 10 anos (PARRON et al., 2015). A microfauna possui tamanho inferior a 0,2 mm e compreende invertebrados aquáticos, principalmente nematóides e protozoários. A mesofauna possui tamanho entre 0,2-2,0 mm, sendo representada por microartrópodes, que vivem no espaço poroso do solo; enquanto a macrofauna é composta por invertebrados maiores que 2 mm em média, sendo os grandes artrópodes, moluscos, anelídeos e crustáceos os principais componentes desse grupo, que podem viver na serapilheira ou em ninhos e tocas no solo, possuindo capacidade de escavar e criar estruturas como galerias e ninhos (LAVELLE, 1997; LAVELLE et al., 2006).

A atividade desses animais edáficos pode afetar uma gama de serviços essenciais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres, como a água disponível no solo, devido à mudança que esses organismos promovem em sua estrutura; produção primária, por afetar o crescimento de plantas; sequestro de carbono e troca de gases entre o solo e a atmosfera (PARRON et al., 2015). São também determinantes de processos do solo, tais como a decomposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (SILESHI; MAFONGOYA, 2007). Portanto, uma redução excessiva na

biodiversidade do solo, especialmente a perda de espécies com funções chave, pode resultar em efeitos graves incluindo a sua degradação em longo prazo e a perda de sua capacidade produtiva. O esgotamento das funções benéficas realizadas pela fauna edáfica, devido ao manejo biológico inadequado, contribui para o aumento das taxas de degradação do solo, esgotamento de nutrientes e escassez de água (RUIZ et al., 2008).

Dentre os fatores que podem ter influência na estruturação das comunidades edáficas destacam-se, principalmente, a sazonalidade, a disponibilidade e a qualidade da fonte alimentar. As comunidades da fauna do solo podem variar ao longo do tempo, devido ao efeito sazonal, que regula principalmente a temperatura e a umidade (ROSSI; BLANCHART, 2005). De acordo com Lavelle (1983) o teor de água, por exemplo, é a variável ambiental mais importante na distribuição e abundância de minhocas em solos tropicais. As características funcionais das espécies, como a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, podem ter um efeito positivo sobre a produção primária ou fornecer serapilheira/resíduos de boa qualidade, aumentando a densidade de grupos da macrofauna que se alimentam da serapilheira ou que se beneficiam dos microhabitats que eles fornecem (LAOSSI et al., 2008). A comunidade vegetal influencia também a atividade microbiológica, já que plantas com baixa relação C:N estimulam o crescimento e a atividade de bactérias, enquanto plantas com elevada relação C:N favorecem o crescimento de fungos. Além disso, a riqueza de espécies vegetais pode proporcionar maior diversidade de recursos alimentares e heterogeneidade de habitat, o que pode influir nas comunidades biológicas do solo (BARDGETT, 2005).

Por saber da importância das relações entre a comunidade vegetal e a comunidade biológica do solo para o funcionamento dos ecossistemas, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas avaliando as ligações entre as comunidades acima e abaixo do solo (WARDLE et al., 2006; VANBERGEN et al., 2007; LAOSSI et al., 2008; BALL et al., 2009; DAVIS; UTROP, 2010). Contudo, esse conhecimento é ainda incipiente no que tange à restauração de ecossistemas florestais, principalmente pela falta de consenso da utilização da fauna como um indicador da restauração desses ecossistemas (MAJER et al., 2007; LONGCORI, 2003; MELONI et al., 2015; JANSEN, 2008).

Objetivamos, neste capítulo, compreender como sítios com distintas características de solo e plantios de restauração com diferentes características de composição e estrutura influem na estrutura e na composição da fauna de serapilheira. Buscamos responder às seguintes questões:

1) Quais os efeitos de diferentes sítios, sistemas de restauração e estações na estrutura e na composição da fauna de serapilheira?

2) Quais são as características de estrutura, composição e de serapilheira dos sistemas em restauração florestal que melhor explicam a estrutura e a composição da fauna de serapilheira?

3) Aos 16 anos após a implantação do experimento, os sistemas em restauração florestal foram capazes de restaurar a estrutura e a composição da fauna de serapilheira, tendo como referência uma floresta conservada?

2. MATERIAL E MÉTODOS

A fauna associada à serapilheira (meso e macrofauna) foi amostrada no Sítio 1 e no Sítio 2, em todos os sistemas de restauração, sistema controle e florestas de referência e em duas épocas do ano.

2.1. Amostragem da fauna associada à serapilheira

A primeira amostragem foi realizada em setembro de 2012 (estação inverno/período seco) e a segunda em março de 2013 (estação verão/período chuvoso). Na Figura 10 apresentamos os valores de precipitação em diferentes períodos antes da amostragem, em que é possível observar clara diferença entre os períodos de amostragem no inverno (período seco) e no verão (período chuvoso).

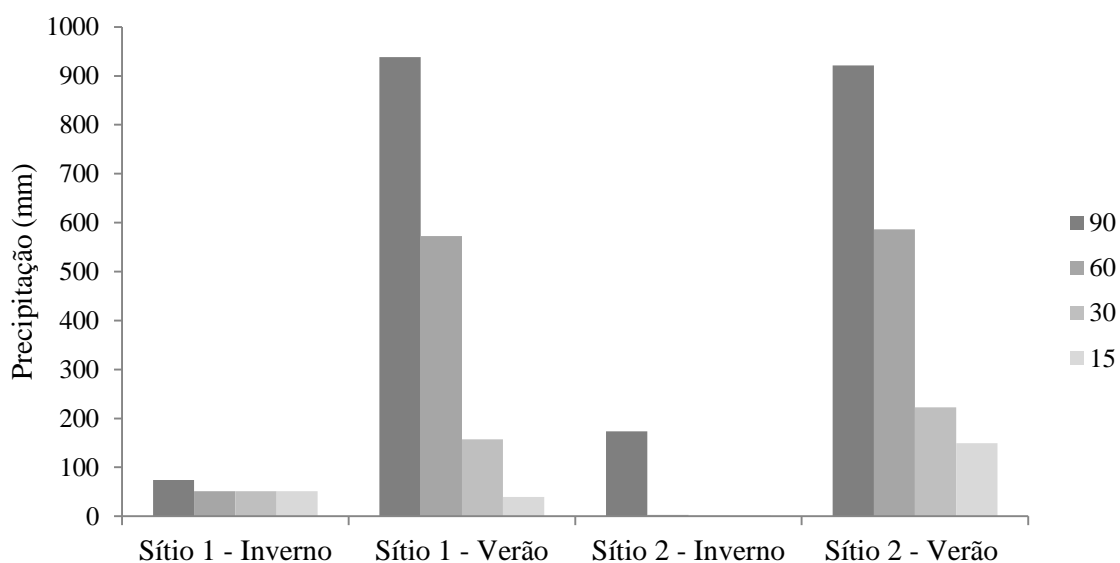


Figura 10. Valores de precipitação acumulada (mm) para os diferentes sítios e estações, nos dias que antecederam a amostragem da fauna de serapilheira (90, 60, 30 e 15 dias).

Para a amostragem da fauna, utilizamos como método de captura funis de Berlese-Tülgren, adaptado por Rodrigues et al. (2008). O método consiste em duas etapas: a coleta do material (serapilheira) e o processo de extração. Para a coleta da serapilheira, utilizamos um gabarito metálico de tamanho conhecido, 0,25 m de lado ($0,0625 \text{ m}^2$) (Figura 11). As amostragens em cada sítio foram realizadas imediatamente após o período de extração dos indivíduos. Em cada parcela (unidade amostral), realizamos

aleatoriamente duas coletas. Esse procedimento foi feito com o objetivo de melhor representar a unidade amostral. Todas as amostragens foram realizadas no período da manhã. Tivemos também o cuidado de amostrar todos os sistemas de um ou mais blocos no mesmo dia. No mesmo ponto de amostragem da fauna coletamos amostras do solo na profundidade de 0-10 cm para determinação da umidade.



Figura 11. Amostragem da fauna associada à serapilheira com auxílio de um gabarito metálico de 0,25 m lado, Botucatu, SP.

As amostras de serapilheira, depois de coletadas, foram encaminhadas ao laboratório, onde os indivíduos da fauna foram extraídos pelo método do funil de Berlese-Tülgren, durante sete dias (Figura 12). O método consiste em utilizar uma câmara de incubação, em que amostras de serapilheira, previamente coletadas, são acomodadas. Lâmpadas incandescentes de 40 Watts são colocadas sobre o funil como fonte geradora de luz e calor, que faz com que a fauna migre em profundidade. No interior da câmara são acopladas duas telas sobrepostas: a primeira de malha de 2 mm é de polietileno com três orifícios no formato de um quadrado com 20 mm de lado e a segunda é de arame galvanizado com malha de 5 mm. Essa composição de telas tem como função dar sustentação à amostra, impedir que partículas minerais e orgânicas a sujem e, ao mesmo tempo, permitir a passagem da fauna. O funil é posicionado embaixo da câmara de incubação e serve para conduzir os invertebrados até o recipiente coletor, que contém solução de formol a 4%, para sua fixação. Utilizam-se também telas para proteger as amostras contra insetos alados. Os indivíduos depois de extraídos foram postos em recipientes com álcool 70% para sua conservação.



Figura 12. Bateria de funis de Berlese-Tülgren utilizados para extração da fauna de serapilheira.

Os indivíduos capturados foram contados e identificados em grandes grupos taxonômicos, como classe, ordem ou família, baseado em Gallo et al. (1988) e Dindal (1990). Os procedimentos de contagem e identificação foram realizados no Laboratório de Fauna do Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Agrobiologia).

2.2. Densidade, índices ecológicos e grupos funcionais

Após contagem e identificação, somamos as duas amostras de cada parcela e convertemos o número de indivíduos para valores de densidade (ind.m²). Estimamos os índices de equidade de Pielou, de diversidade de Shannon-Wiener e de Fisher, por meio do programa PAST (HAMMER et al., 2001). A riqueza de grupos (S: riqueza rarefeita) foi estimada pela correção do índice alfa de Fisher (FISHER et al., 1943), para uma amostra de 100 indivíduos, a partir expressão:

$$S = \alpha \times \ln\left(1 + \frac{N}{\alpha}\right) \quad \text{Equação (4)}$$

em que: S= riqueza rarefeita para uma amostra de 100 indivíduos; α = índice de diversidade de Fisher (estimado por interações, com o uso do programa Past; N=número de indivíduos amostrados, fixado para 100).

Os grupos também foram classificados quanto ao seu hábito alimentar, reunindo grupos exclusivamente transformadores (isto é, herbívoros, saprófagos e detritívoros) e predadores (Tabela 9). Essa classificação seguiu os trabalhos de Moço et al. (2010), Correia (2014)⁶, Rousseau et al. (2014) e Moura et al. (2015).

Tabela 9. Classificação do hábito alimentar dos grupos exclusivamente transformadores e predadores da fauna associada à serapilheira.

Hábito alimentar	Grupos taxonômicos
Predadores	Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Hirudinea, Hymenoptera, Larva de Neuroptera e Pseudoscorpionida.
Transformadores	Archaeognata, Auchenorrhyncha, Blattodea, Diplopoda, Enchytraeidae, Gastropoda, Isopoda, Isoptera, Larva de Diptera, Larva de Lepidoptera, Lepidoptera, Oligochaeta, Orthoptera, Psocoptera, Sternorrhyncha, Symphyla e Thysanura.

2.3. Caracterização da serapilheira

A serapilheira utilizada na extração dos indivíduos, para cada período, foi retirada dos funis, sendo, posteriormente, secada e pesada, para quantificação do estoque de serapilheira (kg.m^2). Após pesagem, o material foi submetido às análises dos teores de C (carbono), N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (Magnésio) (TEDESCO et al., 1985). Também determinamos a relação entre carbono e nitrogênio (C:N).

2.4. Análise de dados

O experimento estudado faz parte de um grupo de experimentos, em que o delineamento é o mesmo em dois sítios com distintas características edáficas. Portanto, antes de inserirmos o sítio como um fator no modelo estatístico da análise de variância, foi necessário, inicialmente, checar a existência de homogeneidade de variâncias entre os sítios (teste de Bartlett; $p < 0,05$), conforme critério proposto por Pimentel-Gomes e Garcia (2002). Atendendo à premissa, prosseguimos com a análise; caso contrário, realizamos transformações dos dados (log ou raiz quadrada). Os modelos lineares (simples

⁶ CORREIA, M. E. F. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA - Agrobiologia). Comunicação pessoal, 2014.

ou mistos) foram compostos inicialmente por todos os fatores em estudo (sítio, sistema e estação) e suas interações, ou por todas as variáveis explicativas (características da comunidade vegetal e serapilheira) e pelas variáveis respostas. Para cada modelo, testamos, primeiramente, as premissas da análise de variância, como normalidade e homogeneidade da distribuição dos resíduos. A variável resposta foi transformada (log ou raiz quadrada) quando o modelo não atendeu aos pressupostos da análise de variância. Comparações múltiplas de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey a 5%.

A análise de variância multivariada (PERMANOVA) foi realizada com a utilização do software PRIMER (ANDERSON, 2001). Os demais procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software R versão 3.1.2 (R Development Core Team, 2015). Apresentamos, a seguir, os procedimentos estatísticos para cada questão em estudo:

1) Quais os efeitos de diferentes sítios, sistemas de restauração e estações na estrutura e composição da fauna de serapilheira?

Realizamos dois tipos de análises. O primeiro consistiu em comparar a densidade total de indivíduos, os índices ecológicos e os grupos funcionais entre os sistemas de restauração, em que utilizamos análises de variância e testes múltiplos de médias (Tukey a 5%). Nessa análise, todas as variáveis respostas atenderam à premissa de homogeneidade da variância entre os sítios, e, portanto, analisamos os sítios em conjunto. Para avaliar os efeitos de sítio, sistema, estação e suas interações na composição e estrutura da fauna de serapilheira, realizamos análises de variância de medidas repetidas, por meio de um modelo de efeito misto, com bloco, sítio, sistema, estação e suas interações como variáveis fixas e estação aninhada na parcela como variável aleatória (pacote nlme, função lme). Das variáveis resposta analisadas (densidade total de indivíduos, riqueza rarefeita, índice de Pielou, índice de Shannon, densidade de transformadores e densidade de predadores), transformamos a densidade total de indivíduos e a densidade de transformadores (raiz quadrada). Todos os modelos atenderam às premissas da análise de variância. Para ambas as análises de variância, os fatores que não tiveram efeitos significativos ($p > 0,05$) na variável resposta foram retirados do modelo, e, dessa forma, utilizamos o modelo mais simples na análise. As comparações múltiplas de médias foram feitas utilizando o teste de Tukey a 5%.

A segunda análise consistiu em verificarmos a similaridade na composição dos grupos taxonômicos entre os sistemas de restauração, nos dois sítios e nas

duas estações. A análise foi realizada a partir de matrizes de distâncias da densidade total de grupos que foram construídas utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis (CLARKE; WARNICK, 2001). Diferenças na composição de grupos entre sítios, sistemas, estações e interações foram checadas por meio de uma análise de variância multivariada com medidas repetidas (PERMANOVA), de acordo com Anderson (2001). Para uma melhor visualização dos resultados da PERMANOVA utilizamos como método de ordenação o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS: non-metric multidimensional scaling, pacote vegan, função metaMDS).

2) Quais são as características de estrutura, composição e de serapilheira dos sistemas em restauração florestal que melhor explicam a estrutura e a composição da fauna de serapilheira?

Realizamos dois tipos de análises. Nos dois tipos, utilizamos somente os sistemas de restauração nos dois sítios e nas duas estações. O primeiro tipo de análise consistiu em entender como as características da vegetação e da serapilheira influem nas variáveis de densidade total de indivíduos e riqueza rarefeita de grupos taxonômicos, a partir de relações diretas e/ou indiretas. Neste caso, utilizamos modelos de equações estruturais (SEM: structural equation models) ou análise de caminho (path analysis) (pacote Lavaan, função cfa: confirmatory factor analysis model). Nosso modelo conceitual se baseou na hipótese de que tanto as características da vegetação quanto as da serapilheira influem na estrutura e composição da fauna da serapilheira. Como o nosso número de repetições é pequeno ($n = 48$), nós testamos um modelo estrutural simples (poucas variáveis), em que selecionamos duas variáveis da vegetação: riqueza de espécies e porcentagem de indivíduos fixadores, e três variáveis da serapilheira: estoque de serapilheira, P (fósforo) e relação carbono/nitrogênio (C:N). Os critérios utilizados para seleção do melhor modelo, para cada variável resposta, basearam-se na análise do teste do qui-quadrado (χ^2), critério de informação de Akaike (AIC: Akaike information criterion), raiz do erro médio quadrático de aproximação (RMSEA: root mean square error of approximation) e o índice de qualidade do ajuste (GFI: goodness-of-fit index). Valores de qui-quadrado associados com $p > 0,05$, $RMSEA < 0,05$ e $GFI > 0,95$ indicam um bom ajuste do modelo (KLINE, 2010). Para facilitar a interpretação das análises de caminho, os valores dos coeficientes de caminhos, diretos e indiretos, foram padronizados (standardized), de acordo com Grace e Bollen (2005).

O segundo tipo de análise consistiu em identificar quais características da vegetação e da serapilheira melhor explicam a variação da composição dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira. Realizamos, para tanto, um procedimento multivariado, por meio de uma análise de redundância (RDA: redundancy analysis, pacote vegan, função rda). Na RDA, utilizamos como variáveis explicativas as características da vegetação: riqueza rarefeita, área basal, densidade de indivíduos e porcentagem de indivíduos decíduos e fixadores de nitrogênio; serapilheira: estoque de serapilheira e teores de C, N, P, K, Ca e Mg. As variáveis respostas foram as densidades dos grupos taxonômicos. As variáveis explicativas foram escalonadas para média zero e variância unitária, uma vez que possuem diferentes unidades de medida. As densidades dos grupos taxonômicos foram transformadas pela distância euclidiana de Hellinger, para reduzir a influência de grupos abundantes (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001). Realizamos, primeiramente, uma seleção de variáveis para compor o modelo (pacote vegan, função ordistep) para encontrar um modelo reduzido que melhor explicasse a variação na densidade dos grupos da fauna. As variáveis explicativas incluídas inicialmente no modelo, mas que, a partir da seleção de modelos, tiveram efeitos significativos e compuseram o modelo final da RDA foram: estoque de serapilheira e teor de Ca. A significância do modelo, das variáveis explicativas e dos eixos da RDA foi testada utilizando o teste de Monte Carlo, com, respectivamente, 200, 999 e 999 permutações.

Apresentamos os resultados das análises de correlação (Pearson; $p < 0,05$), após inicialmente checar os pressupostos da análise (Apêndices 16 e 17). Esse procedimento foi realizado para os dois sítios em conjunto.

3) Aos 16 anos após a implantação do experimento, os sistemas em restauração florestal foram capazes de restaurar a estrutura e a composição da fauna de serapilheira, tendo como referência uma floresta conservada?

Realizamos três tipos de análises. Os dois primeiros consistiram em comparar a densidade total de indivíduos, a riqueza rarefeita, o índice de Pielou, o índice de Shannon, a densidade de transformadores e a densidade de predadores entre os sistemas de restauração com o sistema controle (primeiro tipo) e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (segundo tipo). Para os dois tipos, as análises foram feitas separadamente para cada sítio e estação. No primeiro tipo, realizamos análises de variância, utilizando os fatores bloco e sistema (pacote car, função lm). As variáveis

atenderam às premissas da análise de variância e realizamos comparações múltiplas de médias com o teste de Tukey a 5%.

No segundo tipo, as comparações de médias entre cada sistema de restauração e a floresta de referência foram feitas utilizando o teste t de Student ($p < 0,05$). Nós calculamos também para cada variável as taxas de respostas dos sistemas de restauração (restaurado) comparados com o sistema controle [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e com a floresta de referência [$\ln(\text{restaurado}/\text{referência})$] (GUREVITCH; HEDGES, 2001). Optamos em apresentar no texto os valores médios da taxa de resposta, destacados quando apresentaram diferenças significativas pelos testes estatísticos ($p < 0,05$).

O terceiro tipo de análise consistiu em verificarmos a similaridade na composição dos grupos taxonômicos entre os sistemas de restauração, os sistemas controle e as florestas de referência, nos dois sítios e nas duas estações. A análise foi realizada a partir de matrizes de distâncias da densidade total de grupos, que foram construídas utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis (CLARKE; WARNICK, 2001). Diferenças na composição de grupos entre sítios, sistemas, estações e interações foram checadas por meio de uma análise de variância multivariada com medidas repetidas (PERMANOVA), de acordo com Anderson (2001). Para uma melhor visualização dos resultados da PERMANOVA utilizamos como método de ordenação o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS: non-metric multidimensional scaling, pacote vegan, função metaMDS).

3. RESULTADOS

3.1. Estrutura e composição da fauna de serapilheira dos sistemas de restauração, sistema controle e floresta de referência

Contabilizamos 14.373 indivíduos da macro e mesofauna de serapilheira, representada no Sítio 1 com 4.579 indivíduos no inverno (31,9%) e 4.076 (28,4%) no verão, e no Sítio 2 com 1.904 indivíduos no inverno (13,2%) e 3.814 (26,5%) no verão.

Os indivíduos foram classificados em 36 grupos taxonômicos, representados por 33 grupos no inverno e 31 no verão do Sítio 1, e 26 grupos no inverno e 31 no verão do Sítio 2. Os grupos taxonômicos dominantes, com composição relativa superior a 10%, foram Formicidae (31,2%), Acari (28,6%) e Entomobryomorpha (10,0%). Os grupos Coleoptera (6,6%), Thysanoptera (4,5%) e Larvas de Diptera (3,7%) apresentaram valores entre 3-10%. Os grupos com abundância entre 1-2% foram Araneae, Larva de Coleoptera, Lepidoptera, Diplopoda, Sternorrhyncha e Diptera, que juntos totalizaram 8,7%. Os 24 grupos restantes, com menos de 1% de composição, totalizaram 6,7% do total.

A variabilidade da densidade total de indivíduos e riqueza de grupos, representada pela porcentagem do erro padrão da média, indicou clara variação entre as estações nos dois sítios estudados (Figura 13 a, b). A variabilidade para os sistemas de restauração nas diferentes épocas e sítios encontra-se no Apêndice 6.

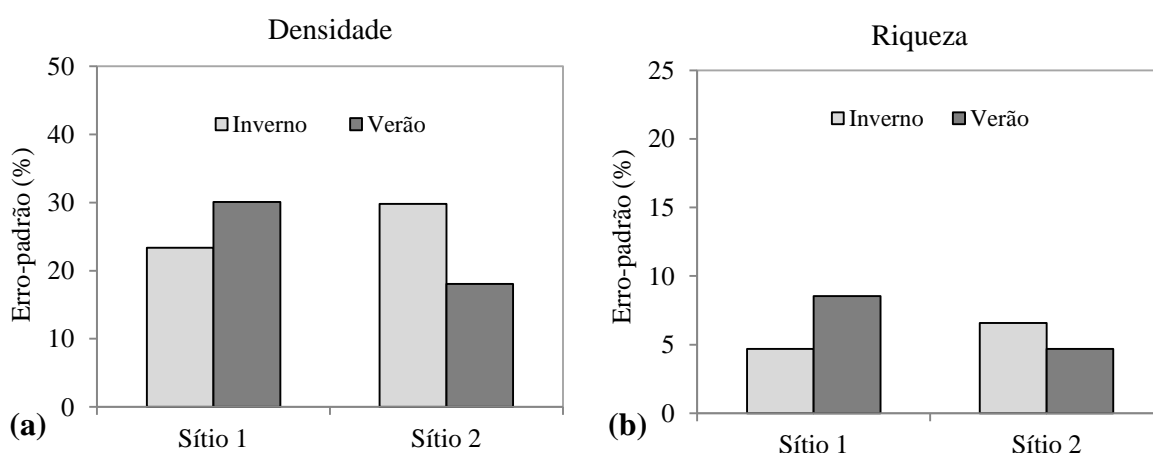


Figura 13. Variação sazonal do erro-padrão da densidade média (a) e da riqueza média (b) da fauna de serapilheira dos sistemas de restauração, nos diferentes sítios e épocas de amostragem. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo.

Alguns grupos taxonômicos foram exclusivos de um determinado sítio ou época, ou ainda do mesmo sítio nas duas épocas, como exemplo a presença no Sítio 1 de Archaeognata (1 indivíduo) no inverno e Thysanura (3 indivíduos) no verão. No Sítio 2, Hirudinea ocorreu no inverno (2 indivíduos) e verão (34 indivíduos), e Larva de Formicidae (2 larvas) ocorreu no inverno. Outros grupos não ocorreram em uma determinada época ou sítio, como Orthoptera que somente não foi encontrada no verão do Sítio 1 e Isoptera que não foi identificada no verão do Sítio 2. No inverno do Sítio 2, seis grupos não foram observados, sendo estes Chilopoda, Dermaptera, Larva de Neuroptera, Oligochaeta, Poduromorpha e Tricoptera.

Valores de densidade de indivíduos por grupo taxonômico (ind.m²), riqueza rarefeita (número de grupos), índice de Pielou (equidade) e índice de Shannon-Wiener (diversidade) nos diferentes sítios, sistemas e estações são apresentados nos Apêndices 7, 8, 9 e 10. No Apêndice 11, apresentamos a densidade de indivíduos dos grupos taxonômicos com composição relativa superior a 1%.

3.2. Sistemas de restauração

3.2.1. Densidade total de indivíduos, índices ecológicos e grupos funcionais

Os resultados da análise de variância de medidas repetidas indicam, de maneira geral, efeitos de sítio, estação e suas interações na composição da fauna de serapilheira, ao passo que não identificamos efeitos dos sistemas de restauração (Tabela 10).

Verificamos efeitos significativos da interação entre sítio e estação na densidade total de indivíduos ($F=4,63$; $p=0,043$) (Tabela 10), com densidade média maior no inverno do Sítio 1 (2.226 indivíduos), enquanto no inverno do Sítio 2 a densidade foi de 794 indivíduos (Figura 14).

Efeito puro de sítio ($F=5,28$; $p=0,031$) e estação ($F=9,39$; $p=0,011$) é observado na riqueza, com valor médio maior no Sítio 2 (13,29) do que no Sítio 1 (11,43), e no inverno (13,45) do que no verão (11,26) (Figura 15 a). Para a equidade de Pielou, verificamos somente efeito de sítio ($F=5,42$; $p=0,029$) (Tabela 10) com média superior no Sítio 2 (0,72) do que no Sítio 1 (0,65). Efeitos de sítio, sistema e estação não ocorreram na densidade de transformadores, densidade de predadores e diversidade de Shannon-Wiener (Tabela 10).

Tabela 10. Análise de variância dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações na densidade total de indivíduos, densidade de transformadores, densidade de predadores, riqueza rarefeita, índice de Pielou e no índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

Fonte de variação	Densidade total de indivíduos (ind.m ²)		Densidade de transformadores (ind.m ²)		Densidade de predadores (ind.m ²)	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Bloco	3,25	0,111	9,40	0,014	0,45	0,659
Sítio	8,36	0,008	0,99	0,328	0,63	0,434
Sistema (S)	0,49	0,700	0,16	0,919	1,59	0,287
Estação (E)	0,37	0,554	0,85	0,318	2,64	0,143
Sítio x S	--	--	--	--	--	--
Sítio x E	4,63	0,043	--	--	--	--
S x E	--	--	--	--	--	--
Sítio x S x E	--	--	--	--	--	--

Fonte de variação	Riqueza rarefeita (n° grupos)		Pielou (J)		Shannon-Wiener (H)	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Bloco	0,87	0,465	0,22	0,811	0,26	0,777
Sítio	5,28	0,031	5,42	0,029	2,94	0,099
Sistema (S)	1,86	0,238	1,09	0,420	1,46	0,316
Estação (E)	9,39	0,011	3,31	0,096	3,28	0,097
Sítio x S	--	--	--	--	--	--
Sítio x E	--	--	--	--	--	--
S x E	--	--	--	--	--	--
Sítio x S x E	--	--	--	--	--	--

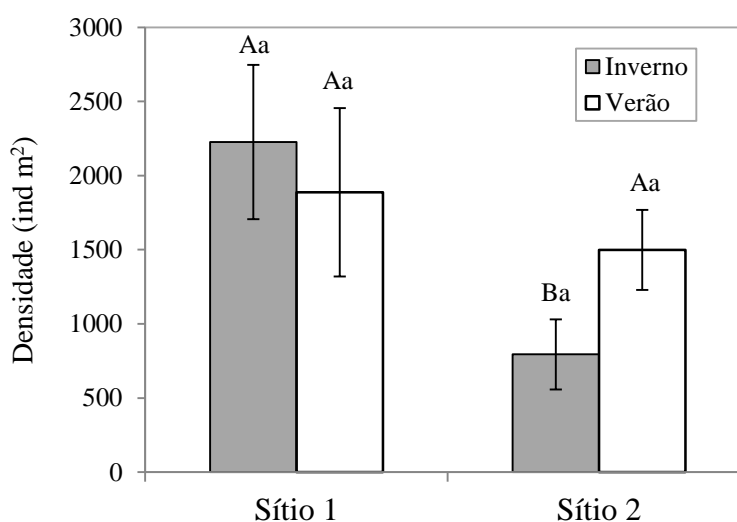


Figura 14. Efeitos de interação entre sítios e estações na densidade total de indivíduos (ind.m²) da fauna de serapilheira, em diferentes sistemas de restauração ecológica, Botucatu, SP. Letras iguais, maiúsculas entre sítios e minúsculas entre estações, não diferem estatisticamente (Tukey; $p < 0,05$).

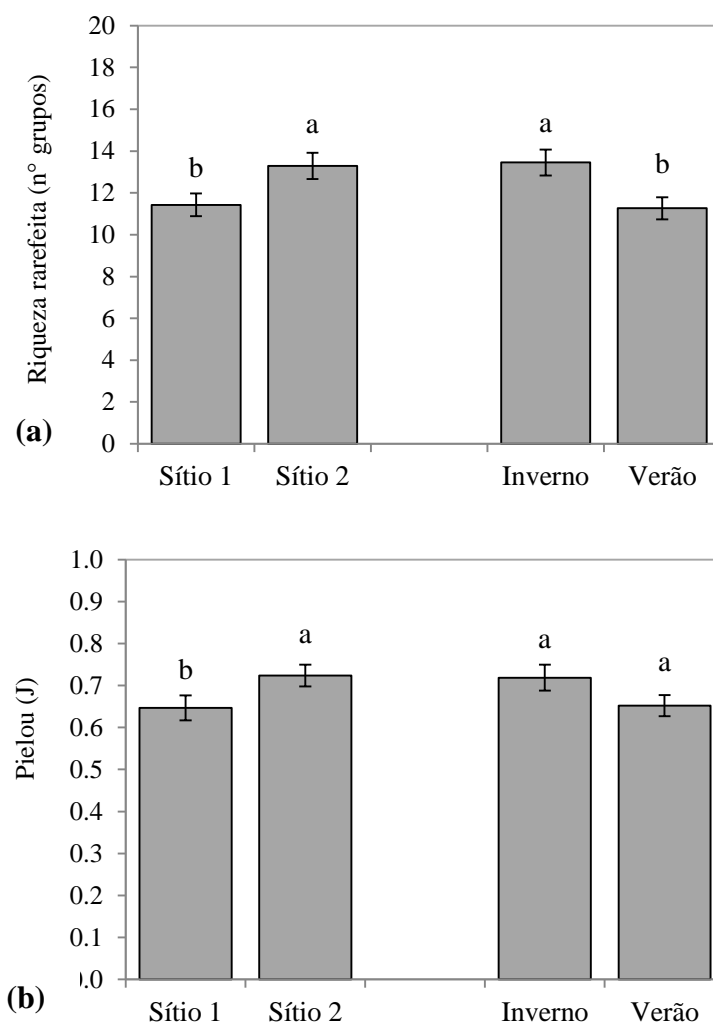


Figura 15. Efeitos de sítio e estação na riqueza rarefeita (a) e no índice de Pielou (b), da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, Botucatu, SP. Letras iguais, nas comparações entre sítios e estações, não diferem estatisticamente (Tukey; $p < 0,05$).

Em relação à proporção relativa dos grupos taxonômicos entre sítios e sistemas, verificamos maior número de grupos com maiores proporções no Sítio 1 (inverno e no verão) e no Sítio 2 no verão (Figura 16). As proporções relativas em cada sistema, sítio e época se encontram no Apêndice 11.

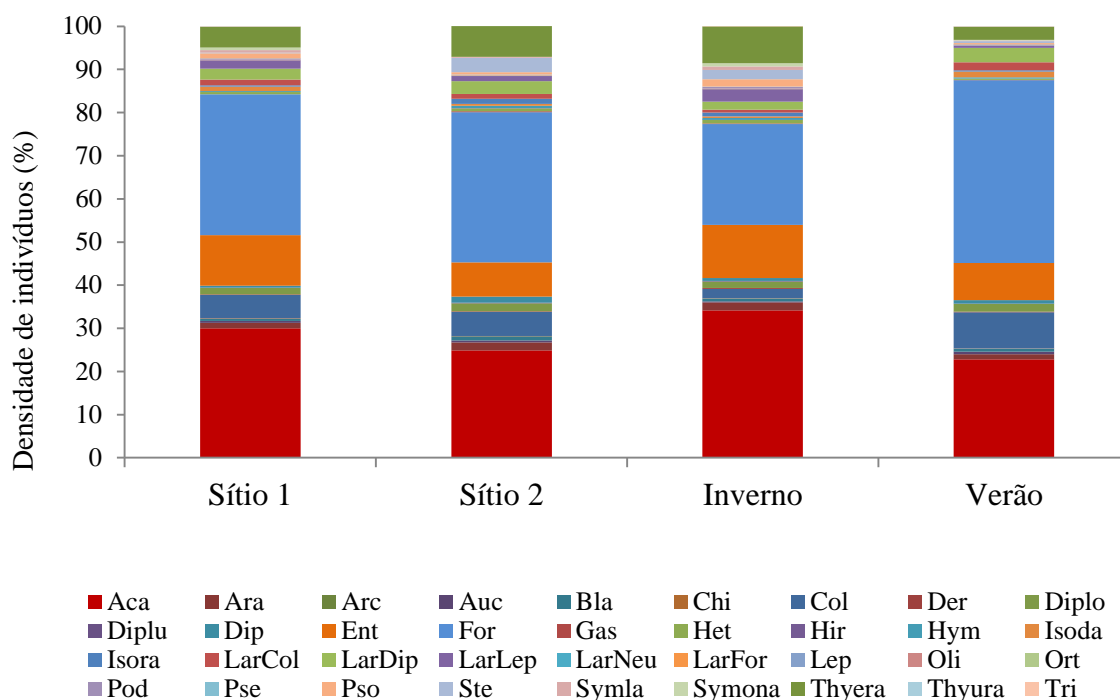


Figura 16. Densidade de indivíduos (%) dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira em sistemas de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hir: Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; LarFor: Larva de Formicidae; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera.

3.2.2. Relações entre as características da vegetação e da serapilheira com a densidade e a riqueza da fauna de serapilheira

Os efeitos diretos e indiretos das características da vegetação e serapilheira na fauna de serapilheira, realizada por meio de modelos de equações estruturais, indicaram um bom ajuste para a densidade total de indivíduos ($\chi^2=0,02$; G.L.=1; $p=0,883$; RMSEA<0,00; SRMR=0,004; GFI= 1,00) e para a riqueza de grupos da fauna ($\chi^2=0,02$; G.L.=1; $p=0,891$; RMSEA<0,00; SRMR=0,003; GFI=1,00). As variáveis da vegetação e serapilheira explicaram 75% da variação dos dados da densidade total de indivíduos (Figura 17) e 83% da riqueza rarefeita de grupos da fauna (Figura 18).

Para a densidade total de indivíduos da fauna, enquanto os teores de P e estoque de serapilheira influíram diretamente e positivamente na densidade de organismos da fauna, a riqueza de plantas e a relação C:N afetaram indiretamente, sendo para a riqueza constatados efeitos positivos e para a relação C:N efeitos positivos e negativos (Figura 17). Quando analisamos os efeitos totais dessas variáveis, verificamos que todas possuem efeitos positivos, sendo a ordem de importância: estoque de serapilheira (+) > fósforo (+) > riqueza de plantas (+) > relação C:N (+) (Tabela 11).

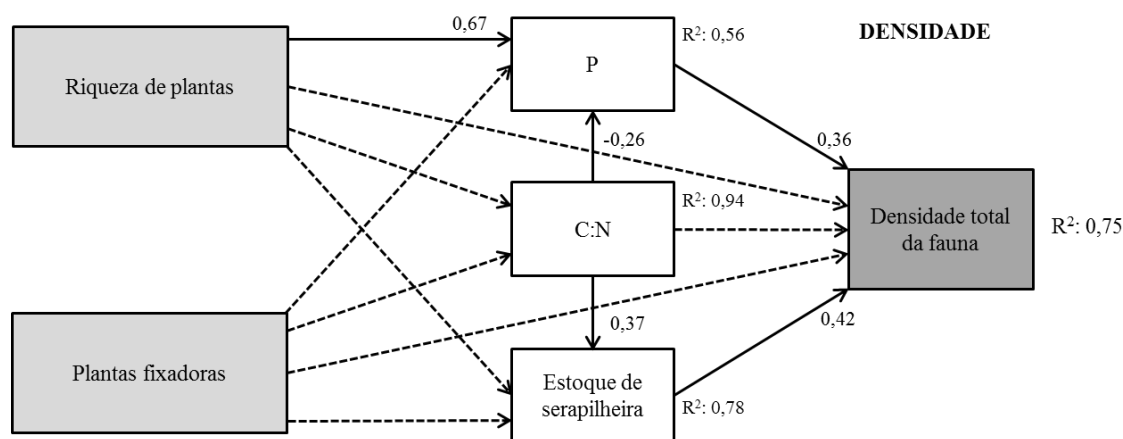


Figura 17. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características de vegetação e serapilheira dos sistemas em restauração na densidade total de indivíduos da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Linhas contínuas representam relações significativas ($p<0,05$) e linhas tracejadas representam relações não significativas ($p\geq 0,05$) (N=48). Os coeficientes de caminho são padronizados.

Para a riqueza de grupos da fauna, nossos resultados mostram efeitos diretos negativos dos teores de P e efeitos negativos indiretos via P também para a riqueza de plantas; ao passo que efeitos positivos indiretos via P foram verificados para a relação C:N (Figura 18). Os efeitos totais em ordem de explicação foram fósforo (-) > riqueza (-) > relação C:N (+) (Tabela 11).

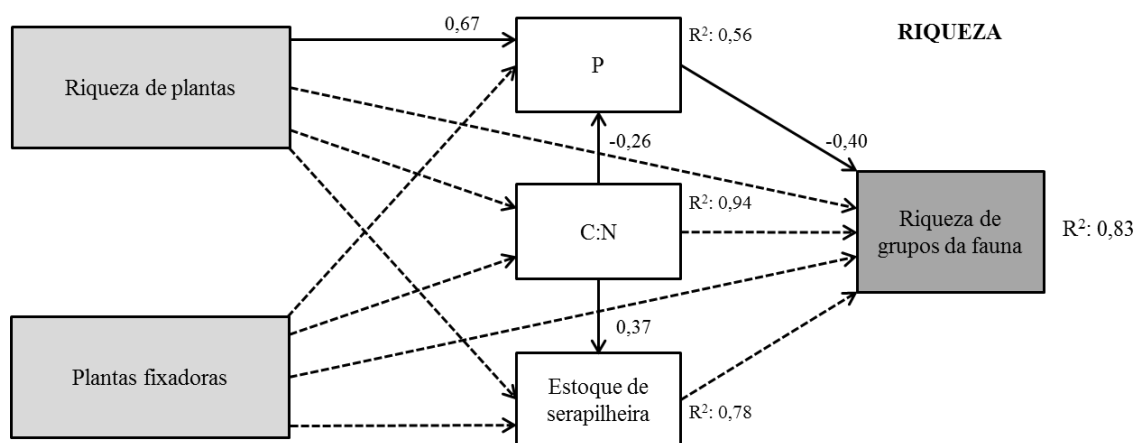


Figura 18. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características de vegetação e serapilheira dos sistemas em restauração na riqueza rarefeita da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Linhas contínuas representam relações significativas ($p < 0,05$) e linhas tracejadas representam relações não significativas ($p \geq 0,05$) ($N=48$). Os coeficientes de caminho são padronizados.

Tabela 11. Efeitos padronizados diretos, indiretos e totais das características da vegetação e serapilheira na densidade total de indivíduos e riqueza rarefeita da fauna, baseados no modelo de equação estrutural. (valores representam significância a 5%; ns: não significativo; N=48). Maiores detalhes são encontrados no Apêndice 12.

Variável resposta	Preditores	Caminho para a variável resposta	Efeito	
Densidade total da fauna	<i>Riqueza de plantas</i>	Direto	ns	
		Indireto via P	0,24	
		Indireto via C:N	ns	
		Indireto via estoque	ns	
		Indireto via C:N e P	ns	
		Indireto via C:N e estoque	ns	
		Efeito total	0,24	
		<i>Fixadoras</i>	Direto	ns
	Indireto via P		ns	
	Indireto via C:N		ns	
	Indireto via estoque		ns	
	Indireto via C:N e P		ns	
	Indireto via C:N e estoque		ns	
	Efeito total		ns	
	<i>Estoque de serapilheira</i>		Direto	0,42
		Efeito total	0,42	
	<i>Fósforo (P)</i>	Direto	0,36	
		Efeito total	0,36	
	<i>Relação C:N</i>	Direto	ns	
		Indireto via P	-0,09	
		Indireto via estoque	0,16	
		Efeito total	0,07	
		Riqueza de grupos da fauna	<i>Riqueza de plantas</i>	Direto
	Indireto via P			-0,27
	Indireto via C:N			ns
	Indireto via estoque			ns
	Indireto via C:N e P			ns
	Indireto via C:N e estoque			ns
Efeito total	-0,27			
<i>Fixadoras</i>	Direto			ns
	Indireto via P		ns	
	Indireto via C:N		ns	
	Indireto via estoque		ns	
	Indireto via C:N e P		ns	
	Indireto via C:N e estoque		ns	
	Efeito total		ns	
	<i>Estoque de serapilheira</i>		Direto	ns
Efeito total			ns	
<i>Fósforo (P)</i>	Direto		-0,40	
	Efeito total		-0,40	
<i>Relação C:N</i>	Direto		ns	
	Indireto via P		0,10	
	Indireto via estoque		ns	
	Efeito total		0,10	

3.2.3. Similaridade na composição de grupos taxonômicos

A análise de variância multivariada de medidas repetidas (PERMANOVA) indica efeitos significativos puros e de interações para sítio e estação na similaridade da composição dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira ($p < 0,05$) (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância multivariada de medidas repetidas (PERMANOVA) dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações na composição de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=48$).

Fonte de variação	GL	pseudo-F	p-valor
Sítio	1	2,46	0,0307
Sistema	3	0,87	0,6267
Estação	1	4,45	0,0015
Sítio x Sistema	3	0,63	0,9051
Sítio x Estação	1	3,41	0,0077
Sistema x Estação	3	0,77	0,7517
Parcela (Sítio x Sistema)	16	1,05	0,3987
Sítio x Sistema x Estação	3	0,53	0,9614
Resíduo	47		

As médias de similaridade de grupos revelaram diferenças entre os sítios no inverno ($t=2,58$; $p=0,0001$), ao passo que no verão não verificamos diferenças ($t=1,10$; $p=0,2623$). Entre estações ocorreram diferenças em ambos os Sítios (Sítio1: $t=2,03$, $p=0,0032$; Sítio 2: $t=2,58$, $p=0,0012$). Essas diferenças podem ser mais bem visualizadas na Figura 19, em que é possível observamos claramente a formação de dois grupos, sendo um composto somente pelo Sítio 2 no inverno, e o outro pelo Sítio 1 no verão e no inverno, e Sítio 2 no verão.

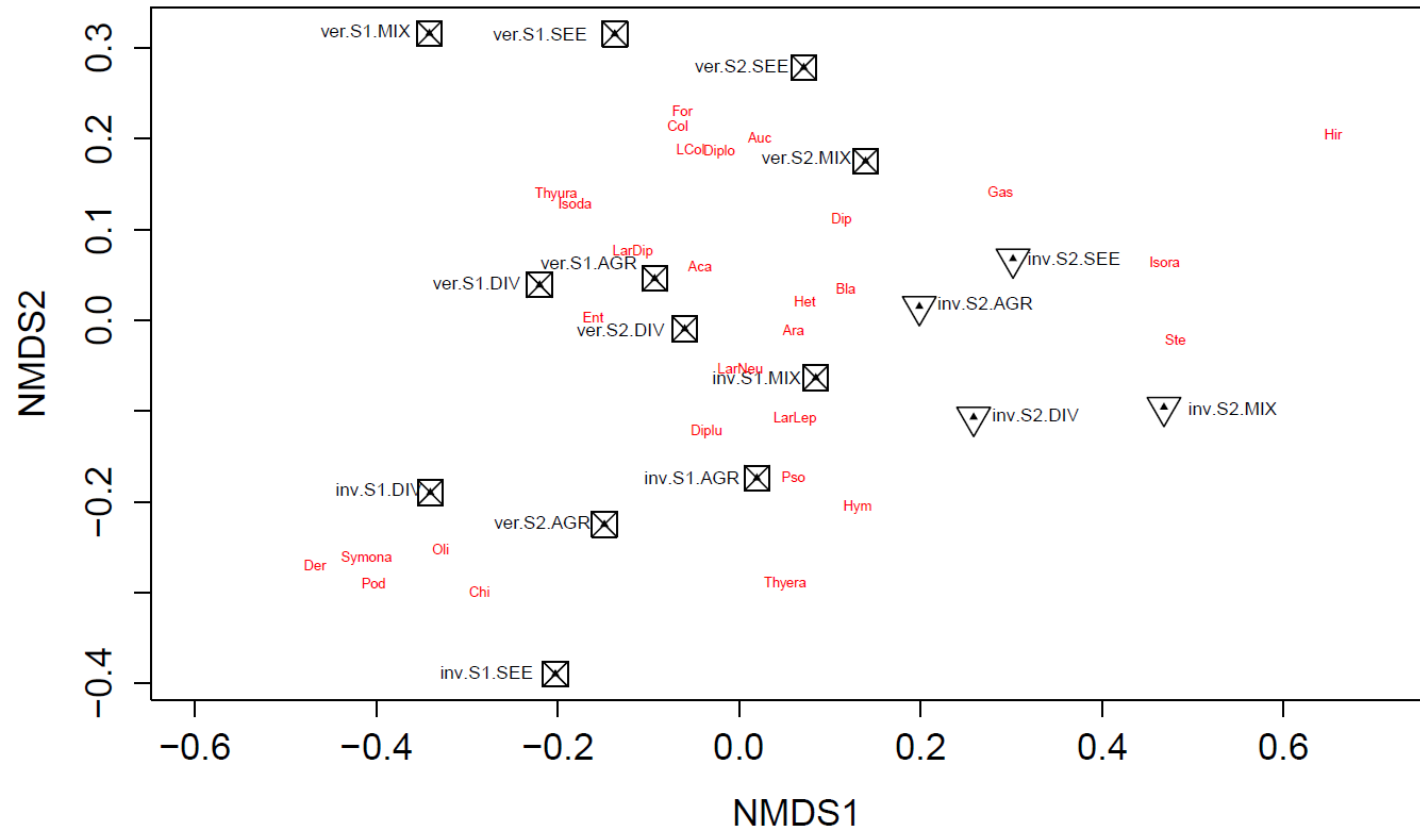


Figura 19. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) utilizando a densidade média de indivíduos (ind.m^2) por grupo taxonômico da fauna de serapilheira e os fatores de sítio, sistemas de restauração e estação. Stress = 0,177; ajuste não-métrico, $R^2 = 0,969$; ajuste linear, $R^2 = 0,813$, $N=16$. Legenda: inv.: inverno; ver.: verão; S1: Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); S2: Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hir: Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera. Os dois símbolos (grupos) na figura foram obtidos a partir do método de agrupamento de médias não ponderadas com média aritmética (UPGMA).

3.2.4. Efeitos das características da vegetação e da serapilheira na densidade de grupos taxonômicos

A análise de redundância (RDA) dos efeitos de todas as variáveis da vegetação e serapilheira na densidade dos grupos taxonômicos da fauna, explicou 26,13% na variação da densidade dos grupos. O estoque de serapilheira e o teor de Ca, variáveis selecionadas pelos modelos, explicaram 9,26% na variação da densidade, e tiveram efeitos significativos. Da mesma forma, verificamos efeitos significativos para os dois eixos da RDA (RDA1 e RDA2) (Tabela 13); a RDA1 com proporção de explicação de 6,03% e a RDA2 de 3,23.

Tabela 13. Resumo da análise de redundância (RDA) dos efeitos das características da vegetação e serapilheira estocada, de diferentes sistemas de restauração ecológica, na densidade de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

Fonte de variação	GL	F	p-valor
Modelo	2	2,30	0,002
Resíduo	45		
Serapilheira estocada	1	1,61	0,074
Cálcio (Ca)	1	2,94	0,002
Resíduo	45		
RDA1	1	2,99	0,004
RDA2	1	1,60	0,087
Resíduo	45		

A primeira RDA (RDA1 = 64,7%) foi representada pelos teores de Ca e a RDA2 (35,3%) pela quantidade de serapilheira estocada (Figura 20). Além da influência dessas variáveis é necessário ressaltar que os teores de Ca se correlacionaram fortemente com os teores de P. Dessa forma, ao longo da RDA1, Coleoptera (Col), Larva de Coleoptera (LCol), Isopoda (Isoda), Larva de Diptera (LarDip) e Acari (Aca) estão associados fortemente com os teores de Ca e P; enquanto Entomobryomorpha (Ent), Symphyla (Symla), Symphypleona (Symona), Diplopoda (Diplo) e Formicidae (For) com a quantidade de serapilheira. Outros grupos se relacionaram negativamente com os teores de Ca e P como Sternorrhyncha (Ste) e Thysanoptera (Thyera), e com os valores do estoque como Coleoptera (Col). Também destacamos a associação do grupo de aranhas (Aranae) no inverno do Sítio 2 (Figura 20).

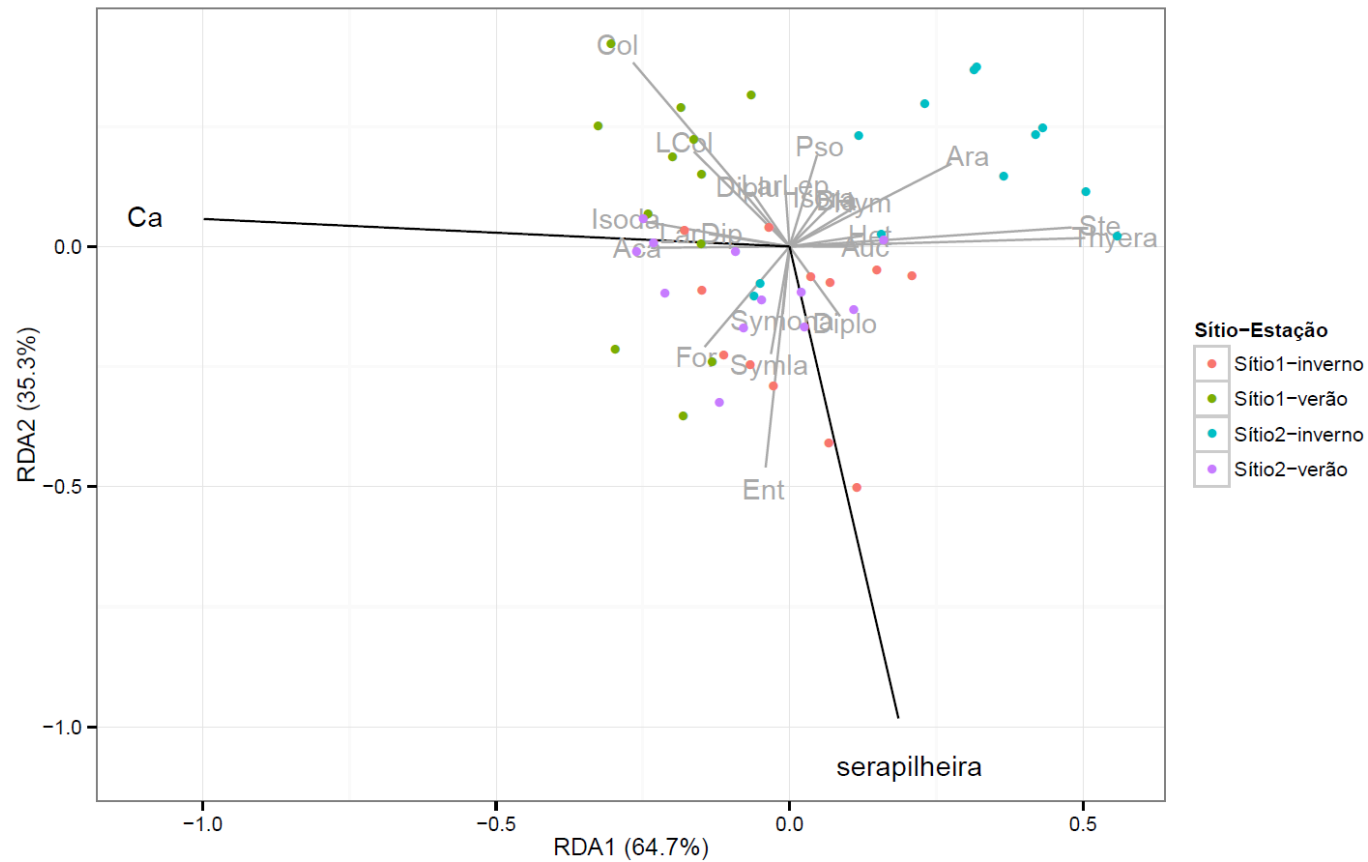


Figura 20. Diagrama de ordenação da análise de redundância (RDA) baseada nos efeitos da quantidade de serapilheira estocada e teores de Ca (9,26%) na densidade de grupos taxonômicos (ind.m^2), em diferentes sistemas de restauração, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. (N=48). Legenda: Aca: Acari; Ara: Araneae; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera.

3.3. Comparações dos sistemas de restauração com o sistema controle e com a floresta de referência

3.3.1. Taxas de resposta para a densidade total de indivíduos, índices ecológicos e grupos funcionais

As comparações entre os sistemas de restauração e o sistema controle, expressos pela taxa de resposta (Tabela 14), não apontaram diferenças significativas para qualquer variável da fauna ($p \geq 0,05$), nos diferentes sítios e estações estudadas.

Tabela 14. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] da densidade total de indivíduos, riqueza rarefeita, índice de Pielou, índice de Shannon-Wiener, densidade de transformadores e densidade de predadores da fauna de serapilheira, entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Não houve diferenças entre os sistemas de restauração e o sistema controle (Tukey; $p < 0,05$).

	Densidade total	Riqueza rarefeita	Pielou (J)	Shannon-Wiener (H)	Densidade de transformadores	Densidade de predadores
Sítio 1 - Inverno						
SEM-CON	0,77	-0,22	0,16	0,09	0,55	0,56
AGR-CON	0,11	-0,15	0,24	0,15	0,73	0,61
CML-CON	0,77	-0,14	-0,01	0,01	0,82	0,08
DIV-CON	0,71	0,01	0,14	0,19	1,17	0,56
Sítio 1- Verão						
SEM-CON	0,54	-0,14	-0,21	-0,31	-1,06	-1,04
AGR-CON	-0,21	0,26	0,04	0,10	-0,60	0,06
CML-CON	0,51	-0,30	-0,38	-0,50	-1,89	-0,89
DIV-CON	-0,23	-0,14	-0,13	-0,23	-1,27	-0,53
Sítio 2- Inverno						
SEM-CON	0,47	0,31	0,03	0,13	0,10	-0,24
AGR-CON	-0,27	0,34	0,11	0,20	-0,26	-0,07
CML-CON	-0,57	0,43	0,19	0,27	0,61	-0,34
DIV-CON	0,37	0,34	0,12	0,23	0,65	-0,15
Sítio 2 - Verão						
SEM-CON	-0,16	-0,02	0,03	0,00	0,21	-2,53
AGR-CON	-0,46	0,25	0,23	0,28	-0,02	-0,33
CML-CON	-0,34	0,08	0,22	0,23	0,16	-0,65
DIV-CON	-0,02	0,23	0,16	0,18	0,30	-0,58

As comparações mostram que os sistemas de restauração estão aquém da floresta de referência apenas no Sítio 1 (Tabela 15). No inverno, para todas as variáveis da fauna os sistemas AGR e DIV se assemelharam com a REF. Diferindo desse resultado, constatamos respostas significativas negativas no valor médio do índice de Shannon-Wiener ($t= 6,34$; $p= 0,003$) entre SEM-REF e diferença significativa negativa da densidade de predadores entre CML-REF ($t=-3,73$; $p= 0,02$). No verão encontramos também diferença entre SEM-REF, com densidade de predadores superior na referência ($t=6,93$; $p=0,02$) (Tabela 15). Os demais sistemas se assemelharam com a referência (Tabela 15).

Tabela 15. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado/referência})$] da densidade total de indivíduos, riqueza rarefeita, índice de Pielou, índice de Shannon-Wiener, densidade de transformadores e densidade de predadores da fauna de serapilheira entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado) e a referência (REF), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito (teste t; $p<0,05$).

	Densidade total	Riqueza rarefeita	Pielou (J)	Shannon-Wiener (H)	Densidade de transformadores	Densidade de predadores
Sítio 1 - Inverno						
SEM - REF	0,20	-0,18	-0,06	-0,18	-0,65	-0,81
AGR - REF	-0,47	-0,11	0,03	-0,11	-0,47	-0,76
CML - REF	0,20	-0,10	-0,22	-0,25	-0,38	-1,29
DIV - REF	0,13	0,05	-0,08	-0,07	-0,03	-0,81
Sítio 1- Verão						
SEM - REF	0,36	-0,14	0,01	-0,12	0,19	-1,10
AGR - REF	-0,39	0,26	0,25	0,29	0,65	0,00
CML - REF	0,33	-0,30	-0,17	-0,31	-0,64	-0,94
DIV - REF	-0,41	-0,14	0,09	-0,03	-0,02	-0,59
Sítio 2- Inverno						
SEM - REF	-0,01	0,08	-0,08	-0,10	-0,43	-0,44
AGR - REF	-0,76	0,12	0,00	-0,03	-0,79	-0,27
CML - REF	-1,05	0,21	0,08	0,04	0,09	-0,53
DIV - REF	-0,12	0,12	0,01	0,00	0,13	-0,35
Sítio 2 - Verão						
SEM - REF	-0,35	-0,17	-0,12	-0,23	0,27	-3,37
AGR - REF	-0,66	0,10	0,08	0,05	0,04	-1,17
CML - REF	-0,53	-0,06	0,07	0,01	0,22	-1,50
DIV - REF	-0,21	0,09	0,01	-0,05	0,36	-1,42

3.3.2. Similaridade na composição de grupos taxonômicos

A PERMANOVA para todos os sistemas, da mesma forma que a análise somente para os sistemas (sistemas de restauração, sistema controle e referência), indica efeitos puros e de interações entre sítio e estação (Tabela 16). As médias de similaridade de grupos também mostraram resultados semelhantes, com diferenças significativas entre os sítios no inverno ($t=2,21$; $p=0,0111$), e entre as estações para o Sítio 1 (sítio1; $t=1,74$; $p=0,0225$) e para o Sítio 2 ($t=2,58$; $p=0,0012$). Já no verão não verificamos diferenças entre os sítios ($t=1,14$; $p=0,2399$).

Tabela 16. Resumo da análise de variância multivariada (PERMANOVA) de medidas repetidas dos efeitos de sítio, sistemas florestais (sistemas de restauração, sistema controle e referência), estação e interações na composição de grupos taxonômicos da fauna de serapilheira, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p<0,05$).

Fonte de variação	GL	pseudo-F	p-valor
Sítio	1	2,88	0,0126
Sistema	5	1,42	0,0605
Estação	1	6,16	0,0001
Sítio x Sistema	5	0,92	0,6087
Sítio x Estação	1	5,14	0,0003
Sistema x Estação	5	0,91	0,6300
Parcela (Sítio x Tratamento)	24	1,10	0,2455
Sítio x Sistema x Estação	5	0,74	0,8816
Resíduo	24		

A inclusão dos sistemas controle e referência na análise visual da similaridade de grupos também não influenciou na formação dos grupos, em que ainda podemos observar nitidamente a formação de dois grupos, sendo um composto somente pelo Sítio 2 no inverno, e o outro pelo Sítio 1 no verão e no inverno e Sítio 2 no verão (Figura 21).

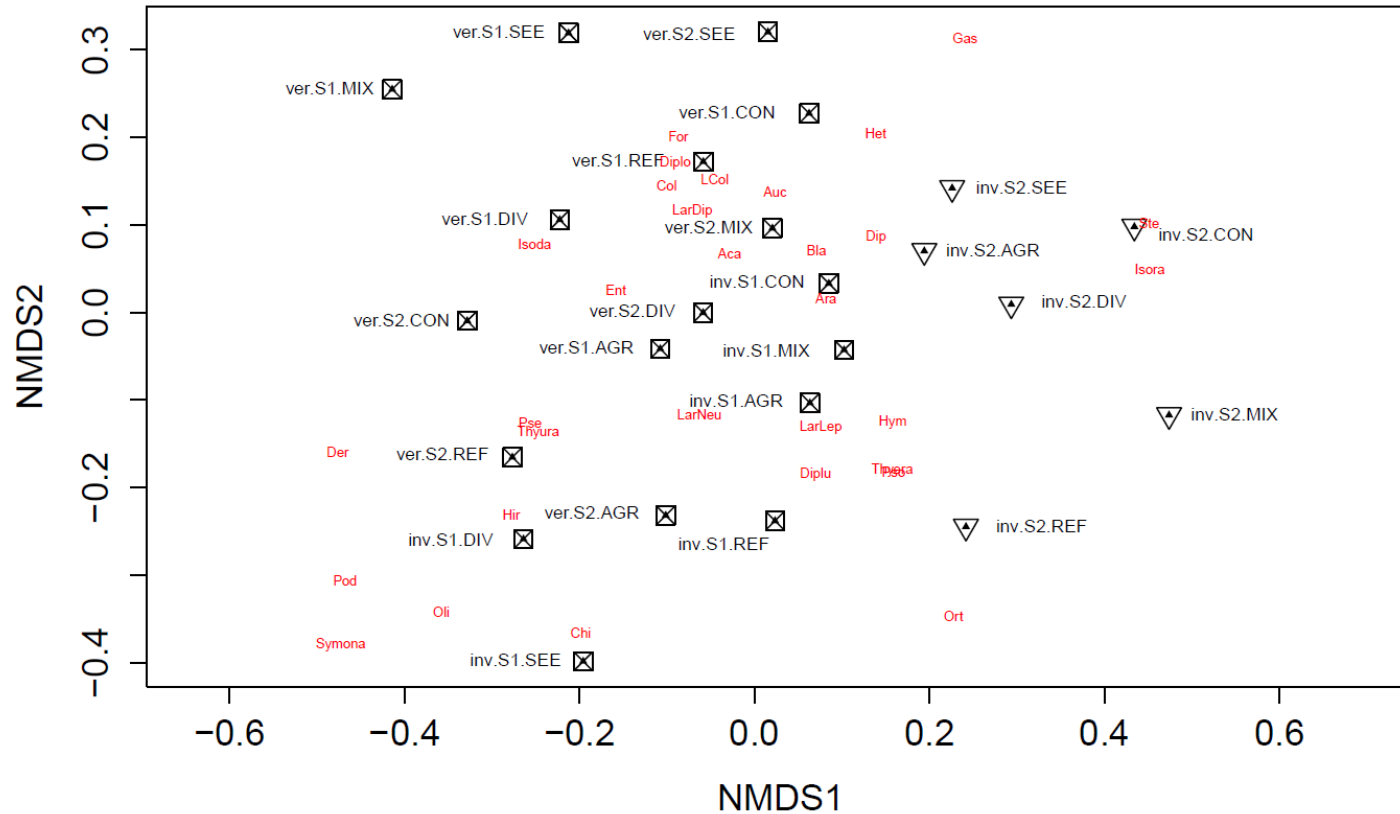


Figura 21. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) utilizando a densidade média de indivíduos por grupo taxonômico da fauna de serapilheira e os fatores de sítio, sistemas de restauração, sistema controle, referência e estação. Stress = 0,198; ajuste não-métrico, $R^2 = 0,961$; ajuste linear, $R^2 = 0,778$, $N=24$. Legenda: inv: inverno; ver: verão; S1: Sítio 1 (Nitossolo Vermelho); S2: Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo); CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: referência. Aca: Acari; Ara: Araneae; Arc: Archaeognata; Au: Auchenorrhyncha; Bla: Blattodea; Chi: Chilopoda; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Het: Heteroptera; Hir: Hirudinea; Hym: Hymenoptera; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarFor: Larva de Formicidae; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de Neuroptera; Lep: Lepidoptera; Oli: Oligochaeta; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symona: Symphypleona; Thyera: Thysanoptera; Thyura: Thysanura; Tri: Tricoptera. Os dois símbolos (grupos) na figura foram obtidos a partir do método de agrupamento de médias não ponderadas com média aritmética (UPGMA).

4. DISCUSSÃO

Investigamos os efeitos da composição e estrutura de sistemas florestais em processos de restauração na estruturação da fauna de serapilheira em dois sítios com características edáficas contrastantes, em duas épocas do ano (seca e chuvosa). Hipotetizamos que sistemas florestais com maior número de espécies vegetais e com maior número de espécies potencialmente fixadoras de nitrogênio apresentariam fauna mais bem estruturada, devido os efeitos que essas características da vegetação possuem na disponibilização de recursos para esses organismos. Da mesma forma, esperávamos encontrar melhor estruturação da fauna em solos com maior fertilidade natural, bem como na época chuvosa, devido também à disponibilidade de recursos. Contudo, nossos resultados indicaram que as características edáficas do sítio (química e física) e a sazonalidade são determinantes na estruturação da fauna, e não as características da comunidade vegetal.

4.1. Sistemas de restauração: densidade total de indivíduos e índices ecológicos

Nossos resultados mostraram que o sítio e a sazonalidade são os principais fatores com influência na densidade de organismos e na diversidade da fauna do solo. A densidade total da fauna diferiu entre os sítios no inverno, com valor duas vezes superior no Sítio 1 (2.226 ind.m²) quando comparado com o Sítio 2 (794 ind.m²), o que está de acordo com estudos realizados em florestas secundárias do bioma Mata Atlântica (AQUINO et al., 2008). Esperávamos encontrar diferenças também entre as épocas dentro de cada sítio, já que a sazonalidade está associada com alterações na disponibilidade de recursos para esses organismos, como, por exemplo, água e serapilheira. No entanto, nossos resultados não indicaram diferenças entre as épocas para um mesmo sítio, o que pode estar relacionado com a variabilidade dos valores de densidade entre as repetições, o que é comum nesse tipo de estudo (MENEZES et al., 2009).

Com o intuito de melhor entender a variabilidade dos dados, alguns estudos têm analisado essa variação sazonal da densidade com a interpretação do erro padrão da média da densidade (MENEZES et al., 2009; CUNHA-NETO et al., 2012). Ambos os estudos demonstraram para os sistemas florestais maior erro-padrão na época seca. O aumento no erro padrão pode ocorrer por uma maior agregação de indivíduos, seja pela alteração

sazonal na distribuição de recursos, em que pode ter ocorrido zonas de acumulação de recursos, seja por efeito de reprodução. De fato, quando analisamos a porcentagem do erro-padrão da média (Figura 13), verificamos tendência de aumento no inverno do Sítio 2, em consonância com os estudos supracitados que também foram realizados em florestas estacionais semidecíduais. Por outro lado, no Sítio 1, ocorreu resultado contrário, indicando maior erro-padrão no verão. Segundo Bardgett (2005), os padrões temporais da fauna são complicados de serem avaliados pelo fato de que muitos organismos do solo podem sofrer longos períodos de inatividade quando as condições são favoráveis, permitindo-lhes tolerar períodos de condições severas de solo. No entanto, acreditamos que as diferenças encontradas estejam, possivelmente, relacionadas a motivos diferentes. Enquanto no Sítio 2, provavelmente, as maiores densidades de zonas com acumulação de recursos ocorreram devido ao aporte de serapilheira, que no inverno é alto, pelo fato de os sistemas aportarem maior quantidade de serapilheira (Capítulo 1); no Sítio 1, possivelmente, o fator água seja o responsável pela maior variabilidade ocorrida, devido aos altos valores de precipitação e a textura argilosa do solo.

Com relação às diferenças de densidade encontradas entre os sítios no inverno, acreditamos que a umidade do solo seja a principal responsável por essas diferenças, uma vez que encontramos valor de 27,5% no Sítio 1 e de 3,5% no Sítio 2. A maior umidade no Sítio 1 está relacionada com a textura argilosa e, mesmo que nessa época não tenham ocorridos eventos significativos de precipitação, é possível que a textura tenha influenciado no armazenamento de água no solo. Os Nitossolos formam agregados estáveis, que possuem a capacidade de reter água, e com isso podem estar favorecendo o desenvolvimento dos organismos. Outros estudos também têm mostrado o efeito da água do solo na densidade da fauna (MOÇO et al., 2005; CUNHA-NETO et al., 2012; WU, et al., 2014; MACHADO et al., 2015). Machado et al. (2015), ao estudarem a dinâmica da fauna de serapilheira em diferentes estádios sucessionais da floresta estacional semidecidual, associaram a maior atividade da fauna ao período com maior precipitação, sendo os resultados independentes da época de amostragem, já que encontraram maior quantidade de organismos no inverno. Por outro lado, se o inverno for seco, pode ter influência negativa na densidade de indivíduos, em que a fauna pode ter suas populações afetadas por ação de ventos, removendo a serapilheira e favorecendo a dessecação desses animais (COLEMAN et al., 2004). Cabe ressaltar que as espécies

utilizadas nos plantios são em sua maioria decíduas, perdendo grande parte das folhas no período seco, o que pode ter favorecido ainda mais a ação dos ventos na população dos organismos.

Além da influência da umidade, principalmente no inverno, nossos resultados da análise de equações estruturais mostraram efeitos positivos do estoque de serapilheira, teores de P, riqueza de plantas e relação C:N na densidade da fauna, ambos com influência positiva. Por meio dessa análise, nossos resultados sugerem que os maiores estoques de serapilheira e os teores de fósforo (diretamente e sob influência da riqueza de plantas) tenham favorecido a colonização e o desenvolvimento da fauna como um todo, ao criarem, por exemplo, melhores condições microclimáticas (temperatura e umidade) e de recurso alimentar (TEWS et al., 2004). Já no Sítio 2, as condições são mais limitantes ao desenvolvimento da fauna, principalmente no que tange ao acúmulo de água no solo, e isso refletiu em uma menor densidade de organismos. No entanto, mesmo que não tenhamos encontrado diferenças entre as épocas, principalmente pela alta variação entre as repetições, nossos resultados mostraram que o verão apresentou densidade quase duas vezes maior que o inverno, o que pode estar relacionado também com a quantidade de água. Além disso, verificamos correlações positivas entre os teores de P e a densidade total de organismos. Os efeitos positivos da serapilheira e P na densidade da fauna também têm sido constatados em outros estudos (MCGLYNN et al., 2009; SAYER et al., 2010; ASFORD et al., 2013), mas ainda não existe uma explicação plausível sobre essas relações. Acreditamos que os teores de P da serapilheira, possivelmente, tenham afetado indiretamente a densidade de indivíduos da fauna como os micrófagos, ao influir diretamente na colonização de microrganismos decompositores, que são mais associados com a decomposição da serapilheira.

Com relação aos índices ecológicos, nossos resultados mostraram que o Sítio 2 possui uma fauna de serapilheira mais biodiversa e com maior equidade. Também verificamos efeitos da sazonalidade na riqueza, com maior número de grupos no inverno. Quando analisamos os efeitos da vegetação e da serapilheira na riqueza de grupos da fauna, nossos resultados mostraram que, diferentemente dos efeitos positivos encontrados para a densidade, a quantidade de P e a riqueza de plantas influíram negativamente na riqueza da fauna. Já a relação C:N teve a mesma resposta encontrada para a densidade, com efeitos positivos. Diante disto, nossos resultados sugerem que as condições naturais do Sítio 1, ao

favorecer a produção de serapilheira de melhor qualidade (Capítulo 1), têm favorecido um maior pool de um maior número de grupos e possivelmente têm implicado em menor riqueza; por outro lado as condições “mais limitantes” do Sítio 2 e a estação inverno podem não estar contribuindo para o desenvolvimento das populações e isso tem levado a uma maior diversidade. De fato, constatamos no Sítio 1 um maior número de grupos com maior densidade que no Sítio 2 (Figura 16).

O efeito da diversidade de plantas na diversidade da fauna do solo tem sido associado às melhorias que um maior número de espécies proporcionaria, por meio de um aporte de serapilheira diversificado (TEWS et al., 2004) e/ou por raízes com diferentes características morfológicas (BARDGETT, 2005), ambas criando maiores nichos potenciais e modos de exploração de recursos pela fauna. Embora trabalhos tenham apontado efeitos positivos da diversidade de plantas (LAOSSI et al., 2008; MENEZES et al., 2009; MACHADO et al., 2015) e características particulares das espécies, como a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (LAOSSI et al., 2008; MANHAES et al., 2013), nossos resultados não mostraram efeitos positivos da riqueza de plantas na riqueza de grupos da fauna, tampouco verificamos quaisquer efeitos da proporção de indivíduos fixadores. Nossos resultados sugerem que o efeito negativo da riqueza ou a ausência de efeitos da riqueza possa ter ocorrido por dois motivos: primeiro, por sua forte influência indireta nos teores de P, o que pode ter levado não em uma diversificação de nichos, mas sim em ambientes com características para a proliferação de poucos grupos; segundo, pela quantidade de serapilheira estocada, que não diferiu entre os sítios e épocas de amostragem (ver Apêndices 13, 14 e 15).

Acreditávamos, em um primeiro momento, que a estruturação da fauna seria influenciada tanto pelas características da vegetação, que são diferentes entre os sistemas de restauração e que também influíram diferencialmente nas produções de serapilheira e nutrientes, quanto pelas épocas e sítios analisados, que apresentam diferenças contrastantes. No entanto, nossos resultados indicaram que a sazonalidade e as características do sítio são determinantes na estruturação desses organismos, e que tanto sistemas menos complexos estruturalmente quanto sistemas mais complexos possuem efeitos semelhantes na estruturação desses organismos.

4.2. Sistemas de restauração: similaridade e densidade de grupos taxonômicos

A similaridade da composição de grupos da fauna de serapilheira mostrou o mesmo resultado encontrado para a densidade, riqueza e uniformidade, com efeitos somente de sítio e sazonalidade. Nossos resultados mostraram, de maneira geral, maior similaridade de grupos entre o Sítio 1 no inverno e no verão e o Sítio 2 no verão. Acreditávamos, porém, que haveria maiores diferenças entre os sítios, pois além de apresentarem diferentes características químicas e físicas do solo estão localizados em diferentes matrizes e florestas de referência. No entanto, as semelhanças encontradas na composição de grupos podem estar relacionadas com características semelhantes de hábitat, que possivelmente criaram condições semelhantes para a colonização e desenvolvimento da fauna como um todo. As melhores condições foram criadas, possivelmente, pela associação dos fatores umidade e textura do solo. De fato, os teores de umidade foram bem contrastantes entre os sítios, sendo no Sítio 1 de 27,5% no inverno e 28,4% no verão e no Sítio 2 de 3,47% no inverno e 13,5% no verão.

As densidades dos grupos com maior proporção relativa foram mais bem explicadas pela quantidade de serapilheira estocada e pelos teores de Ca e P. Encontramos fortes efeitos e associações dos teores de P e Ca com a densidade de Acari, Coleoptera e Larva de Coleoptera. Os teores de P e Ca foram correlacionados positivamente com os grupos Coleoptera e Larva de Coleoptera, enquanto o P influi somente na população de Acari, Coleoptera e Larva de Coleoptera. Assim como os nossos resultados, outros estudos também constataram efeitos da quantidade de P e Ca na densidade da fauna solo (SAYER et al., 2010; ASFORD et al., 2013; VASCONCELLOS et al., 2013). Os teores de Ca podem ter influenciado por questões fisiológicas, principalmente no que tange à formação do exoesqueleto dos coleópteros (besouros) e isópodos (tatuzinhos de jardim) (CROMACK et al., 1977); enquanto o P pode estar agindo de forma indireta na população de grupos micrófagos, possivelmente ao influenciar no desenvolvimento da comunidade microbiana, de quem os representantes predadores do grupo se alimentam.

Os coleópteros (Coleoptera e Larvas de Coleoptera) foram mais associados com o verão do Sítio 1 (Figura 20), o que pode estar relacionado com as melhores condições de microclima e recursos alimentares. O grupo Coleoptera é a maior ordem dos

insetos, com o maior número de espécies descritas e apresentam os mais variados hábitos alimentares, como vários tipos de transformação de material vegetal e predação (DECAENS et al., 2006). Representantes do grupo Scarabaeidae, por exemplo, desempenham várias funções ecológicas, muitas delas associadas com a ciclagem de nutrientes (NICHOLS et al., 2008). Ottermans et al. (2011), ao estudarem as relações causais entre serapilheira, comunidades de besouros e padrões de regeneração em região da Mata Atlântica, constataram maior densidade de indivíduos das comunidades de besouros em locais com melhor estrutura florestal e condições microclimáticas. Estudo realizado em florestas em restauração no estado de São Paulo também apontou efeito da quantidade de Ca e P na densidade de coleópteros (VASCONCELLOS et al., 2013), embasando a indicação desse grupo como indicador da qualidade do ambiente.

Mesmo que o estoque de serapilheira tenha apresentado efeitos significativos sobre a fauna a 7% de probabilidade, não podemos negligenciar a importância que a serapilheira possui na dinâmica desses organismos, em função do seu potencial de servir como abrigo, melhorar as condições de microclima e de servir como recurso alimentar, principalmente para grupos transformadores (WOLTERS, 2001). A maior quantidade de serapilheira estocada, de fato, influenciou positivamente a densidade de grupos que possuem hábitos exclusivamente de transformação, como Diplopoda e Symphyla, e também grupos que possuem, além da transformação, outros hábitos alimentares, como os colêmbolos (Entomobryomorpha e Symphypleona) e Formicidae. Todos esses grupos estão associados ao ambiente do solo de florestas e desempenham papel importante no funcionamento dos ecossistemas florestais (COLEMAN, 2004). Dentre esses grupos, destacamos a alta densidade de Formicidae (31,2%) e Entomobryomorpha (10%), que, juntos, totalizaram mais de 40% da densidade total de organismos.

O grupo das formigas (Formicidae), pela diversidade de funções que realiza no ambiente do solo: engenheiras do ecossistema, cultivadoras de fungos, detritívoras, fitófagas e importantes predadores de outros organismos (FOLGARAIT, 1998), possui grande importância na dinâmica de ecossistemas florestais. Assim, mesmo que não tenhamos classificado o grupo Formicidae em nível específico (por exemplo, gênero e espécie), acreditamos que sua alta densidade associada com o estoque de serapilheira e com outros grupos com diferentes hábitos alimentares, é indicativo do bom funcionamento dos sistemas

florestais em restauração deste estudo, o que tem sido constatado também em outro estudo de mesma fisionomia vegetal (VASCONCELLOS et al., 2013).

Além das formigas, o grupo Entomobryomorpha (colêmbolos) aumentou sua densidade em função do aumento do estoque de serapilheira. Mesmo sendo organismos da mesofauna, exercem papel importante na decomposição de material foliar e no controle de fungos, devido à sua alta população (MORAIS; FRANKLIN, 2008). Da mesma forma que as formigas, esse grupo pode ser considerado um potencial indicador de qualidade ambiental, pois é sensível às alterações do ambiente. Outros estudos, por exemplo, têm associado o aumento das populações de Entomobryomorpha em função do estágio sucessional da floresta (MACHADO et al., 2015), bem como estudos que compararam diferentes plantações florestais com florestas de referência (CUNHA-NETO et al., 2012), sendo que ambos os autores verificaram aumento da população de organismos devido às melhores condições de microclima e recursos alimentares do ambiente, devido principalmente à melhor estrutura da floresta.

4.3. Comparações com sistemas controle e com a floresta de referência

Nossos resultados mostraram, de maneira geral, que os sistemas de restauração possuem a mesma estrutura e composição da fauna do solo que os sistemas controle e as florestas de referência. Além disso, nossos resultados apontaram que a sazonalidade e as propriedades do solo influenciam igualmente a composição e a estrutura da fauna do solo nos sistemas de restauração, controle e referências.

Estudos indicam respostas em abundância e diversidade da fauna entre diferentes usos do solo ou sistemas em restauração, como alguns realizados no Brasil (MENEZES et al., 2009, CUNHA-NETO et al., 2012; VASCONCELLOS et al., 2013; MACHADO et al., 2015; MELONI et al., 2015), na Austrália (MAJER et al., 2007) e nos EUA (LANGGORE, 2003). Entretanto, nossos resultados não apontaram tais diferenças, assim como o estudo de Jansen (2008), ao utilizar a fauna como indicadora do sucesso da restauração de florestas tropicais úmidas na Austrália. Um dos principais fatores com influência na diferenciação ou semelhança entre os sistemas avaliados em todos os estudos foi a quantidade e a qualidade de serapilheira estocada na superfície do solo.

O fato de os nossos resultados se diferenciarem dos estudos de ecossistemas em restauração supracitados está relacionado com o contexto em que a restauração foi empregada. Por exemplo, os estudos que apontaram a fauna como um bom indicador da restauração foram desenvolvidos em áreas de mineração (LANGGORE, 2003; MAJER et al., 2007) ou em áreas em diferentes processos sucessionais (VASCONCELLOS et al., 2013; MACHADO et al., 2015), em que a estrutura e composição de espécies são extremamente diferentes e assim influíram de forma mais acentuada na qualidade e quantidade de serapilheira estocada, modificando a estrutura e a composição dos organismos do solo.

Acreditávamos que ocorreriam diferenças na fauna entre os sistemas de restauração, uma vez que quando implantados possuíam diferentes composições e riqueza de espécies, e essas diferenças, após 16 anos da implantação do experimento tiveram efeitos na produção de serapilheira e nutrientes; porém, a semelhança de estoque de serapilheira e nutrientes entre os sistemas fez com que a fauna também se assemelhasse (JANSEN, 2008). Outro fator que pode ter implicado na semelhança entre os sistemas, inclusive entre os sistemas e o controle, é o fato de fragmentos referência estarem localizados próximos às áreas experimentais. Um estudo recente comparando sistemas florestais em restauração com diferentes idades e fragmentos de referência, indicou haver maior similaridade entre os sistemas e entre os sistemas com a referência quando o fragmento estava localizado próximo às áreas de restauração (MELONI et al., 2015).

Finalmente, nossos resultados sugerem que, desde que sistemas de restauração sejam capazes de estocar serapilheira, em quantidade e qualidade na superfície do solo, tanto sistemas simples como a restauração passiva quanto sistemas complexos de maior diversidade são eficazes em restaurar as comunidades da fauna do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v.26, p.32-46, 2001.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. **Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil**. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. 768p.

ASFORD, O. S.; FOSTER, W. A.; TURNER, B. L.; SAYER, E. J.; SUTCLIFFE, L.; TANNER, E. V. J. Litter manipulation and the soil arthropod community in a lowland tropical rainforest. **Soil Biology and Biochemistry**, v.62, p.5-12, 2013.

BALL, B. A.; BRADFORD, M. A.; COLEMAN, D. C.; HUNTER, M. D. Linkages between below and aboveground communities: decomposer responses to simulated tree species loss are largely additive. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.1155-1163, 2009.

BARDGETT, R. D. **The biology of soil: a community and ecosystem approach**. Oxford University Press, Oxford, 2005, 255p.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. PRIMER-E, Plymouth, 2001.

COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A.; HENDRIX, P. F. **Fundamentals of soil ecology**, Academic Press, San Diego, California, 2004, 404p.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Rev. e atual. - Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.137-158

CROMACK, K.; SOLLINS, P.; TODD, R. L.; CROSSLEY, D. A.; FENDER, W. M.; FOGEL, R.; TODD, A. W. **Soil microorganism–arthropod interactions: fungi as major calcium and sodium sources**. In W. J. Mattson (Ed.). The role of arthropods in forest ecosystems, Springer, New York, New York, 1977, p.78-84.

CUNHA NETO, F. V.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1407-1417, 2012.

DAVIS, C. A.; UTRUP, J. S. Response of terrestrial invertebrates to high-and-low-diversity grassland restorations in south-central Nebraska. **Restoration Ecology**, v.18, n.S2, p.479-488, 2010.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIAC, C.; MEASEY, G. J.; LAVELLE, P. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.23-38, 2006.

DINDAL, D. **Soil biology guide**. Ed. John Wiley and Sons. New York. 1348p, 1990.

FISHER, R. A., CORBET, A. S., AND WILLIAMS, C. B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. **Journal of Animal Ecology**, v.12, p.42-58, 1943.

FOLGARAIT, P. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity and Conservation**, v.7, p.122-1244, 1998.

GALLO, D. et al. **Manual de Entomologia Agrícola**. São Paulo: 2ª edição. Ed. Agronômica Ceres, 1988.

GRACE, J. B.; BOLLEN, K. A. Interpreting the results from multiple regression and structural equation models. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v.86, p.283-295, 2005.

GUREVITCH, J.; HEDGES, L. V. **Meta-analysis: Combining the Results of Independent Experiments**. In: Design and Analysis of Ecological Experiments, S. M. SCHEINER, J. GUREVITCH, Eds. (Oxford Univ. Press, Oxford), 347p., 2001.

JANSEN, A. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of the success of a tropical rainforest restoration project. **Restoration Ecology**, v.5, p.115-124, 2008.

LAOSSI, K. R.; BAROT, S.; CARVALHO, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.; MARTINS, M.; MITJA, D.; RENDEIRO, A. C.; ROUSSEAU, G.; SARRAZIN, M.; VELASQUEZ, E.; GRIMALDI, M. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. **Pedobiologia**, v.51, p.397-407, 2008.

LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas: The community structure. In: BOURLIÈRE, F. **Tropical savannas**. Amsterdam: E. S. P. C., 1983. p.477-484.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem functions. **Advances in Ecological Research**, v.27, p.93-132, 1997.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J-P.; Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v.42, S3-S15, 2006.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, v.129, p.271-280, 2001.

LONGCORI, T. Terrestrial arthropods as indicators of ecological restoration success in coastal sage scrub (California, U.S.A.). **Restoration Ecology**, v.11, p.397-409, 2003.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; MENEZES, C. E. G. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em floresta estacionail Semidecidual na Bacia do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Ciência Florestal**, v.25, p.91-106, 2015.

MAJER, J. D.; BRENNAN, K. E. C.; MOIR, M. L. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 years of research following bauxite mining in western Australia. **Restoration Ecology**, v.15, p.104-115, 2007.

MANHÃES, C. M. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Meso- and macrofauna in the soil and litter of leguminous trees in a degraded pasture in Brazil. **Agroforest Systems**, v.87, p.993-1004, 2013.

MCGLYNN, T. P.; FAWCETT, R. M.; CLARK, D. A. Litter biomass and nutrient determinants of ant density, nest size, and growth in a Costa Rican Tropical wet forest. **Biotropica**, v.41, p.234-240, 2009.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUS, K.M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecídua e pastagem mista em Pinheiral, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1647-1656, 2009.

MELONI, F.; VARANDA, E. M. Litter and soil arthropod colonization in reforested semi-deciduous seasonal Atlantic forests. **Restoration Ecology**, v.23, p.690-697, 2015.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.555-564, 2005.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia. **Applied Soil Ecology**, v.46, p.347-354, 2010.

MORAIS, J. W.; FRANKLIN, E. C. **Mesofauna do solo na Amazônia Central**. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: Ed. da UFLA, 2008. p.142-162.

MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F. ; PIEDADE, A. R.; ROUSSEAU, G. X. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. **Applied Soil Ecology**, v.86, p.91-99, 2015.

NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILLA, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v.141, p.1461-1474, 2008.

OTTERMANN, R.; HOPP, P. W.; GUSCHAL, M.; SANTOS, G. P.; MEYER, S.; ROß-NICKOLL, M. Causal relationship between leaf litter beetle communities and regeneration patterns of vegetation in the Atlantic rainforest of Southern Brazil (Mata Atlântica). **Ecological Complexity**, v.8, p.299-309, 2011.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B.; **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B.; *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Embrapa Brasília, DF, p.121-154, 2015.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Versão 3.2.1. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 18 junho de 2015.

RODRIGUES, K. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, L. B.; AQUINO, A. M. **Funis de Berlese-Tulgren modificados utilizados para amostragem de macroartrópodes de solo**. Circular Técnica 22, Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, 2008.

ROSSI, J. P.; BLANCHART, E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p.1093-1104, 2005.

RUIZ, N.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.; **Soil Macrofauna Field Manual**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 113 p.2008.

ROUSSEAU, G. X.; ROUSSEAU, G.; SILVA, P. R. S.; AUGUSTO, D. C. C.; CELENTANO, D.; CARVALHO, C. J. R. Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v.44, p.499-512, 2014.

SAYER, E. J.; SUTC, L. M.; ROSS, R. I.; TANNER, E. V. J. Arthropod abundance and diversity in a lowland tropical forest floor in Panama: The role of habitat space vs. nutrient concentrations. **Biotropica**, v.42, p.194-200, 2010.

SILESHI, G.; MAFONGOYA, P. L.; Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p.333-340, 2007.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Boletim Técnico de Solos n.5, 1995. 188p.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBORGER, K.; WICHMANN, M. C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, v.31, p.79-92, 2004.

VANBERGEN, A. J.; WATT, A.D.; MITCHELL, R.; TRUSCOTT, A.M.; PALMER, S. C. F.; IVITS, E.; EGGLETON, P.; JONES, T. H.; SOUSA, J. P.; 2007. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. **Oecologia**, v.153, p.713-725, 2007.

VASCONCELLOS, R. L.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v.58, p.105-112, 2013.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.137-167, 1986.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; BARKER, G. M.; BONNER, K. I. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.1052-1062, 2006.

WOLTERS V. **Biodiversity of soil animals and its function**. *European Journal of Soil Biology*, v.37, p.221-227, 2001.

WU, P.; LIU, X.; LIU, S.; WANG, J.; WANG, Y. Composition and spatio-temporal variation of soil microarthropods in the biodiversity hotspot of northern Hengduan Mountains, China. **European of Journal Soil Biology**, v.62, p.30-38, 2014.

CAPÍTULO III

“EFEITOS DE DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SÍTIOS COM CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS CONTRASTANTES”

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas florestais, o desmatamento é o principal fator responsável por alterar a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), potencialmente reduzindo o seu estoque, pois promove um rompimento do equilíbrio no ecossistema, ao diminuir a entrada de resíduos (SILVER et al., 2001; LAL et al., 2005). Em consequência disso, podem ocorrer alterações na estabilização dos agregados do solo, na capacidade do solo de reter água e no desenvolvimento de organismos e microrganismos do solo (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001). Além desses fatores, o clima, o tipo de vegetação, a textura e o manejo do solo são também elementos importantes para a dinâmica da MOS (STEVENSON; COLE, 1999).

Nos ecossistemas florestais, os aportes de serapilheira e as transformações da matéria orgânica são fundamentais para manutenção das propriedades do solo (VITOUSEK; STANFORD, 1986). A matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico, incluindo os organismos e microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos (ROSCOE; MACHADO, 2002). A MOS é um grande reservatório de nutrientes e de carbono, sendo um componente fundamental nos processos químicos, físicos e biológicos do solo (VEZZANI et al., 2008), sendo, portanto, fundamental para o funcionamento dos ecossistemas.

O estudo da dinâmica da MOS não tem se restringido apenas na avaliação dos teores de carbono orgânico total no solo (COT), mas também quanto à sua estabilidade no solo. O COT pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da MOS, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1991; BAYER et al., 2004). Abordagens utilizadas nesse campo de estudo incluem a identificação da origem do COT por meio de métodos isotópicos (plantas C3 ou plantas C4) (SILVER et al., 2001), bem como o emprego de técnicas de fracionamento, com estimativa do carbono das frações húmicas (ácido húmico, ácido fúlvico e húmica) (BENITES et al., 2003) e das frações granulométricas (areia, silte e argila) (ELLIOT; CAMBARDELLA, 1991).

Os métodos isotópicos têm contribuído para um melhor entendimento da dinâmica da MOS, em que se avalia a abundância natural de carbono (^{13}C) e nitrogênio

(¹⁵N) nos ecossistemas. O carbono da MOS provém dos vegetais que o capturam da atmosfera por meio da fotossíntese na forma de CO₂. Durante esse processo, observa-se uma significativa distribuição isotópica com intensidades diferenciadas entre plantas com mecanismos fotossintéticos C3 e C4. As plantas com ciclo C3 (maioria das dicotiledôneas) discriminam mais intensamente o ¹³C, apresentando abundância isotópica que varia de -20 a -34% (média de -27%), e as plantas C4 (maioria das gramíneas) discriminam menos, apresentando valores que variam de -9 a -17% (média de -13%) (BUCHMANN; KAPLAN, 2001). Por meio da utilização dessas técnicas é possível identificar a origem do COT; o que, por sua vez, possibilita inferir sobre as substituições no tempo entre vegetações de florestas e pastagens (DESJARDINS et al., 1994; MARIN-SPIOTTA et al., 2009).

As substâncias húmicas podem compor mais de 80% da MOS, representando uma das frações mais estáveis ou recalcitrantes, e por essa razão têm um importante papel nos aspectos físicos e químicos do solo (JONES; BRYAN, 1998). Essas substâncias são divididas em três frações ou grupos químicos, baseados na sua solubilidade em meio ácido e meio alcalino: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. Essas três frações são os principais constituintes do COT, sendo que a humina representa cerca de 30-80% (GUERRA; SANTOS, 1999). Essas frações têm papel primordial na manutenção da fertilidade do solo, pois interagem com a fração mineral (BENITES, 2003). Além disso, seus teores no solo são indicativos das relações vegetação-solo, sendo também influenciadas pelo clima, vegetação e condições de manejo (FONTANA et al., 2006).

O fracionamento granulométrico da MOS consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (CO_p) e o carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992). O CO_p corresponde a MOS do tamanho de areia (MOS ≥ 53μm), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados. O CO_{am} é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo (CO_{am} < 53μm), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 2001). De maneira geral, as frações maiores são mais dinâmicas e mais sensíveis ao manejo, ao passo que as frações menores são consideradas menos sensíveis às modificações ao manejo (ROSCOE et al., 2006).

Da mesma forma que a retirada da cobertura florestal leva a um declínio nos valores de MOS, o reflorestamento e a sucessão florestal promovem alterações na quantidade de biomassa estocada, com melhoria em suas características físicas, químicas e biológicas (SILVER et al., 2001; LAL, 2005). Estudos dos estoques e dinâmica da matéria orgânica no solo de sistemas florestais tropicais, em sua maioria, comparam esses ecossistemas com sistemas com diferentes usos e manejo dos solos (COUTINHO et al., 2010; ASSAD et al., 2013). Outros estudos têm buscado compreender a dinâmica da MOS após a substituição de florestas por pastagens, como exemplo alguns trabalhos na Amazônia (DESJARDINS et al., 2004; FEARNSTIDE; BARBOSA, 1998). Embora os efeitos positivos da biodiversidade nos estoques de carbono tenham sido demonstrados (GAMFELDT et al., 2013; ZUO et al., 2015), outros estudos recentes têm destacado o papel de espécies de leguminosas nos estoques de C e N (MACEDO et al., 2008; WANG et al., 2010), em função da sua capacidade de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio e produzir expressiva quantidade de biomassa. No entanto, essa abordagem na restauração de florestas tropicais é ainda incipiente.

Objetivamos compreender como a implantação de sistemas de restauração ecológica com diferentes características de composição e estrutura influenciam a dinâmica da matéria orgânica do solo de sítios com distintas características de solo. Buscamos responder às seguintes questões:

- 1) Quais os efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração florestal nos atributos da matéria orgânica do solo?
- 2) Quais características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração florestal que melhor explicam os estoques de carbono e nitrogênio?
- 3) Aos 16 anos após a implantação do experimento, os sistemas de restauração florestal foram capazes de restaurar os estoques de nitrogênio e carbono, tendo como referência uma floresta conservada?

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os atributos químicos e físicos do solo foram avaliados em todos os sistemas de restauração, sistema controle e floresta de referência do Sítio 1 e do Sítio 2, conforme delineamento experimental descrito na seção Material e Métodos Geral.

Em cada parcela, amostramos aleatoriamente quatro pontos, onde coletamos amostras nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Em cada profundidade foi retirada uma amostra indeformada com auxílio de um anel volumétrico (100 cm³) para determinação da densidade aparente do solo (EMBRAPA, 1997). Amostras deformadas para avaliar os demais atributos químicos e físicos do solo de cada profundidade foram coletadas, unidas e homogeneizadas, e formaram uma amostra composta por parcela. As amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foram determinados os atributos químicos e físicos do solo, conforme descrevemos a seguir.

2.1. Composição granulométrica

A composição granulométrica foi analisada de acordo com os métodos propostos pela EMBRAPA (1997), determinando-se os valores de areia, silte e argila, e a classificação textural.

2.2. Análise isotópica do ¹⁵N e ¹³C

Os teores de carbono orgânico total no solo (COT), nitrogênio total e suas composições isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) foram determinados com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA-USP), em Piracicaba, São Paulo. Os resultados expressos na forma de delta ¹³C (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnitella Americana da formação Pee Dee), foram utilizados para a avaliação da contribuição do carbono remanescente da floresta (plantas C₃) e o introduzido pelas gramíneas (plantas C₄) em cada uma das parcelas. Os cálculos foram realizados de acordo com Balesdent et al. (1987), em que utilizamos as seguintes equações:

$$C4(\%) = \frac{\delta^{13}C \text{ sistemas} - \delta^{13}C \text{ Floresta}}{\delta^{13}C \text{ controle} - \delta^{13}C \text{ Floresta}} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

$$C3(\%) = 100 - C4(\%) \quad \text{Equação (6)}$$

em que: $C_4\%$ é o carbono do solo oriundo das gramíneas; $C3\%$ é o carbono do solo oriundo da floresta em melhor estágio de conservação (floresta de referência de cada sítio); $\delta^{13}C$ sistemas: representa os valores de $\delta^{13}C$ dos sistemas de restauração (SEM, AGR, CONS, DIV); $\delta^{13}C$ Floresta: é o carbono do solo da Floresta de referência; $\delta^{13}C$ controle é o carbono oriundo do material vegetal da serapilheira coletado no sistema controle, com predominância de gramíneas.

2.3. Estoques de carbono e nitrogênio

A partir dos teores de C e N e dos valores da densidade aparente do solo (Ds), calculados os estoques de carbono (Est.C) e nitrogênio (Est.N), conforme a expressão:

$$\text{EstC ou EstN} = \frac{C \text{ ou N} \times Ds \times e}{10} \quad \text{Equação (7)}$$

em que: EstC: representa o C acumulado ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$); EstN: representa o N acumulado; C ou N, indica o teor de C ou N na camada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); Ds, a densidade aparente do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e e a espessura da camada em análise, em m.

2.4. Caracterização da estabilidade da matéria orgânica do solo

Para a caracterização da estabilidade da matéria orgânica do solo utilizamos dois métodos de fracionamento, um método químico e um método físico, conforme descrição:

Método químico: o fracionamento químico consistiu na quantificação do carbono das frações húmicas, fração ácidos húmicos (FAH), ácidos fúlvicos (FAF) e humina (HUM), sendo utilizado a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Nessa técnica as amostras TFSA são tratadas com NaOH

0,1 mol.L⁻¹ em tubos de centrífuga, sendo agitadas manualmente e deixadas em repouso por 24 horas. Após essa etapa, as amostras são centrifugadas a 5.000 giros por 30 minutos. Esse procedimento é repetido por mais duas vezes. O pH do extrato alcalino é ajustado para 1,0 pela adição de H₂SO₄ e deixado para decantar durante 18 h. Após esse procedimento, o material acidificado é filtrado e seu volume é aferido para 50 mL com água destilada, em que, posteriormente, determina-se o carbono desse material, que corresponde ao carbono da fração ácido fúlvico (FAF). Para determinação da fração ácidos húmicos (FAH), sobre o precipitado são adicionados NaOH 0,1 mol.L⁻¹ até a lavagem completa do filtro, sendo o volume novamente aferido para 50 mL usando água destilada. O material restante nos tubos de centrífuga consiste na fração humina (HUM). A determinação quantitativa do carbono nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi feita segundo Yeomans e Bremmer (1988).

Método físico: o fracionamento granulométrico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella e Elliot (1992), em que se obteve o carbono orgânico particulado (CO_p) e o carbono orgânico associado aos minerais silte e argila (CO_{am}). Nesse método são pesados 20 g de solo e adicionados 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g.L⁻¹), sendo agitados durante 15 horas em agitador horizontal. A seguir, todo material é passado por peneira de 53µm, sendo o que ficou retido na peneira denominado de carbono orgânico do tamanho de areia ou carbono orgânico particulado (CO_p). Esse é seco em estufa a 50 °C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono (YEOMANS; BREMMER, 1988). O carbono associado aos minerais silte e argila (CO_{am}) é obtido a partir da diferença entre os teores de COT total e CO_p.

2.5. Análise de dados

As áreas estudadas fazem parte de um grupo de experimentos, em que o delineamento é o mesmo em dois sítios com distintas características edáfica. Portanto, antes de inserirmos o sítio como um fator no modelo estatístico da análise de variância, foi necessário, inicialmente, checar a existência de homogeneidade de variâncias entre os sítios (teste de Bartlett; $p < 0,05$), conforme critério proposto por Pimentel-Gomes e Garcia (2002). No entanto, para a maioria das variáveis, as variâncias entre os sítios não foram homogêneas,

e, assim, realizamos procedimentos estatísticos separadamente para cada sítio. Os modelos lineares foram compostos pelo fator sistema de restauração e pelos atributos da matéria orgânica do solo. Para cada modelo, testamos, primeiramente, as premissas da análise de variância (normalidade e homogeneidade da distribuição dos resíduos). Comparações múltiplas de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey. Consideramos $p < 0,05$ como significativo.

Todos os procedimentos estatísticos, para responder a cada questão em estudo, foram realizados utilizando o software R versão 3.2.1 (R Development Core Team, 2015), conforme apresentamos a seguir:

1) Quais os efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração florestal nos atributos da matéria orgânica do solo?

Realizamos análises de variância e testes múltiplos de médias nas comparações entre os sistemas de restauração. Todos os atributos estudados atenderam às premissas da análise de variância. As comparações múltiplas de médias foram feitas utilizando o teste de Tukey. Realizamos uma análise multivariada de componentes principais (ACP) com o objetivo de integrar as informações dos atributos da matéria orgânica nos diferentes sítios estudados (pacote Vegan).

2) Quais características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração florestal que melhor explicam os estoques de carbono e nitrogênio?

Realizamos dois tipos de análises, sendo ambas realizadas para os estoques na profundidade de 0-20 cm. Utilizamos a profundidade de 0-20 cm devido às análises prévias indicarem que as principais diferenças entre os sistemas de restauração ocorrem até essa profundidade. Na primeira análise, utilizamos os dados dos dois sítios e o procedimento consistiu em entender como as características da vegetação e da serapilheira influem nos estoques de nitrogênio e carbono do solo, a partir de relações diretas e/ou indiretas. Neste caso, utilizamos modelos de equações estruturais (SEM: structural equation models) ou análises de caminho (path analysis) (pacote Lavaan, função cfa: confirmatory factor analysis model). Nosso modelo conceitual se baseou na hipótese que tanto as características da vegetação quanto as da serapilheira influem nos estoques de nitrogênio e carbono. Como o nosso número de repetições é pequeno ($N=24$), nós testamos um modelo

estrutural simples (poucas variáveis), em que selecionamos duas variáveis da vegetação: riqueza de espécies e porcentagem de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio, e três variáveis relacionadas ao estoque de serapilheira: densidade da fauna de serapilheira (ind.m²) (Capítulo 2), relação carbono/nitrogênio (C:N) e constante de decomposição (k). A constante de decomposição (k) foi estimada a partir da relação entre o aporte e o estoque de serapilheira, conforme a equação 8 (OLSON, 1963).

$$k = \frac{L}{X_{ss}} \quad \text{Equação (8)}$$

em que: k é a constante de decomposição para situações de equilíbrio dinâmico; L é a produção anual de serapilheira (kg.ha⁻¹.ano⁻¹); X_{ss} :média anual de serapilheira estocada sobre o solo (kg.ha⁻¹.ano⁻¹). Utilizamos a média de serapilheira estocada (inverno e verão) (Apêndice 18).

Os critérios utilizados para seleção do melhor modelo, para cada variável resposta, se basearam na análise do teste do qui-quadrado (χ^2), critério de informação de Akaike (AIC: Akaike information criterion), raiz do erro médio quadrático de aproximação (RMSEA: root mean square error of approximation) e o índice de qualidade do ajuste (GFI: goodness-of-fit index). Valores de qui-quadrado associados com $p > 0,05$, RMSEA $< 0,05$ e GFI $> 0,95$ indicam um bom ajuste do modelo (KLINE, 2010). Para facilitar a interpretação das análises de caminho, os valores dos coeficientes de caminhos, diretos e indiretos, foram padronizados, de acordo com Grace e Bollen (2005). Realizamos esse mesmo procedimento para cada sítio, mas, devido ao baixo número de repetições (N=12), os modelos não atenderam aos pressupostos da análise. Portanto, para entender os efeitos da vegetação nos estoques de nitrogênio e carbono, após inicialmente checar os pressupostos da análise, realizamos análises de correlação (Pearson; $p < 0,05$). Também realizamos análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) para os dois sítios em conjunto.

3) Aos 16 anos após a implantação do experimento, os sistemas de restauração florestal foram capazes de restaurar os estoques de nitrogênio e carbono, tendo como referência uma floresta conservada?

Realizamos dois tipos de análises, sendo ambas realizadas separadamente para cada sítio. O primeiro tipo de análise consistiu nas comparações entre os sistemas de restauração e o sistema controle, em que realizamos análises de variância e testes múltiplos de médias (teste de Tukey); já que os sistemas possuem o mesmo delineamento experimental. O segundo foi realizado com comparações de médias entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (sistemas) (teste t de Student; $p < 0,05$). Nós calculamos também as taxas de respostas dos sistemas de restauração (restaurado) comparados com o sistema controle [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e a floresta de referência [$\ln(\text{restaurado}/\text{referência})$] para cada variável estudada (GUREVITCH; HEDGES, 2001). Optamos em apresentar no texto os valores médios da taxa de resposta, destacados quando apresentaram diferenças significativas pelos testes estatísticos. Valores médios absolutos são apresentados nos Apêndices 21, 22 e 23.

3. RESULTADOS

3.1. Efeitos do sítio nos diferentes atributos relacionados à matéria orgânica do solo

A Análise de Componentes Principais (ACP) evidencia as diferenças dos atributos relacionados com a matéria orgânica entre os sítios, com associações de praticamente todas as variáveis com o Sítio 1. No Sítio 2, verificamos associações das variáveis areia e densidade aparente do solo (Figura 22). As principais diferenças entre os sítios estão relacionadas com a fração argila, que é predominante no Sítio 1; enquanto no Sítio 2 constatamos elevadas proporções de areia (Tabela 17).

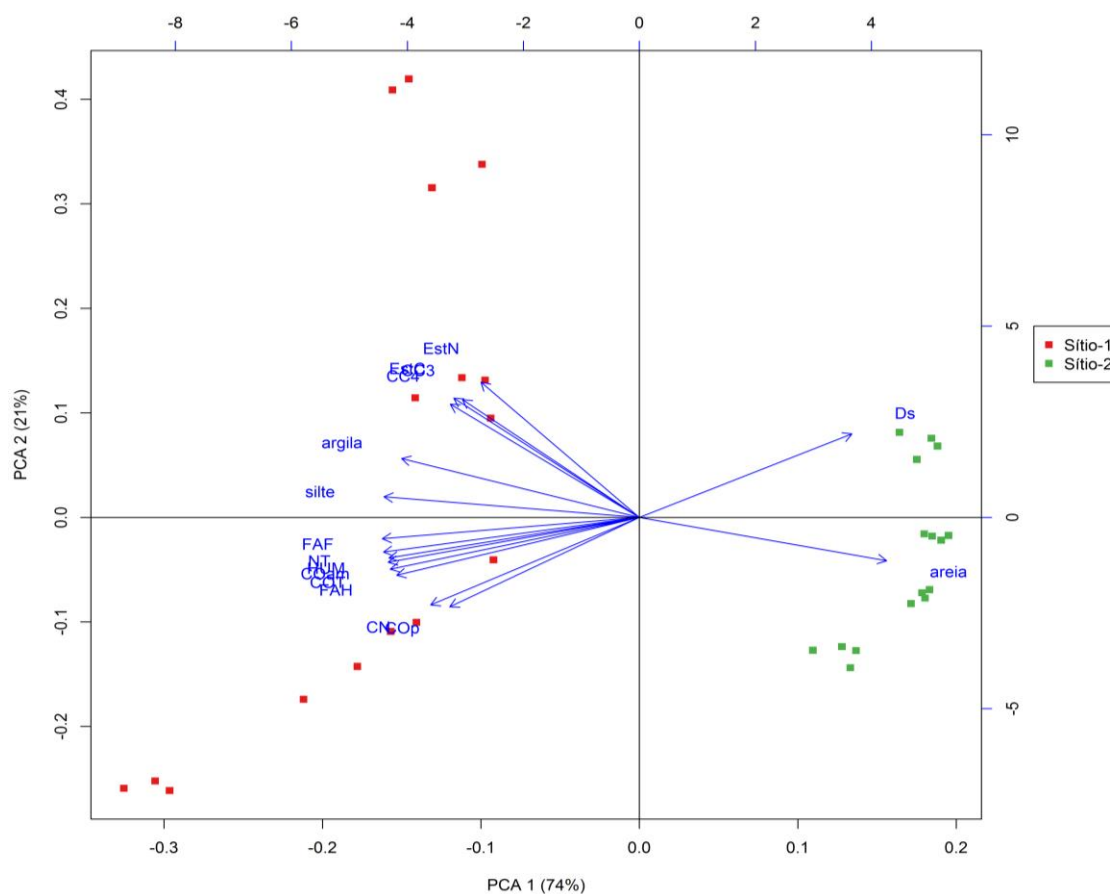


Figura 22. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais (ACP) dos valores médios dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo dos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, nas diferentes profundidades do solo, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. Legenda: COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; CN: relação carbono/nitrogênio; Ds: densidade aparente do solo; EstC: estoque de carbono; EstN: estoque de nitrogênio; HUM: humina; FAF: fração ácido húmico; FAF: fração acima fúlvico; COam: carbono associado aos minerais; COP: carbono orgânico particulado; CC3: carbono de plantas C3; CC4: carbono de plantas C4.

Tabela 17. Composição granulométrica e classificação textural dos solos em diferentes sistemas de restauração ecológica (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência. Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP.

	Sítio 1 – Nitossolo Vermelho				Sítio 2 – Argissolo Vermelho Amarelo			
	Areia	Argila	Silte	Classificação textural	Areia	Argila	Silte	Classificação textural
	-----g.kg ⁻¹ -----				-----g.kg ⁻¹ -----			
0-5 cm								
CON	220 ± 10	364 ± 45	416 ± 50	franco argilosa	905 ± 12	72 ± 15	23 ± 3	areia
SEM	214 ± 27	435 ± 17	351 ± 10	argila	912 ± 1	74 ± 3	14 ± 4	areia
AGR	220 ± 26	472 ± 24	308 ± 9	argila	896 ± 7	83 ± 5	21 ± 3	areia
CML	214 ± 3	435 ± 27	351 ± 28	argila	911 ± 1	73 ± 5	16 ± 3	areia
DIV	225 ± 53	443 ± 25	332 ± 51	argila	910 ± 3	69 ± 7	21 ± 10	areia
REF	279 ± 18	295 ± 39	426 ± 21	franco argilosa	911 ± 16	66 ± 14	23 ± 13	areia
5-10 cm								
CON	191 ± 7	434 ± 47	375 ± 52	argila	908 ± 7	76 ± 12	16 ± 4	areia
SEM	209 ± 27	486 ± 26	305 ± 5	argila	904 ± 5	81 ± 8	15 ± 2	areia
AGR	206 ± 17	492 ± 30	302 ± 21	argila	893 ± 6	82 ± 5	25 ± 1	areia
CML	185 ± 5	455 ± 20	360 ± 17	argila	906 ± 1	81 ± 4	13 ± 5	areia
DIV	222 ± 53	460 ± 37	318 ± 48	argila	925 ± 2	55 ± 2	20 ± 1	areia
REF	243 ± 49	297 ± 39	460 ± 52	franco argilosa	922 ± 14	58 ± 18	20 ± 8	areia
10-20 cm								
CON	188 ± 7	485 ± 54	327 ± 47	argila	906 ± 8	69 ± 10	25 ± 2	areia
SEM	183 ± 32	549 ± 41	268 ± 8	argila	908 ± 2	76 ± 4	16 ± 6	areia
AGR	205 ± 19	504 ± 16	291 ± 5	argila	892 ± 6	88 ± 8	20 ± 1	areia
CML	179 ± 17	499 ± 28	322 ± 29	argila	904 ± 4	86 ± 3	10 ± 6	areia
DIV	210 ± 43	501 ± 41	289 ± 54	argila	925 ± 8	57 ± 10	18 ± 2	areia
REF	260 ± 6	369 ± 27	371 ± 21	franco argilosa	917 ± 22	67 ± 24	16 ± 6	areia
20-40 cm								
CON	177 ± 20	515 ± 37	308 ± 26	argila	854 ± 7	120 ± 10	26 ± 9	areia franca
SEM	190 ± 27	533 ± 11	277 ± 26	argila	860 ± 20	124 ± 18	16 ± 4	areia franca
AGR	187 ± 21	543 ± 26	270 ± 5	argila	862 ± 19	112 ± 13	26 ± 5	areia franca
CML	167 ± 11	523 ± 29	310 ± 26	argila	859 ± 13	125 ± 10	16 ± 3	areia franca
DIV	188 ± 45	535 ± 50	277 ± 59	argila	881 ± 31	98 ± 32	21 ± 2	areia franca
REF	243 ± 19	389 ± 31	368 ± 13	franco argilosa	937 ± 12	53 ± 16	11 ± 5	areia

Existiram também diferenças nos estoques de nitrogênio e carbono entre os sítios, nas diferentes profundidades analisadas e na profundidade de 0-40 cm (Figura 23 a, b). Na profundidade de 0-40 cm, o Sítio 1 estoca, aproximadamente, quatro vezes mais nitrogênio ($9,46 \text{ Mg N ha}^{-1}$) e carbono ($99,01 \text{ Mg C ha}^{-1}$) do que o Sítio 2 ($2,66 \text{ Mg N ha}^{-1}$ e $24,46 \text{ Mg C ha}^{-1}$) (Figura 23 a, b). Das variáveis de sítio estudadas, verificamos relações altamente significativas ($p < 0,0001$) entre a fração argila e os estoques de nitrogênio e carbono, com valores da correlação de Pearson, respectivamente, de 0,96 e 0,95 (Apêndice 19).

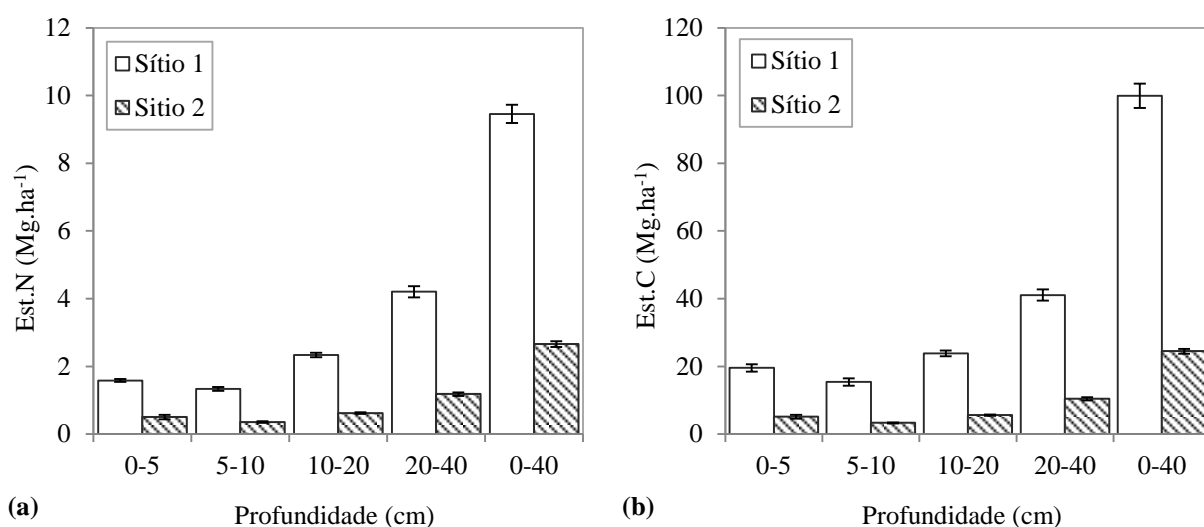


Figura 23. Valores médios dos estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha^{-1}) (a) e carbono (Est.C: Mg.ha^{-1}) (b) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 0-40 cm, em sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, nos diferentes sítios estudados (Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias \pm erro padrão.

3.2. Efeitos de diferentes sistemas de restauração florestal na dinâmica de carbono orgânico e nitrogênio

3.2.1. Isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, nitrogênio total, carbono orgânico total e densidade aparente do solo

Os valores dos isótopos $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ e os valores de carbono orgânico total no solo (COT) não diferiram entre os sistemas de restauração nas diferentes profundidades avaliadas ($p \geq 0,05$), sendo os resultados constatados para ambos os sítios estudados (Tabela 18).

Verificamos diferenças nos valores de nitrogênio total (NT) e densidade aparente do solo (Ds) entre os sistemas de restauração apenas no Sítio 1 ($p < 0,05$); ao passo que no Sítio 2 todos os sistemas apresentaram a mesma quantidade de NT e Ds. Na profundidade de 0-5 cm, no Sítio 1, os sistemas SEM e CML apresentaram maior quantidade de NT do que o sistema AGR; enquanto DIV possuiu valor intermediário. Na profundidade de 5-10 cm, CML apresentou maior quantidade de NT do que todos os outros sistemas (Tabela 18). Os valores de Ds, entre os sistemas, só foram diferentes na camada superficial do solo (0-5 cm), com AGR apresentando maior valor do que SEM. Os sistemas CML e DIV possuíram valores intermediários (Tabela 18).

Tabela 18. Valores médios \pm erro padrão dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT) e densidade aparente do solo (Ds), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$		NT		COT		Ds	
	‰		‰		g.kg^{-1}		g.kg^{-1}		g.cm^{-3}	
Sítio 1										
0-5 cm										
SEM	6,10 \pm 0,65	a	-21,93 \pm 0,83	a	3,03 \pm 0,27	a	37,3 \pm 4,14	a	1,03 \pm 0,01	b
AGR	7,20 \pm 0,38	a	-23,67 \pm 0,50	a	2,35 \pm 0,05	b	25,9 \pm 0,10	a	1,25 \pm 0,01	a
CML	7,21 \pm 0,32	a	-23,16 \pm 0,27	a	2,99 \pm 0,04	a	39,9 \pm 6,75	a	1,09 \pm 0,05	ab
DIV	6,41 \pm 0,19	a	-23,91 \pm 0,46	a	2,84 \pm 0,05	ab	36,2 \pm 1,84	a	1,18 \pm 0,06	ab
5-10 cm										
SEM	8,84 \pm 0,24	a	-21,13 \pm 0,48	a	2,01 \pm 0,06	b	21,72 \pm 0,66	a	1,32 \pm 0,03	a
AGR	9,08 \pm 0,41	a	-22,18 \pm 0,28	a	1,82 \pm 0,14	b	19,57 \pm 1,55	a	1,37 \pm 0,07	a
CML	8,26 \pm 0,36	a	-22,34 \pm 0,73	a	2,51 \pm 0,20	a	28,85 \pm 2,11	a	1,16 \pm 0,06	a
DIV	9,11 \pm 0,18	a	-21,97 \pm 0,43	a	1,91 \pm 0,10	b	24,98 \pm 5,14	a	1,36 \pm 0,08	a
10-20 cm										
SEM	10,91 \pm 0,48	a	-21,30 \pm 0,26	a	1,61 \pm 0,08	a	16,36 \pm 1,06	a	1,40 \pm 0,05	a
AGR	10,69 \pm 0,22	a	-21,52 \pm 0,15	a	1,58 \pm 0,11	a	16,11 \pm 1,04	a	1,34 \pm 0,09	a
CML	10,65 \pm 0,29	a	-21,52 \pm 0,58	a	1,95 \pm 0,05	a	19,89 \pm 1,23	a	1,30 \pm 0,04	a
DIV	10,79 \pm 0,19	a	-21,60 \pm 0,08	a	1,71 \pm 0,07	a	17,57 \pm 1,12	a	1,45 \pm 0,05	a
20-40 cm										
SEM	11,45 \pm 0,41	a	-21,80 \pm 0,28	a	1,32 \pm 0,13	a	12,81 \pm 1,27	a	1,41 \pm 0,02	a
AGR	11,30 \pm 0,34	a	-22,14 \pm 0,06	a	1,45 \pm 0,08	a	14,41 \pm 0,81	a	1,35 \pm 0,09	a
CML	11,53 \pm 0,32	a	-21,94 \pm 0,25	a	1,65 \pm 0,10	a	15,44 \pm 0,96	a	1,42 \pm 0,01	a
DIV	11,32 \pm 0,40	a	-21,97 \pm 0,22	a	1,48 \pm 0,08	a	15,01 \pm 1,11	a	1,52 \pm 0,00	a
Sítio 2										
0-5 cm										
SEM	5,87 \pm 0,13	a	-23,33 \pm 1,02	a	0,69 \pm 0,02	a	7,08 \pm 0,46	a	1,42 \pm 0,10	a
AGR	6,15 \pm 0,19	a	-24,47 \pm 0,43	a	0,59 \pm 0,05	a	6,26 \pm 0,63	a	1,37 \pm 0,12	a
CML	5,74 \pm 0,51	a	-24,82 \pm 0,46	a	0,66 \pm 0,06	a	6,81 \pm 0,65	a	1,39 \pm 0,14	a
DIV	5,72 \pm 0,28	a	-25,68 \pm 0,75	a	0,96 \pm 0,26	a	9,30 \pm 2,15	a	1,38 \pm 0,45	a
5-10 cm										
SEM	7,27 \pm 0,17	a	-23,01 \pm 0,79	a	0,48 \pm 0,02	a	4,52 \pm 0,33	a	1,49 \pm 0,03	a
AGR	7,66 \pm 0,12	a	-22,50 \pm 0,32	a	0,48 \pm 0,02	a	4,71 \pm 0,22	a	1,46 \pm 0,04	a
CML	7,61 \pm 0,26	a	-22,37 \pm 0,70	a	0,43 \pm 0,04	a	4,01 \pm 0,20	a	1,47 \pm 0,04	a
DIV	7,64 \pm 0,53	a	-24,24 \pm 0,92	a	0,54 \pm 0,12	a	4,82 \pm 0,70	a	1,46 \pm 0,02	a
10-20 cm										
SEM	8,26 \pm 0,13	a	-22,32 \pm 0,55	a	0,41 \pm 0,01	a	3,70 \pm 0,13	a	1,54 \pm 0,03	a
AGR	8,48 \pm 0,08	a	-21,26 \pm 0,65	a	0,43 \pm 0,03	a	3,96 \pm 0,22	a	1,49 \pm 0,00	a
CML	8,35 \pm 0,42	a	-22,28 \pm 0,32	a	0,40 \pm 0,05	a	3,67 \pm 0,42	a	1,52 \pm 0,02	a
DIV	9,06 \pm 0,08	a	-23,23 \pm 1,27	a	0,39 \pm 0,03	a	3,45 \pm 0,07	a	1,51 \pm 0,02	a
20-40 cm										
SEM	9,57 \pm 0,24	a	-21,66 \pm 0,47	a	0,37 \pm 0,03	a	3,28 \pm 0,35	a	1,52 \pm 0,02	a
AGR	9,11 \pm 0,25	a	-21,60 \pm 0,32	a	0,44 \pm 0,01	a	3,88 \pm 0,14	a	1,53 \pm 0,03	a
CML	9,70 \pm 0,26	a	-22,29 \pm 0,19	a	0,37 \pm 0,03	a	3,26 \pm 0,19	a	1,59 \pm 0,05	a
DIV	9,80 \pm 0,15	a	-23,48 \pm 1,15	a	0,35 \pm 0,04	a	3,07 \pm 0,43	a	1,56 \pm 0,01	a

3.2.2. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total no solo

Os valores de carbono orgânico, quantificado pelos métodos químico e físico de fracionamento, também não expressaram diferenças marcantes entre os sistemas de restauração, entre as diferentes profundidades e entre os sítios analisados (Tabela 19).

No Sítio 1, constatamos diferença entre os sistemas somente nos teores de carbono orgânico particulado (COp) na profundidade de 10-20 cm, em que DIV apresentou valor superior ao SEM; os sistemas AGR e CML apresentaram teores intermediários (Tabela 19). No Sítio 2, ocorreu diferença somente entre os teores de carbono da fração húmica (HUM) na profundidade de 10-20 cm, em que o sistema SEM apresentou maior valor do que CML; os sistemas AGR e DIV tiveram valores intermediários (Tabela 19).

Tabela 19. Valores médios \pm erro padrão do carbono orgânico da fração humina (HUM), fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

	HUM	FAF	FAH	COp	COam
-----g.kg ⁻¹ -----					
Sítio 1					
0-5 cm					
SEM	22,95 \pm 2,41 a	3,65 \pm 0,48 a	3,20 \pm 0,43 a	4,26 \pm 2,75 a	33,02 \pm 4,43 a
AGR	17,64 \pm 1,05 a	3,03 \pm 0,11 a	2,35 \pm 0,11 a	3,50 \pm 2,81 a	22,41 \pm 2,82 a
CML	20,95 \pm 1,99 a	3,64 \pm 0,19 a	4,21 \pm 0,79 a	3,73 \pm 2,13 a	36,17 \pm 4,69 a
DIV	23,82 \pm 2,49 a	3,27 \pm 0,19 a	3,10 \pm 0,58 a	6,55 \pm 3,91 a	29,60 \pm 2,57 a
5-10 cm					
SEM	13,97 \pm 1,30 a	2,80 \pm 0,26 a	2,17 \pm 0,25 a	3,70 \pm 2,91 a	18,02 \pm 2,53 a
AGR	13,35 \pm 0,66 a	2,51 \pm 0,10 a	1,81 \pm 0,29 a	0,81 \pm 0,23 a	18,76 \pm 1,77 a
CML	15,06 \pm 1,25 a	3,03 \pm 0,21 a	3,07 \pm 0,66 a	3,20 \pm 2,29 a	25,64 \pm 4,39 a
DIV	13,34 \pm 1,51 a	2,67 \pm 0,04 a	2,36 \pm 0,22 a	1,99 \pm 1,16 a	23,00 \pm 5,88 a
10-20 cm					
SEM	11,55 \pm 0,62 a	2,27 \pm 0,21 a	1,65 \pm 0,30 a	0,59 \pm 0,32 b	15,78 \pm 1,09 a
AGR	10,38 \pm 0,45 a	2,29 \pm 0,09 a	1,64 \pm 0,09 a	0,88 \pm 0,22 ab	15,22 \pm 1,25 a
CML	10,23 \pm 1,52 a	2,62 \pm 0,22 a	2,15 \pm 0,42 a	0,79 \pm 0,31 ab	19,10 \pm 1,43 a
DIV	11,22 \pm 0,31 a	2,27 \pm 0,04 a	1,86 \pm 0,25 a	1,67 \pm 0,51 a	15,89 \pm 0,86 a
20-40 cm					
SEM	9,56 \pm 1,59 a	1,88 \pm 0,06 a	1,00 \pm 0,47 a	0,45 \pm 0,29 a	12,36 \pm 1,37 a
AGR	9,59 \pm 0,83 a	2,10 \pm 0,22 a	1,39 \pm 0,33 a	1,12 \pm 0,02 a	13,29 \pm 0,83 a
CML	9,92 \pm 2,01 a	2,40 \pm 0,06 a	1,52 \pm 0,17 a	1,12 \pm 0,90 a	14,32 \pm 1,27 a
DIV	10,60 \pm 0,80 a	1,90 \pm 0,05 a	1,51 \pm 0,22 a	1,37 \pm 0,55 a	13,64 \pm 1,33 a
Sítio 2					
0-5 cm					
SEM	3,70 \pm 1,32 a	1,36 \pm 0,10 a	0,94 \pm 0,18 a	1,43 \pm 0,76 a	5,65 \pm 0,72 a
AGR	2,82 \pm 0,83 a	0,83 \pm 0,12 a	1,09 \pm 0,31 a	1,66 \pm 0,06 a	4,60 \pm 0,88 a
CML	3,21 \pm 0,73 a	0,86 \pm 0,14 a	0,97 \pm 0,44 a	1,15 \pm 0,48 a	5,66 \pm 0,84 a
DIV	6,32 \pm 3,87 a	0,88 \pm 0,45 a	1,37 \pm 1,00 a	0,91 \pm 0,46 a	8,39 \pm 2,93 a
5-10 cm					
SEM	3,49 \pm 0,69 a	0,63 \pm 0,29 a	0,56 \pm 0,14 a	0,57 \pm 0,28 a	3,95 \pm 0,62 a
AGR	2,29 \pm 0,64 a	0,56 \pm 0,02 a	0,74 \pm 0,21 a	0,46 \pm 0,23 a	4,25 \pm 0,10 a
CML	3,15 \pm 0,85 a	0,66 \pm 0,02 a	0,55 \pm 0,25 a	0,68 \pm 0,36 a	3,34 \pm 0,44 a
DIV	3,04 \pm 1,58 a	0,44 \pm 0,18 a	0,51 \pm 0,43 a	0,40 \pm 0,10 a	4,42 \pm 0,78 a
10-20 cm					
SEM	3,20 \pm 0,49 a	0,60 \pm 0,04 a	0,32 \pm 0,27 a	0,85 \pm 0,10 a	2,85 \pm 0,22 a
AGR	2,27 \pm 0,59 ab	0,45 \pm 0,02 a	0,35 \pm 0,19 a	0,43 \pm 0,29 a	3,52 \pm 0,14 a
CML	1,61 \pm 0,27 b	0,23 \pm 0,10 a	0,31 \pm 0,18 a	0,75 \pm 0,21 a	2,92 \pm 0,61 a
DIV	3,04 \pm 0,20 ab	0,29 \pm 0,11 a	0,31 \pm 0,14 a	0,55 \pm 0,38 a	2,90 \pm 0,41 a
20-40 cm					
SEM	2,69 \pm 0,08 a	0,32 \pm 0,06 a	0,22 \pm 0,13 a	0,46 \pm 0,20 a	2,82 \pm 0,32 a
AGR	2,38 \pm 0,69 a	0,36 \pm 0,07 a	0,30 \pm 0,15 a	0,37 \pm 0,11 a	3,51 \pm 0,25 a
CML	1,53 \pm 0,42 a	0,27 \pm 0,04 a	0,17 \pm 0,12 a	0,40 \pm 0,16 a	2,85 \pm 0,34 a
DIV	2,14 \pm 0,81 a	0,27 \pm 0,07 a	0,12 \pm 0,07 a	0,41 \pm 0,18 a	2,67 \pm 0,61 a

3.2.3. Estoques de carbono e nitrogênio

Os valores do estoque de carbono (Est.C) não diferiram entre os sistemas de restauração, nas diferentes profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm ($p > 0,05$); sendo esses resultados verificados em ambos os sítios (Tabela 20). Também não constatamos efeitos dos sistemas de restauração nos estoques de nitrogênio (Est.N) do Sítio 2; porém, no Sítio 1, verificamos diferenças no Est.N entre os sistemas na profundidade de 10-20 cm (Tabela 20). Na profundidade de 0-40 cm, diferenças ocorrem no nível de 7% de probabilidade, o que sugere que os sistemas tendem a estocar diferentes quantidades de N e C (Tabela 20).

Tabela 20. Resultados da análise de variância dos efeitos dos sistemas de restauração nos estoques de carbono (Est.C) e nitrogênio (Est. N), em diferentes profundidades do solo, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

Profundidade (cm)	Sítio 1 - Nitossolo Vermelho			
	Est.C		Est.N	
	F	p-valor	F	p-valor
0-5	1,58	0,2897	1,55	0,2968
5-10	0,92	0,4866	0,77	0,5532
10-20	2,24	0,1840	5,06	0,0442
20-40	2,78	0,1323	2,93	0,1218
0-40	4,23	0,0630	4,47	0,0566
Profundidade (cm)	Sítio 2 - Argissolo Vermelho Amarelo			
	Est.C		Est.N	
	F	p-valor	F	p-valor
0-5	0,58	0,6511	0,69	0,5927
5-10	0,67	0,5984	0,55	0,6647
10-20	0,84	0,5176	0,43	0,7371
20-40	0,96	0,4697	0,92	0,4873
0-40	0,49	0,6993	0,90	0,4926

O sistema CML, no Sítio 1, estocou maior quantidade de nitrogênio na profundidade de 10-20 cm do que o sistema AGR. Na mesma profundidade os sistemas SEM e DIV produziram valores intermediários (Figura 24 a).

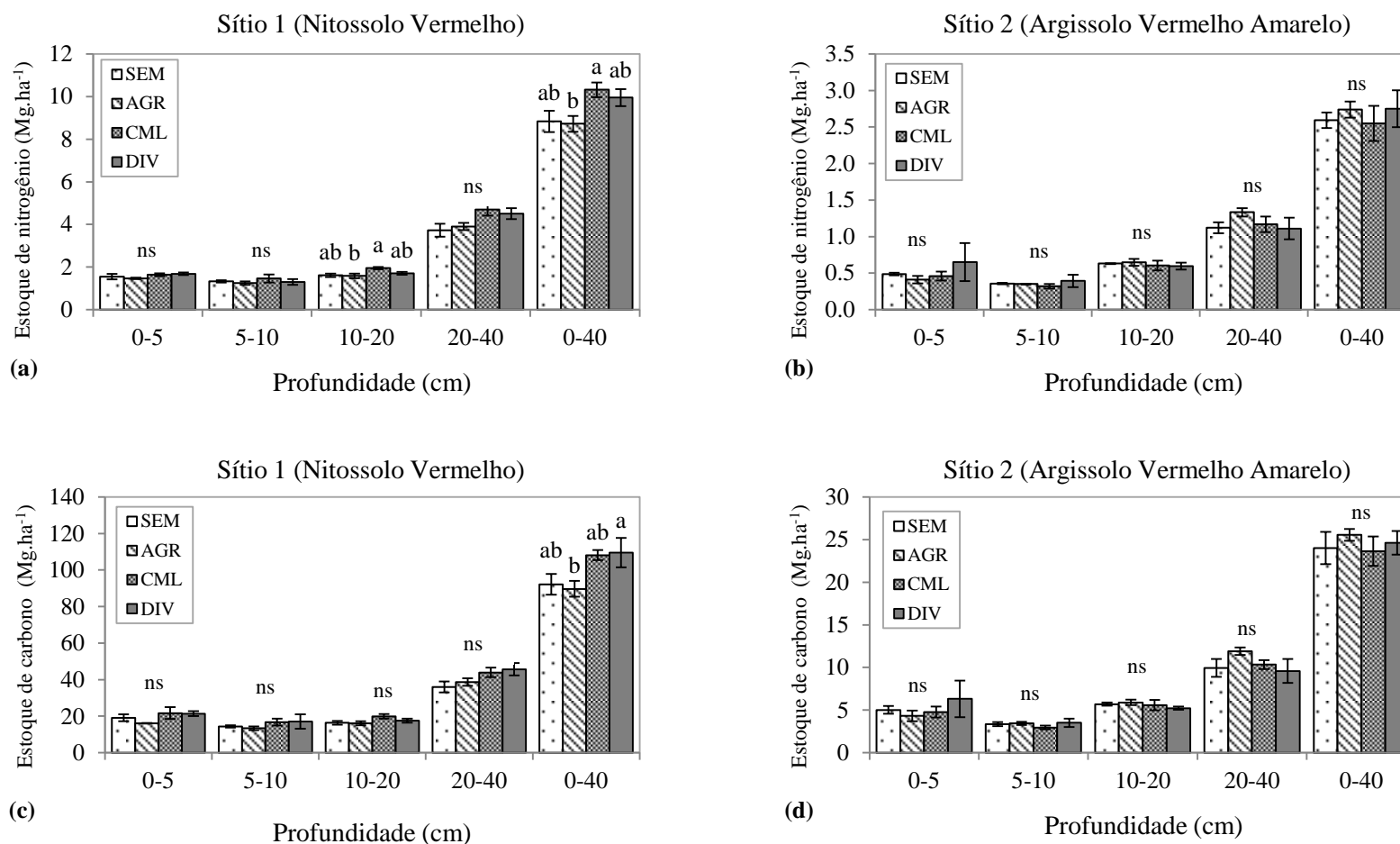


Figura 24. Valores médios de estoque de nitrogênio (Mg.ha⁻¹) e estoque de carbono (Mg.ha⁻¹) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 0-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: sementeira direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias \pm erro padrão. Valores médios com letras iguais entre os sistemas de restauração não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo.

3.2.4. Contribuição do carbono oriundo de plantas C3 e C4 no estoque de carbono nos diferentes sistemas de restauração

A contribuição relativa do carbono de plantas C3 e C4 nos valores do estoque de carbono orgânico (Est.C) não diferiu entre os sistemas de restauração ($p \geq 0,05$), sendo os resultados verificados em todas as profundidades para ambos os sítios analisados (Figura 25 a, b).

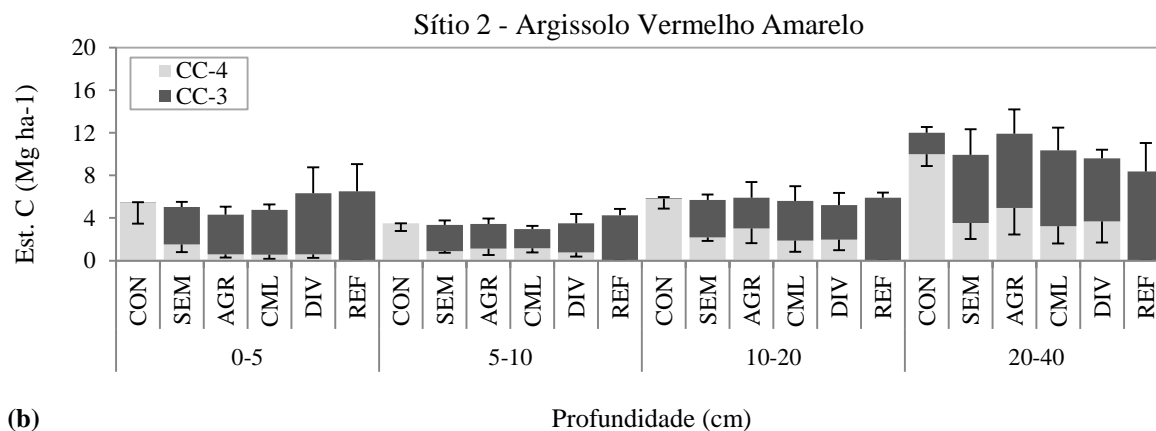
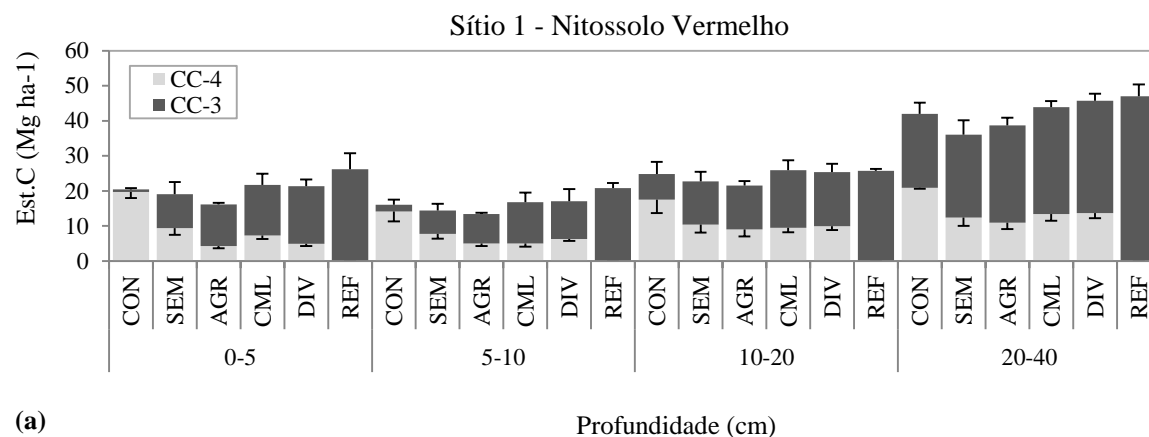


Figura 25. Valores médios da contribuição do carbono da floresta de referência (C-C3) e do carbono oriundo de gramíneas (C-C4) no estoque de carbono (Est.C: Mg.ha⁻¹), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) (a) e Sítio 2: (Argissolo Vermelho Amarelo) (b), Botucatu, SP. Barras indicam médias \pm erro padrão.

3.3. Efeitos das características da vegetação nos estoques de carbono e nitrogênio na profundidade de 0-20 cm

3.3.1. Efeitos diretos e indiretos das características da vegetação nos estoques de carbono e nitrogênio na profundidade de 0-20 cm

Os modelos de equações estruturais, elaborados para testar os efeitos diretos e indiretos das características da vegetação e serapilheira nos estoques de nitrogênio e carbono do solo, indicaram um bom ajuste para ambas as variáveis de estoque ($\chi^2=0,021$; G.L.=1; $p=0,885$; RMSEA<0,00; SRMR=0,006; GIF: 1,00) (Figura 26 a, b).

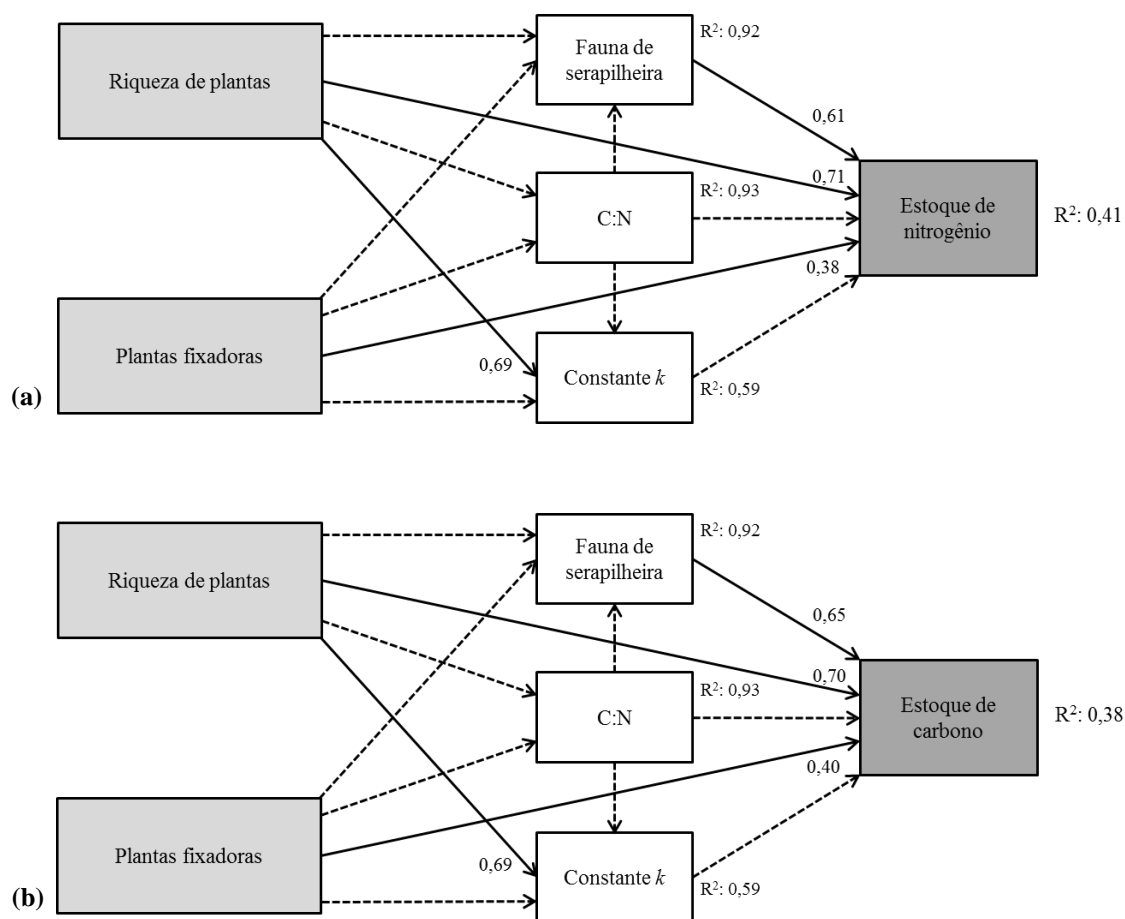


Figura 26. Análise de equações estruturais dos efeitos diretos e indiretos das características da vegetação dos sistemas de restauração nos estoques de nitrogênio (a) e carbono (b), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2: (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. (N=24). Linhas contínuas representam relações significativas ($p<0,05$) e linhas tracejadas representam relações não significativas ($p\geq 0,05$). Os coeficientes de caminho foram padronizados. Maiores detalhes são encontrados no Apêndice 20.

As variáveis da vegetação e serapilheira explicaram 41 e 38%, respectivamente, da variação dos valores dos estoques de nitrogênio e carbono, em que constatamos efeitos positivos diretos para a riqueza de espécies e proporção de indivíduos fixadores da comunidade vegetal e densidade de indivíduos da fauna de serapilheira (Figura 26 a, b). Das variáveis preditoras estudadas, verificamos forte efeito da riqueza de espécies e fauna associada à serapilheira.

3.3.2. Correlações entre as características da vegetação e os estoques de carbono e nitrogênio na profundidade de 0-20 cm

Quando analisamos as correlações entre as características da vegetação e os estoques de nitrogênio, constatamos resultados diferentes para cada sítio; contudo, para ambos os sítios as variáveis da vegetação se correlacionaram negativamente com os estoques (Tabela 21). No Sítio 1, verificamos correlações significativas negativas da área basal com o estoque de nitrogênio, enquanto a deciduidade se correlacionou negativamente com o estoque de carbono. No Sítio 2, a densidade de indivíduos da comunidade vegetal influenciou negativamente nos estoques de nitrogênio e carbono (Tabela 21).

Tabela 21. Resultados da análise de correlação (Pearson) entre as variáveis da vegetação dos sistemas de restauração e os estoques de nitrogênio e carbono ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores do coeficiente de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=12$).

	Riqueza de plantas (n° sp.)	Área basal ($\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$)	Densidade ($\text{ind}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Fixadoras (% ind.)	Decíduas (% ind.)
Sítio 1					
Est.N	0,062	-0,652	-0,298	-0,124	-0,551
Est.C	0,008	-0,530	-0,236	0,094	-0,644
Sítio 2					
Est.N	0,088	-0,205	-0,633	-0,054	-0,009
Est.C	-0,026	-0,225	-0,607	0,005	-0,025

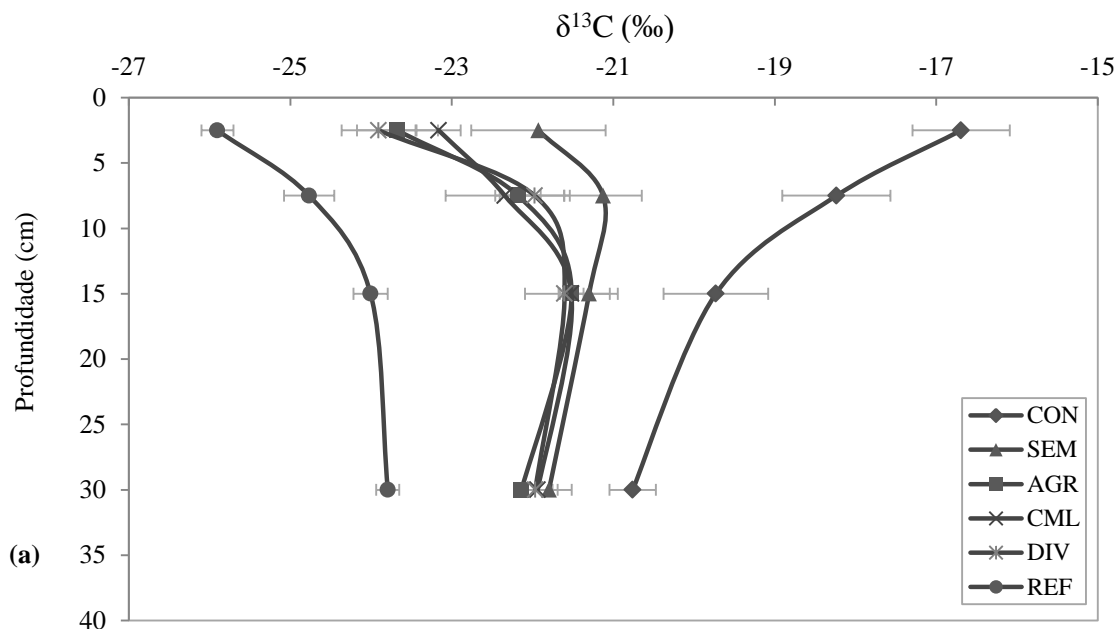
3.4. Comparações dos sistemas de restauração com o sistema controle e com a floresta de referência

3.4.1. Distribuição do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em profundidade

A distribuição do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (‰) oriundo de plantas C3 nas diferentes profundidades analisadas indicou diferenças entre os sistemas de restauração e o sistema controle para ambos os sítios (Figura 27 a, b). As principais diferenças ocorreram nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10 cm dos dois sítios, em que todos os sistemas de restauração possuíram valores mais negativos do isotópico $\delta^{13}\text{C}$ do que o sistema controle, o que indica maior contribuição de carbono de plantas C3. Na profundidade de 10-20 cm do Sítio 1 não constatamos diferenças entre os sistemas de restauração e o controle; ao passo que na profundidade de 20-40 cm apenas o AGR obteve valor mais negativo do que o CON (Figura 27 a). No Sítio 2, profundidade de 10-20 cm, o sistema DIV possuiu valor mais negativo de $\delta^{13}\text{C}$ do que o CON; enquanto na profundidade de 20-40 cm nenhum sistema diferiu do controle (Figura 27 a, b).

Os valores do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da floresta de referência do Sítio 1 foram mais negativos do que todos os sistemas de restauração, em todas as profundidades avaliadas (Figura 27 a); enquanto no Sítio 2, em todas as profundidades, os sistemas de restauração já se igualaram aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ da referência (Figura 27 b).

Sítio 1 - Nitossolo Vermelho



Sítio 2 - Argissolo Vermelho Amarelo

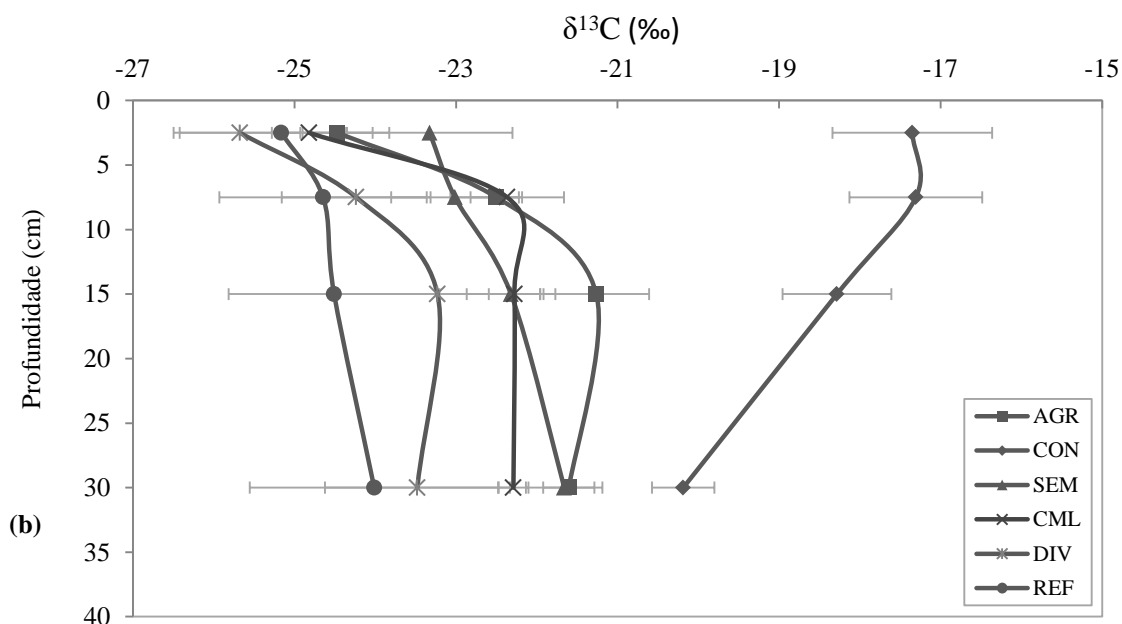


Figura 27. Valores médios do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (‰) do carbono orgânico, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras indicam médias \pm erro padrão.

3.4.2. Taxas de resposta para os diferentes atributos da matéria orgânica do solo

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$, NT, COT, Ds, fracionamento químico (HUM, FAF e FAH) e fracionamento granulométrico (COp e Coam) entre os sistemas de restauração e o sistema controle no Sítio 1, de uma maneira geral, não diferiram entre si (Tabela 22). Verificamos diferença apenas para o atributo nitrogênio total (NT), na profundidade de 0-5 cm, sendo a taxa de resposta negativa, o que indica maior valor do sistema CON do que o AGR (Tabela 22).

As comparações dos sistemas de restauração com a floresta de referência no Sítio 1, indicaram diferenças para vários atributos do solo (Tabela 22), com taxas de resposta positivas e negativas significativas. Taxas de resposta significativas negativas foram verificadas para os atributos NT, COT, HUM, FAH e Coam; enquanto $\delta^{15}\text{N}$ e Ds apresentaram taxas positivas (Tabela 22).

Para as variáveis com taxa de resposta positiva significativa, como os valores do isótopo $\delta^{15}\text{N}$, verificamos que nas profundidades de 5-10, 10-20, 20-40 cm os sistemas apresentaram maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ do que a referência; enquanto na profundidade de 0-5 cm, os sistemas não diferiram. Para a densidade aparente do solo, diferenças ocorreram somente na profundidade de 10-20 cm, em que SEM e DIV possuem densidade superior que a referência; enquanto os sistemas AGR e DIV não diferiram da floresta de referência (Tabela 22).

Os valores de NT foram menores para todos os sistemas nas profundidades de 5-10 e 20-40 cm; porém, nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm o sistema CML obteve mesmos valores que a referência (Tabela 22). Para o COT, assim como para o NT, apenas o sistema CML se assemelhou a referência em todas as profundidades analisadas. Para os teores de HUM, os sistemas SEM, CML e DIV se assemelharam com a referência em todas as profundidades; enquanto, o sistema AGR possuiu menores valores nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. AGR também obteve menores valores de FAF e COam quando comparado com a referência, ao passo que os demais sistemas não diferiram, com destaque para o sistema CML que não diferiu da referência em todas as profundidades avaliadas (Tabela 22).

Tabela 22. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e [$\ln(\text{restaurado}/\text{refer\^encia})$] dos valores m\u00e9dios de nitrog\u00e9nio total (NT), carbono org\u00e2nico total (COT), densidade aparente do solo (Ds), carbono org\u00e2nico da fra\u00e7\u00e3o humina (HUM), fra\u00e7\u00e3o \u00e1cido f\u00falvico (FAF), fra\u00e7\u00e3o \u00e1cido h\u00famico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), entre os sistemas de restaura\u00e7\u00e3o (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) e refer\u00eancia (REF), no S\u00edtio 1 (Nitossolo Vermelho), Botucatu, SP. Valores em negrito representam diferen\u00e7as significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

S\u00edtio 1	$\delta^{15}\text{N}$	NT	COT	Ds	HUM	FAF	FAH	COp	COam
0-5 cm									
SEM/CON	-0,053	-0,008	0,009	-0,078	-0,080	0,031	-0,272	0,579	-0,046
AGR/CON	0,112	-0,259	-0,355	0,116	-0,344	-0,156	-0,582	0,381	-0,433
CML/CON	0,113	-0,020	0,077	-0,015	-0,172	0,029	0,001	0,446	0,045
DIV/CON	-0,004	-0,070	-0,022	0,064	-0,043	-0,079	-0,304	1,008	-0,155
5-10 cm									
SEM/CON	-0,011	-0,080	-0,118	0,005	-0,164	-0,022	-0,251	1,114	-0,253
AGR/CON	0,016	-0,177	-0,222	0,042	-0,210	-0,134	-0,435	-0,408	-0,213
CML/CON	-0,080	0,145	0,166	-0,130	-0,089	0,057	0,096	0,971	0,099
DIV/CON	0,018	-0,129	0,022	0,030	-0,211	-0,072	-0,167	0,493	-0,010
10-20 cm									
SEM/CON	0,052	-0,080	-0,122	0,034	0,067	-0,004	0,158	-1,726	0,039
AGR/CON	0,032	-0,096	-0,137	-0,007	-0,039	0,004	0,153	-1,322	0,004
CML/CON	0,029	0,112	0,074	-0,038	-0,054	0,140	0,423	-1,429	0,231
DIV/CON	0,041	-0,021	-0,050	0,071	0,038	-0,004	0,281	-0,683	0,047
20-40 cm									
SEM/CON	0,021	-0,107	-0,151	0,002	-0,127	-0,132	-0,477	-1,806	0,016
AGR/CON	0,008	-0,016	-0,033	-0,043	-0,124	-0,025	-0,153	-0,892	0,089
CML/CON	0,028	0,111	0,036	0,007	-0,090	0,111	-0,064	-0,892	0,164
DIV/CON	0,009	0,005	0,008	0,077	-0,023	-0,125	-0,068	-0,691	0,115
0-5 cm									
SEM/REF	-0,008	-0,432	-0,336	0,036	-0,340	-0,129	-0,323	-0,652	-0,286
AGR/REF	0,157	-0,683	-0,700	0,231	-0,604	-0,316	-0,633	-0,851	-0,674
CML-REF	0,158	-0,444	-0,268	0,099	-0,432	-0,131	-0,050	-0,785	-0,195
DIV-REF	0,041	-0,494	-0,367	0,178	-0,303	-0,239	-0,355	-0,223	-0,396
5-10 cm									
SEM-REF	0,160	-0,517	-0,492	0,120	-0,373	-0,194	-0,276	-0,571	-0,475
AGR-REF	0,187	-0,615	-0,596	0,157	-0,419	-0,306	-0,459	-2,093	-0,435
CML-REF	0,091	-0,292	-0,208	-0,014	-0,298	-0,115	0,071	-0,714	-0,122
DIV-REF	0,189	-0,567	-0,352	0,145	-0,420	-0,244	-0,192	-1,192	-0,231
10-20 cm									
SEM-REF	0,159	-0,336	-0,269	0,149	-0,045	-0,049	-0,341	-1,146	-0,215
AGR-REF	0,139	-0,353	-0,285	0,108	-0,152	-0,040	-0,345	-0,743	-0,251
CML-REF	0,136	-0,145	-0,074	0,077	-0,167	0,096	-0,076	-0,850	-0,024
DIV-REF	0,148	-0,278	-0,198	0,186	-0,074	-0,049	-0,218	-0,104	-0,208
20-40 cm									
SEM-REF	0,146	-0,400	-0,315	0,053	-0,120	-0,176	-0,331	-1,406	-0,241
AGR-REF	0,133	-0,308	-0,197	0,007	-0,117	-0,069	-0,007	-0,492	-0,168
CML-REF	0,153	-0,181	-0,128	0,058	-0,083	0,067	0,082	-0,492	-0,093
DIV-REF	0,134	-0,288	-0,157	0,128	-0,017	-0,169	0,078	-0,291	-0,142

No Sítio 2, verificamos o mesmo resultado encontrado no Sítio 1, em que os valores de carbono orgânico não diferiram entre os sistemas de restauração e o sistema controle (Tabela 23), caracterizando um padrão.

As comparações entre os sistemas de restauração e a referência no Sítio 2, diferentemente do que o observado no Sítio 1, apontaram poucas diferenças (Tabela 23). Respostas significativas ocorreram para as variáveis Ds, FAF e FAH. Para os valores de Ds, diferenças entre os sistemas e a referência ocorreram somente na profundidade de 5-10 e 20-40 cm, com maiores valores de densidade para CML e DIV do que a referência. Na profundidade de 5-10 cm o sistema SEM também mostrou maior valor do que a REF. O valor da FAF do sistema SEM foi maior que a referência na profundidade de 10-20 cm; enquanto os demais sistemas se assemelharam com a referência. Nas demais profundidades, verificamos também semelhanças de FAF com a referência. Já para a FAH, enquanto nas profundidades subsuperficiais todos os sistemas não se diferiram da referência, na profundidade de 0-5 cm apenas o sistema SEM possuiu valor menor que a referência (Tabela 23).

Tabela 23. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e [$\ln(\text{restaurado}/\text{refer\~{e}ncia})$] dos valores m\u00e9dios de nitrog\u00e9nio total (NT), carbono org\u00e2nico total (COT), densidade aparente do solo (Ds), carbono org\u00e2nico da fra\u00e7\u00e3o humina (HUM), fra\u00e7\u00e3o \u00e1cido f\u00falvico (FAF), fra\u00e7\u00e3o \u00e1cido h\u00famico (FAH), particulado (COp) e associado aos minerais silte e argila (COam), entre os sistemas de restaura\u00e7\u00e3o (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) e refer\u00eancia (REF), no S\u00edtio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Valores em negrito representam diferen\u00e7as significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

S\u00edtio 2	$\delta^{15}\text{N}$	NT	COT	Ds	HUM	FAF	FAH	COp	COam
0-5 cm									
SEM/CON	0,163	-0,061	-0,126	0,058	-0,187	0,106	-0,038	-0,419	-0,036
AGR/CON	0,209	-0,207	-0,249	0,027	-0,459	-0,381	0,106	-0,275	-0,242
CML/CON	0,141	-0,101	-0,164	0,039	-0,329	-0,346	-0,014	-0,637	-0,035
DIV/CON	0,137	0,274	0,147	0,029	0,347	-0,323	0,333	-0,874	0,359
5-10 cm									
SEM/CON	-0,022	0,000	-0,034	-0,004	0,043	-0,124	0,000	-0,883	0,182
AGR/CON	0,030	0,000	0,006	-0,020	-0,377	-0,236	0,283	-1,111	0,255
CML/CON	0,023	-0,102	-0,155	-0,018	-0,058	-0,078	-0,018	-0,717	0,012
DIV/CON	0,028	0,124	0,030	-0,025	-0,095	-0,483	-0,094	-1,235	0,293
10-20 cm									
SEM/CON	-0,085	0,041	-0,017	-0,017	0,395	0,335	0,170	0,069	-0,041
AGR/CON	-0,058	0,097	0,050	-0,050	0,053	0,061	0,260	-0,609	0,172
CML/CON	-0,073	0,017	-0,025	-0,028	-0,291	-0,618	0,149	-0,065	-0,016
DIV/CON	0,008	0,000	-0,088	-0,035	0,346	-0,398	0,149	-0,377	-0,023
20-40 cm									
SEM/CON	-0,055	-0,158	-0,156	-0,032	0,180	-0,221	0,097	-0,932	0,056
AGR/CON	-0,104	0,008	0,013	-0,022	0,056	-0,104	0,433	-1,143	0,274
CML/CON	-0,042	-0,167	-0,163	0,015	-0,386	-0,389	-0,166	-1,056	0,066
DIV/CON	-0,031	-0,204	-0,222	-0,006	-0,049	-0,414	-0,494	-1,048	-0,001
0-5 cm									
SEM/REF	-0,111	-0,422	-0,381	0,136	0,145	0,082	-0,786	-0,575	-0,325
AGR/REF	-0,065	-0,568	-0,504	0,105	-0,126	-0,405	-0,641	-0,430	-0,531
CML-REF	-0,133	-0,461	-0,419	0,117	0,003	-0,370	-0,761	-0,792	-0,323
DIV-REF	-0,137	-0,086	-0,108	0,107	0,680	-0,347	-0,415	-1,029	0,071
5-10 cm									
SEM-REF	-0,070	-0,358	-0,353	0,116	0,218	-0,086	-0,644	-0,854	-0,253
AGR-REF	-0,017	-0,358	-0,312	0,101	-0,202	-0,198	-0,361	-1,081	-0,180
CML-REF	-0,024	-0,460	-0,473	0,103	0,118	-0,040	-0,662	-0,688	-0,423
DIV-REF	-0,019	-0,234	-0,289	0,096	0,080	-0,445	-0,738	-1,206	-0,142
10-20 cm									
SEM-REF	-0,097	-0,205	-0,132	0,093	0,094	0,572	-0,311	0,125	-0,197
AGR-REF	-0,070	-0,150	-0,065	0,060	-0,248	0,298	-0,221	-0,553	0,016
CML-REF	-0,086	-0,230	-0,140	0,082	-0,592	-0,381	-0,332	-0,009	-0,172
DIV-REF	-0,004	-0,247	-0,203	0,075	0,045	-0,161	-0,332	-0,321	-0,178
20-40 cm									
SEM-REF	0,052	0,104	0,116	0,073	0,556	-0,010	-0,508	-0,353	0,218
AGR-REF	0,003	0,270	0,285	0,084	0,432	0,106	-0,171	-0,563	0,437
CML-REF	0,065	0,095	0,109	0,120	-0,011	-0,178	-0,770	-0,477	0,229
DIV/CON	0,076	0,058	0,050	0,099	0,327	-0,203	-1,099	-0,469	0,161

3.4.3. Taxas de respostas dos estoques de carbono e nitrogênio do solo na profundidade de 0-40 cm

As comparações dos estoques de carbono e nitrogênio na profundidade de 0-40 cm, representadas pela taxa de resposta, não mostraram diferenças entre os sistemas de restauração e o sistema controle, em ambos os sítios avaliados (Figura 28 a, c), o que indica que ambas as estratégias (plantar ou não plantar árvores) possuem potencial em estocar carbono no solo.

As comparações dos estoques entre os sistemas de restauração e a floresta de referência mostraram taxa de resposta significativa somente no Sítio 1 ($p < 0,05$). No Sítio 2, os sistemas de restauração não diferem em estoque de C e N com a floresta de referência ($p \geq 0,05$) (Figura 28 b, d).

No Sítio 1, os sistemas CML ($10,32 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e DIV ($9,96 \text{ Mg.ha}^{-1}$) estocaram a mesma quantidade de N que a floresta referência ($12,30 \text{ Mg.ha}^{-1}$) ($p \geq 0,05$); enquanto os sistemas SEM ($8,83 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e AGR ($8,72 \text{ Mg.ha}^{-1}$) estocaram menores quantidades (Figura 28 b, d). O mesmo ocorreu com as comparações dos estoques de carbono, em que os sistemas CML ($108,20 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e DIV ($109,56 \text{ Mg.ha}^{-1}$) estocaram quantidade semelhante à referência ($119,75 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e os sistemas SEM ($92,17 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e AGR ($89,72 \text{ Mg.ha}^{-1}$) menores quantidades (Figura 28 b, d).

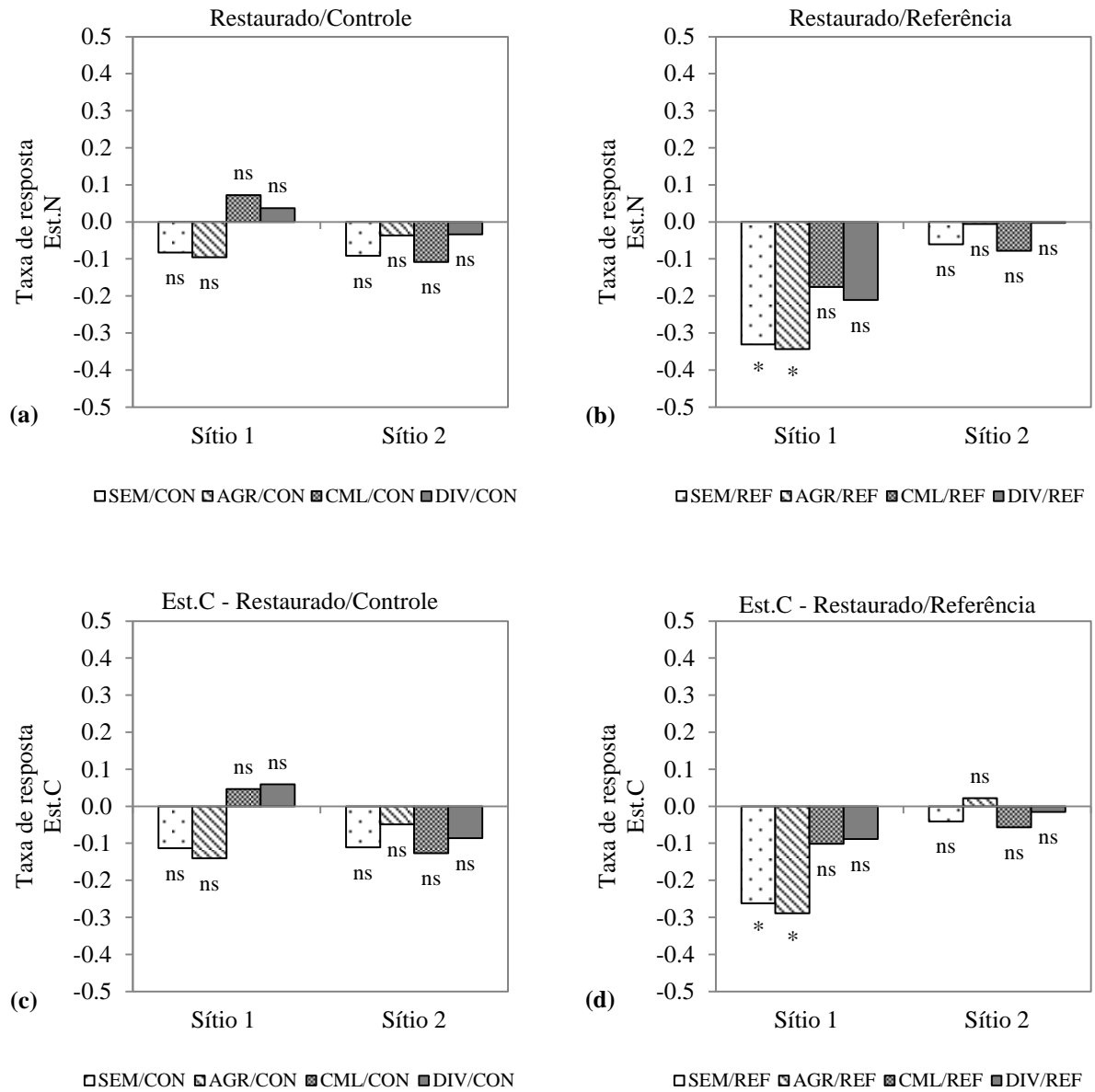


Figura 28. Taxa de resposta [$\ln(\text{restaurado}/\text{controle})$] e [$\ln(\text{restaurado}/\text{referência})$] dos valores médios do estoque de carbono e nitrogênio, na profundidade de 0-40 cm, entre os sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado) e o sistema controle (CON) (a e c), e entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (REF) (b e d), no Sítio 1 (Nitossolo Vermelho) e Sítio 2 (Argissolo Vermelho Amarelo), Botucatu, SP. Barras com * representam diferenças significativas entre os sistemas de restauração e a floresta de referência (t teste; $p < 0,05$), e entre os sistemas de restauração e o controle (Tukey; $p < 0,05$); (ns: não significativo).

4. DISCUSSÃO

Investigamos os efeitos de diferentes sistemas de restauração florestal, com distintas características de composição e estrutura, na dinâmica da matéria orgânica do solo e nos estoques de nitrogênio e carbono, em dois sítios com distintas características edáficas. Esperávamos encontrar diferenças dos atributos da matéria orgânica do solo e dos estoques de nitrogênio e carbono entre os sistemas de restauração, uma vez que os sistemas produziram diferentes quantidades de serapilheira e nutrientes (Capítulo 1). No entanto, as características abióticas do sítio, em especial as relacionadas com a textura do solo, foram determinantes nos processos relacionados à dinâmica da matéria orgânica e, conseqüentemente, nos estoques de nitrogênio e carbono, em que verificamos resultados contrastantes nos diferentes sítios analisados.

4.1. Efeitos do sítio nos atributos da matéria orgânica e nos estoques de nitrogênio e carbono

Os resultados mostraram que o Sítio 1 apresentou maiores valores de nitrogênio total e carbono orgânico total; conseqüentemente, verificamos no Sítio 1, pela análise multivariada, maiores associações dos atributos da matéria orgânica, bem como os maiores valores dos estoques de carbono e nitrogênio. Dos atributos químicos e físicos do solo, verificamos forte correlação dos teores de argila com os estoques de nitrogênio e carbono no solo. De fato, o Sítio 1 apresentou classe textural argila (44-54%) em todas as profundidades estudadas; enquanto no Sítio 2 verificamos predomínio da classe areia (89-93%) (Tabela 17). Apesar de alguns estudos não terem constatado efeitos da argila nos estoques de carbono e nitrogênio (NAVE et al., 2013), diversos outros estudos, inclusive análises globais (meta-análises) em diferentes regiões tropicais do mundo, têm indicado forte efeitos dos teores de argila na dinâmica da MOS (BATJES; SOMBROEK, 1997; MARIN-SPIOTA; SHARMA, 2013). Os maiores teores de argila, segundo os estudos supracitados, regulam as taxas de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que a argila fornece uma área de superfície reativa para a estabilização de formas organominerais de C (SCHIMEL et al., 1994; ZINN et al., 2007). Dessa forma, o carbono pode ser fisicamente

protegido da decomposição pelo aprisionamento em meio aos poros ou por proteção química, por exemplo, pela adsorção na superfície das argilas (SIX et al., 2002).

Além da quantidade de argila, outras características inerentes do solo influem na estocagem de carbono e nitrogênio, como a maior profundidade do solo, a alta atividade da argila, a alta retenção de água e as altas concentrações de N, P e S (STEVENSON; COLE, 1999). Assim, somente a quantidade de argila não implicará em maior estocagem de carbono e nitrogênio. Por exemplo, Marín-Spiotta e Sharma (2013), ao estudarem, por meio de uma meta-análise, os estoques de carbono em diversas formações sucessionais, plantações florestais e florestas naturais de regiões tropicais, verificaram efeitos da atividade da argila (atividade alta) nos estoques de carbono. No entanto, quando compararam seus resultados com outros estudos constataram valores diferentes de estoque de carbono para o mesmo tipo de solo. Os autores destacaram a importância de não considerar apenas o tipo de solo que um sítio possuiu, mas o entendimento da importância relativa de mecanismos específicos que influem na estabilidade do carbono. Nessa linha, verificamos no Sítio 1, além da quantidade de argila, argilas com atividade alta em todas as profundidades, diferentemente do que constatamos no Sítio 2, onde além de encontrarmos baixos teores de argila (5,5-12,5%; Tabela 17) essas eram de baixa atividade. Assim, acreditamos que os altos teores associados com a alta atividade da argila podem ter favorecido os estoques de carbono e nitrogênio no Sítio 1 pelo o mecanismo de estabilização química da MOS (HASSINK et al., 1993; SIX et al., 2002; BRUUN et al., 2015). Outro mecanismo que também pode ter influenciado nos estoques de C e N no Sítio 1 é o de proteção química, pela influência da agregação na acumulação da MOS (PLANTE et al., 2006). Solos com altos teores de argila e grande quantidade de matéria orgânica são susceptíveis em formar agregados, o que protegeria fisicamente a MOS ao formar barreiras físicas entre micróbios e enzimas e seus substratos, controlando assim os efeitos da fauna do solo (SIX et al., 2002).

Já no Sítio 2, os altos valores da fração areia influíram negativamente nos estoques de carbono e nitrogênio do solo. Em solos arenosos, o arranjo das partículas primárias resulta em uma distribuição de poros de maior tamanho, o que facilita o acesso microbiano à MOS (PILON et al., 2002). Além disso, a baixa quantidade de argila pode ter impossibilitado a formação de microagregados, cuja função é de estabilizar a MOS (SIX et al., 2002). Essa condição de altos valores de areia no Sítio 2, associadas com a não formação de

agregados, pode ter favorecido o processo de decomposição com conseqüente mineralização da MOS, o que pode ter levado à redução dos valores dos estoques de N e C no sítio (HASSINK et al., 1993).

4.2. Efeitos dos sistemas de restauração nos atributos da matéria orgânica e comparações com o sistema controle e a floresta de referência

Verificamos resultados contrastantes dos efeitos dos sistemas de restauração em cada sítio, o que está relacionado, principalmente, com a textura do solo. Enquanto no Sítio 1 ocorreram diferenças entre os sistemas para várias variáveis da matéria orgânica do solo (MOS) em diferentes profundidades, no Sítio 2, de maneira geral, os sistemas apresentaram valores semelhantes. O mesmo ocorreu nas comparações dos sistemas com a floresta de referência, onde verificamos taxas de resposta positivas e negativas nos sistemas do Sítio 1; ao passo que no Sítio 2, de maneira geral, os sistemas não diferiram da referência.

Acreditávamos que os sistemas influiriam de forma diferenciada nos atributos da MOS e que haveria maiores diferenças entre eles, já que as produções e serapilheira e nutrientes diferiram, conforme apresentamos no Capítulo 1. No entanto, constatamos poucas diferenças entre os sistemas de restauração no Sítio 2. Esse resultado sugere que, no Sítio 2, os sistemas de restauração possuem o mesmo potencial em alterar as propriedades da MOS. Uma possível explicação para as semelhanças entre os sistemas pode estar na quantidade de serapilheira acumulada na superfície do solo, que não diferiu entre os sistemas, tampouco entre os sistemas e a referência (Apêndices 14 e 18). Associado a isso, como discutido anteriormente, a grande quantidade de areia pode ter facilitado a decomposição da MOS, uma vez que o material estava desprotegido do acesso de organismos decompositores, levando, conseqüentemente, à redução dos teores de NT e COT no solo (SIX et al., 2002). O fato de os sistemas apresentarem quantidade de COT semelhantes à referência, floresta que se encontra em bom estado de conservação, nos leva a supor que as florestas restauradas pelos diferentes sistemas tenham atingido um estado de saturação de carbono no solo (ver SIX et al., 2002; STEWART et al., 2007). Assim, a entrada de maiores quantidades de material vegetal não implicará em aumento nos valores carbono orgânico no solo, principalmente pelo fato desses solos possuírem grande quantidade de areia, o que seria mais um indicativo de que o solo está efetivamente saturado por carbono (STEWART et al., 2007).

As diferenças no Sítio 1, ao contrário do Sítio 2, podem estar relacionadas com a quantidade de serapilheira acumulada na superfície do solo, que diferiu entre os sistemas e entre os sistemas e a referência (Apêndices 13 e 18). Isso explica, em um primeiro momento, a diferenciação dos atributos da MOS nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Quando analisamos os efeitos dos sistemas nos atributos da MOS, verificamos maiores valores para os sistemas comercial e diversificado, com destaque para o comercial, que apresentou maiores valores de NT. O sistema comercial também foi o único que não se diferiu da referência nos valores de COT em todas as profundidades e nos valores de NT nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm. O destaque para o sistema comercial pode estar relacionado às altas produções de serapilheira e nitrogênio, conforme apresentamos no Capítulo 1. Como discutido, o comercial produziu grande quantidade de folhas e nitrogênio devido à presença de uma espécie de leguminosa, *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., que é caracterizada por produzir grande biomassa de folhas e de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio (FERNANDES et al., 2006; FERREIRA et al., 2007; CAMARGO; ENGEL, 2011⁷). Os efeitos positivos das leguminosas fixadoras na restauração dos atributos do solo são comumente conhecidos (FELDPAUSCH et al., 2004; MACEDO et al., 2008; WANG et al., 2010; HOOGMOED et al., 2014). Macedo et al. (2008), ao estudarem as mudanças nos estoques de C e N e a dinâmica de nutrientes após 13 anos de recuperação de uma paisagem degradada por meio do plantio de leguminosas fixadoras de nitrogênio, verificaram semelhanças nas concentrações de N e C entre as áreas reflorestadas e uma floresta de referência, com destaque para a área reflorestada que apresentou maiores valores que a área desflorestada. Os autores indicaram que as leguminosas foram eficazes em restabelecer a matéria orgânica do solo. Assim, a manutenção ou acréscimo da MOS, além de aumentar os teores de N e C no solo, possui efeitos na formação e manutenção de agregados, na fertilidade e na disponibilidade de água e nutrientes (SIX et al., 2002).

Em se tratando dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, o sistema comercial não diferiu da floresta de referência; enquanto os sistemas semeadura, agroflorestal e diversificado tiveram maiores valores em três das quatro profundidades avaliadas (5-10, 10-20 e 20-40). Verificamos também valores semelhantes de $\delta^{15}\text{N}$ foliar entre

⁷ CAMARGO, J. A. S. C.; ENGEL, V. L. (Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP). Dados não publicados, 2011.

o comercial e a REF (Apêndice 18). A partir dos valores de NT e $\delta^{15}\text{N}$, nossos resultados indicam que o comercial é o sistema de restauração que mais se assemelha com a referência na dinâmica de N. Estudos têm apontado que maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar são indicativos de maior disponibilidade de N foliar, associado a maiores perdas (CRAINE et al., 2009), o que tem sido comumente observado em estudos de cronosequência de florestas (MARTINELLI et al., 1999; AMAZONAS et al., 2011). Amazonas et al. (2011), ao compararem a dinâmica de nitrogênio de sistemas de restauração com diferentes idades e uma floresta de referência, verificaram aumento nos teores de ^{15}N e NT foliar ao longo da cronosequência, e atribuíram os resultados à idade da floresta, já que com a idade a porcentagem de espécies de leguminosas diminuiu. Davidson et al. (2007), sustentam esses resultados, ao relatarem que florestas tropicais são limitadas por N nas etapas iniciais da sucessão, com maior ciclagem interna e perda reduzida desse nutriente, ao passo que com o avanço sucessional ocorre um aumento gradativo das concentrações desse elemento. Valores de ^{15}N do solo mais próximos de zero são indicativos de fixação biológica de nitrogênio. Assim, esperávamos encontrar menores valores de ^{15}N nos solos sob sistemas com o maior número de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio. Contudo, nossos resultados não mostraram valores próximos de zero, tampouco constatamos diferenças nos valores de ^{15}N entre os sistemas com maior e menor porcentagem de indivíduos de espécies de leguminosas, o que poderia ser um indicativo de fixação biológica de nitrogênio. Além disso, o solo do Sítio 1 é naturalmente fértil, o que implica na não necessidade das plantas de se associarem com bactérias fixadoras de nitrogênio. O fato ainda de o sistema comercial apresentar valores de ^{15}N que não diferiu da floresta de referência é um indicativo de pouca conservação de N (CRAINE et al., 2009). Por exemplo, Gei et al. (2013) compararam a composição estável de ^{15}N no solo sob espécies de leguminosas e não leguminosas em florestas secundárias e em plantios homogêneos, e esperavam encontrar menores valores de ^{15}N sob as espécies fixadoras. No entanto, os autores encontraram resultados semelhantes para as espécies fixadoras e não fixadoras nos dois tipos de florestas. Os autores indicaram dois mecanismos que explicavam os resultados. O primeiro consistiu que a entrada de N da fixação altera a assinatura de ^{15}N . O segundo, que corrobora nossos resultados, sugere que folhas e solos enriquecidos em ^{15}N podem indicar pouca conservação de N ou sistemas impermeáveis, onde

isotopicamente o N atmosférico é perdido do ecossistema devido ao fracionamento durante as perdas de N.

Enquanto os sistemas semeadura, comercial e diversificado não diferiram da referência nos valores do carbono das diferentes técnicas de fracionamento, o sistema AGR apresentou taxa de resposta significativa negativa nos teores de HUM, FAH e COam, frações mais estáveis da MOS. Os menores valores do carbono dessa fração no sistema AGR podem estar relacionados com os menores valores de serapilheira aportada e estocada, associados com taxa de decomposição mais rápida. De fato, o sistema agroflorestal foi caracterizado com baixos valores de relação C:N e alta constante de decomposição ($k = 1,00$; calculada pela relação aporte/estoque), enquanto os sistemas semeadura, comercial e diversificado apresentam, respectivamente, constantes de 0,54, 0,85 e 0,83, e a floresta de referência valor de 0,71. É importante destacar que a decomposição pode alterar a quantidade de C no solo, já que 2/3 do C orgânico é rapidamente convertido em CO₂ pela respiração microbiana (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Assim, mesmo sabendo que os mecanismos que levam à estabilidade do carbono não sejam claros, em função das complexas relações que ocorrem no solo, uma estratégia ideal é utilizar espécies, como plantas fixadoras, que favoreçam a formação de substâncias húmicas (PRESCOTT, 2010).

Os sistemas de restauração apresentaram os mesmos valores do isótopo $\delta^{13}\text{C}$ em todas as profundidades avaliadas, em ambos os sítios, e esses resultados refletiram na não diferenciação dos sistemas para os valores do estoque de carbono oriundo de plantas C3 e C4. No entanto, verificamos diferenças nas camadas superficiais (0-10 cm) quando comparamos os sistemas de restauração com o controle, o que é um reflexo tanto do material que está sendo acumulado na superfície do solo quanto da alta quantidade de raízes finas produzidas pelas gramíneas. Em outras palavras, os sistemas de restauração, de ambos os sítios, já apresentam nas profundidades superficiais valores de $\delta^{13}\text{C}$ dentro da faixa reportada para plantas C3 (-20 a -34‰), enquanto o controle, que é infestado por gramíneas, apresenta carbono de plantas C4 (-9 a -17‰) (BUCHMANN; KAPLAN, 2001). Outros estudos também chegaram a esses resultados nas camadas mais superficiais do solo (MARÍN-SPIOTA et al., 2009; COOK et al., 2013), apontando a existência de um padrão.

As comparações dos valores de ^{13}C entre os sistemas com a referência, mostraram resultados contrastantes entre os sítios. No Sítio 1 todos os sistemas se diferiram da

referência, ao passo que no Sítio 2 os sistemas já se igualaram. As semelhanças encontradas no Sítio 2 podem estar relacionadas com os altos teores de areia, que provavelmente aceleram o processo de decomposição da MOS como um todo, em função possivelmente da ausência de agregados. Já, no Sítio 1, a grande quantidade de argila pode ter favorecido a formação de agregados, que com sua característica de estabilização da MOS tem dificultado o processo de transformação desse material, cuja relação C:N é alta (Apêndice 18), e, conseqüentemente, guardando herança de material originário de plantas C4. Um estudo da dinâmica da matéria orgânica do reflorestamento sobre pastagens com várias idades, em que os autores estudaram a origem do carbono em diferentes frações da matéria orgânica, indicou que o ^{13}C aumentou progressivamente das frações menos estáveis para as frações mais estáveis, o que representou aumento da presença de resíduos derivados das pastagens (MARÍN-SPIOTA et al., 2009), o que está em consonância com a nossa suposição. Outro estudo também corrobora nossa suposição, ao indicar que o carbono da conversão da floresta para pastagem permaneceu nas frações físicas da MOS (microagregados, silte e argila), mesmo depois de 100 anos (LISBOA et al., 2009).

4.3. Relações das características da vegetação e os estoques de nitrogênio e carbono

Encontramos diferentes efeitos dos sistemas de restauração nos estoques de nitrogênio e carbono entre os sítios estudados. No Sítio 1, os sistemas estocam diferentes quantidades de N e C, sendo a área basal e a deciduidade responsáveis pelas diferenças encontradas. No Sítio 2, os sistemas estocam a mesma quantidade, e dentre as variáveis da vegetação analisadas encontramos fortes efeitos da densidade de indivíduos. No Sítio 1, de maneira geral, verificamos maior estoque de N e C nos sistemas comercial e diversificado, destacando-se o comercial no estoque de N e o diversificado no estoque de C. Os sistemas comercial e DIV também se assemelharam com a referência, enquanto semeadura e agroflorestal ainda possuíram estoques inferiores. Das variáveis da vegetação analisadas, encontramos correlações negativas da área basal e deciduidade com os estoques, o que indica que à medida que aumentam a área basal e a deciduidade, os estoques de C e N diminuem. De fato, os sistemas que apresentaram maior área basal e deciduidade, semeadura e agroflorestal, estocaram menores quantidades de N e C.

Os estoques de C e N são influenciados por complexas interações de clima, tipo de solo, manejo e espécies vegetais (LAL, 2005); porém, a principal origem do carbono e nitrogênio no solo é pela entrada de resíduos vegetais via serapilheira (BAER et al., 2010, presente estudo). Diante disso, mesmo que estudos desenvolvidos em florestas tropicais tenham apontado efeitos positivos da área basal com a produção de serapilheira (CLARK et al., 2009), nossos resultados mostraram resultados contrários, com efeitos negativos da área basal e deciduidade na produção de serapilheira e nutrientes (ver Capítulo 1), sugerindo que outras variáveis da vegetação de sistemas de restauração podem ter efeitos na produção de serapilheira e nutrientes. Assim, uma explicação para os menores valores dos estoques de N e C nos sistemas semeadura e agroflorestal se deve a menor entrada de serapilheira e nutrientes nesse sistema (VETERDAL et al., 2008).

Ao contrário das diferenças entre os sistemas de restauração do Sítio 1, os sistemas de restauração do Sítio 2 não diferiram entre si no estoque de N e C. Dentre as variáveis da vegetação analisadas, os resultados mostraram que a densidade de indivíduos arbóreos possuiu efeitos negativos nos estoques de N e C. De forma contrária aos resultados do Sítio 1, não constatamos efeitos significativos diretos da densidade da vegetação na produção de serapilheira e nitrogênio, tampouco nos estoques de serapilheira e carbono e nitrogênio da serapilheira. Com base nesses resultados, acreditamos que o principal fator responsável pelos estoques de N e C no Sítio 2 seja a quantidade de areia, que possivelmente tem implicado em ciclagem mais rápida de nutrientes e assim reduzindo os estoques de N e C no solo. Estudo realizado em pradarias em processos de restauração também apontou grandes efeitos da textura nos estoques de C e N. Os autores associaram os menores valores de C e N no solo de textura arenosa à pouca capacidade de proteção à biomassa microbiana pela associação com os minerais primários e o pouco potencial da formação de agregados, que pudessem proteger a biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo (BAER et al., 2010). Da mesma forma, Six et al. (2004) relataram que a biomassa microbiana está fortemente associada com a atividade da argila, e verificamos valores superiores de biomassa microbiana em argilas 2:1. Nogueira-Júnior (2010), ao estudar as mesmas áreas deste estudo, registrou valores de biomassa microbiana no Sítio 1 três vezes maiores do que no Sítio 2, sendo mais uma evidência para explicar os baixos valores de estoque nesse sítio. Destacamos, todavia, que mesmo que não tenhamos encontrado efeitos das variáveis da vegetação nos estoques de C e

N, as variáveis de riqueza de espécies e a proporção de indivíduos fixadores de nitrogênio, exerceram forte efeito na produção de serapilheira e nutrientes e, dessa forma, podem influir na nutrição e dinâmica de desenvolvimento desses sistemas.

Quando analisamos os efeitos da vegetação e variáveis associadas à serapilheira nos estoques de N e C, com o objetivo de encontrar padrões gerais em uma análise conjunta dos dois sítios, nossos resultados mostraram forte efeito da riqueza de espécies, porcentagem de indivíduos fixadores e fauna de serapilheira. Os efeitos da riqueza de espécies (BAER et al., 2010; ZUO et al., 2015) e de indivíduos de espécies que se associam com bactérias fixadoras (MACEDO et al., 2008; WANG et al., 2010; HOOGMOED et al., 2014) têm sido comumente reportados, o que se deve, principalmente, aos seus efeitos na quantidade de serapilheira e nutrientes aportados (presente estudo). Contudo, acreditávamos encontrar efeitos indiretos da riqueza de espécies e plantas fixadoras nos estoques, via fauna de serapilheira, constante k e relação C:N, já que as variáveis da vegetação utilizadas estão relacionadas com a qualidade química do material vegetal, que, por sua vez, também está associada com a fauna do solo e a taxa de decomposição. No entanto, nossos resultados não mostraram essas relações, pelo menos para as variáveis utilizadas nos modelos estruturais. Isso nos leva a supor que outras variáveis podem estar mediando os efeitos da vegetação nos atributos de estoque. De fato, não encontramos efeitos da vegetação via relação C:N na fauna de serapilheira. Porém, a riqueza de espécies vegetais afetou fortemente a densidade de indivíduos da fauna via quantidade de P e Ca (Capítulo 2).

Esperávamos também encontrar relações indiretas significativas entre a fauna e a constante de decomposição. Nossos resultados, contudo, estão de acordo com (FROUZ et al., 2006), que, ao estudarem as relações da macrofauna com a formação do solo, não encontraram efeitos desses organismos na decomposição de serapilheira, mas verificaram efeitos da macrofauna na translocação de material orgânico da serapilheira para o solo, com aumento da matéria orgânica no solo. Além disso, os componentes da biota do solo diretamente associados com a decomposição da serapilheira são as bactérias e os fungos (JASTROW et al., 2007).

4.4. Comparações dos estoques de N e C entre os sistemas de restauração com o sistema controle e a floresta de referência

Os sistemas de restauração estocaram quantidades de N e C que não diferiram dos sistemas controle, que são infestados por gramíneas, estando os resultados de acordo com outros estudos que compararam florestas com pastagens (COUTINHO et al., 2008; MARÍN-SPIOTA et al., 2009; COOK et al., 2013). As semelhanças entre os sistemas de restauração e o controle são devidas à grande quantidade de biomassa de raízes finas produzida pelas gramíneas (ALVES et al., 2008; MARÍN-SPIOTA et al., 2009).

Os resultados indicaram que os sistemas de restauração implantados possuem grande potencial para estocar N e C no solo, uma vez que as quantidades já são equiparadas com outras formações florestais. Verificamos na profundidade de 0-40 cm do Sítio 1 estoques totais de N variando de 8,72 a 12,30 Mg ha⁻¹ e estoques de carbono de 89,72 a 119,75 Mg ha⁻¹. No Sítio 2 os estoques foram bem inferiores, em que N variou de 2,55 a 2,84 Mg ha⁻¹ e C de 23,64 a 26,84 Mg ha⁻¹.

Os valores dos estoques de N e C no Sítio 1 estão de acordo com outros estudos realizados em florestas do Brasil (SÁ et al., 2013; ASSAD et al., 2013; GROppo et al., 2015) e com análises globais em diversas formações tropicais do mundo (BATJES, 1996; MARÍN-SPIOTA et al., 2013). Nossos resultados também estão de acordo com estudos realizados em florestas estacionais semidecíduais (MACEDO et al., 2008). Por outro lado, os valores de estoque de N e C do Sítio 2 estão bem abaixo dos valores reportados para as classes dos Argissolos no Brasil (SÁ et al., 2013). Acreditamos que essa diferenciação se deve à grande quantidade de areia no Sítio 2. Por exemplo, Sá et al. (2013) verificaram, para solos com altos teores de areia, como os Neossolos, valores próximos aos encontrados no presente estudo, sendo N de 4,94 Mg ha⁻¹ e C de 34,4 Mg ha⁻¹. Porém, outro estudo realizado em solos do estado do Rio Grande do Sul corrobora nossos resultados, ao encontrarem, para classe dos Argissolos com altos teores de areia, valor de estoque de C de 25,4 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0-30 cm (TORNQUIST et al., 2009).

Os sistemas de restauração com maior efeito nos estoques de C e N e que não diferiram da referência foram o comercial e o diversificado, sistemas caracterizados, respectivamente, por maior número de indivíduos fixadores de nitrogênio e maior riqueza de espécies. O fato de não termos encontrados diferenças no Sítio 2 não descarta o efeito que

sistemas de restauração com essas características possuem, já que nossos resultados sugerem que no Sítio 2 a quantidade de areia é o principal fator responsável na dinâmica da MOS.

Os efeitos da riqueza e da fixação biológica de nitrogênio são de suma importância na dinâmica da MOS e, conseqüentemente, na estocagem de N e C. Alguns estudos têm apontado os efeitos da riqueza de espécies nos estoques de N e C, como os realizados na restauração de pradarias (MATAMALA et al, 2008) e pastagens (BAER et al., 2010; ZUO et al., 2015). Estudos dos estoques de N e C do solo em floresta de mesma fisionomia que o nosso estudo corroboram os nossos resultados, ao mostrarem que os estoques de N e C em plantios com leguminosas, após 13 anos de implantados, equipararam-se com à floresta de referência (MACEDO et al., 2008). Estudos desenvolvidos na China também têm destacado o potencial que as espécies de leguminosas possuem em influenciar os estoques de N do solo (WANG et al., 2010). Assim, a utilização de plantas fixadoras é promissora na incorporação e sequestro de carbono em solos florestais (PRESCOTT, 2010).

Embora nossos resultados indiquem que a riqueza de espécies e a porcentagem de fixadores de nitrogênio possuem forte influência na dinâmica da MOS, seus efeitos dependem das características edáficas, principalmente, relacionadas à textura do solo. No Sítio 1, mesmo que não tenhamos verificado diferenças entre os sistemas de restauração, nossos resultados indicaram que os sistemas comercial e diversificado são os sistemas que mais se aproximaram da floresta de referência, destacando-se o consórcio comercial, que, além de altos valores dos estoques, apresentou semelhanças com a referência nos valores de nitrogênio total, carbono orgânico total, abundância natural de ^{15}N e carbono associado aos minerais (COam).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. J. R. et al. **Dinâmica do carbono em solo sob pastagens**. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.561-569.

AMAZONAS, N. T.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; RODRIGUES, R. R. Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1551-1557, 2011.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v.10, p.6141-6160, 2013.

BAER, S. G.; MEYER, C. K.; BACK, E. M.; KLOPF, R. P.; SIX, J. Contrasting ecosystem recovery on two soil textures: implications for carbon mitigation and grassland conservation. **Ecosphere**, v.1, p.1-22, 2010.

BALESDENT, J.; WAGNER, G. H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.118-124, 1988.

BRUNN, T. B.; ELBERLING, B.; DE NEERGAARD, A. MAGID, J. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. **Land Degradation and Development**, v.26, p.272-283, 2015.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v.47, p.151-163, 1996.

BATJES, N. H.; SOMBROEK, W.G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. **Global Change Biology**, v.3, 161-173, 1997.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.7-18.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo**

custo. (EMBRAPA Solos. Comunicado Técnico, 16), Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003,7p.

BUCHMANN, N.; KAPLAN, J. O. **Carbon isotope discrimination of terrestrial ecosystems – How well do observed and modeled result match.** In: SCHULZE, E.D.; I-IELIMANN, M.; HARRISON, S.; I-IOLLAND, E.; LLOYD, J.; PRENTICE, C.; SCI-IIMEL, D. (Ed.). Global biogeochemical cycles in the climate system. San Diego: Academic Press, 2001. p.253-266.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

HOOPER, D. U.; VITOUSEK, P. M. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. **Ecological Monographs**, v.68, p.121-149, 1998.

CLARK, D. A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.; CHAMBERS, J.; THOMLINSON, J. R.; NI, J.; HOLLAND, E. A. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications**, v.11, p.371-384, 2001.

COOK, R. L.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D. Soil carbon dynamics following reforestation of tropical pastures. **Soil Science Society of America Journal**, v.78, p.290-296, 2013.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.195-203, 2008.

CRAINE, J. M.; ELMORE, A. J.; AIDAR, M. P.; BUSTAMANTE, M.; DAWSON, T. E.; HOBBI, E. A.; KAHMEN, A.; MACK, M. C.; MCLAUCHLAN, K. K.; MICHELSEN, A.; NARDOTO, G. B.; PARDO, L. H.; PENUELAS, J.; REICH, P. B.; SCHUUR, E. A.; STOCK, W. D.; TEMPLER, P. H.; VIRGINIA, R. A.; WELKER, J. M.; WRIGHT, I. J. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. **New Phytologist**, v.183, 980-992, 2009.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.345-353, 2001.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIRA, A. M.; ISHIDA, F.Y.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B.; SABÁ, R. T.; HAYASHI, S. N.; LEAL, E. C.; VIEIRA, I. C. G.; MARTINELLI, L. A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature**, v.447, p.995-998, 2007.

DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. P. Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in Eastern Amazonia. **Geoderma**, v.61, p.103-118, 1994.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 103:365-373, 2004.

ELLIOTT, E. T.; CAMBARDELLA, C. A. Physical separation of soil organic matter. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 34, 407-419, 1991.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997.212 p.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JÚNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um osque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) **Revista Árvore**, v.31, p.7-12, 2007.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S.; CRUZ, A. R.; GIÁCOMO, R. G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, v.16, p.163-175, 2006.

FELDPAUSCH, T. R.; RONDON, M. A.; FERNANDES, E. C. M.; RIHA, S. J.; WANDELLI, E. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regeneration on pastures in Central Amazonia. **Ecological Applications**, v.14, p.164-176, 2004.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.847-853, 2006.

FROUZ, J.; ELHOTTOVA, D.; KURAZ, V.; SOURKOVA, M. Effect of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: result of field microcosm experiment. **Applied Soil Ecology**, v.33, p.308-320, 2006.

GAMFELDT, L.; SNÄLL, T.; BAGCHI, R.; JONSSON, M.; GUSTAFSSON, L.; KJELLANDER, P.; RUIZ-JAEN, M. C.; FRÖBERG, M.; STENDAHL, J.; PHILIPSON, C.D. MIKUSIŃSKI, G.; ANDERSSON, E.; WESTERLUND, B.; ANDRÉN, H.; MOBERG, F.; MOEN, J.; BENGTSSON, J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. **Nature Communications**, v.4, p.1340, 2013.

GEI, M. G.; POWERS, J. S. Do legumes and non-legumes tree species affect soil properties in unmanaged forests and plantations in Costa Rican dry forests? **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p.264-272, 2013.

GRACE, J. B.; BOLLEN, K. A. Interpreting the results from multiple regression and structural equation models. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v.86, p.283-295, 2005.

GROPPO, J. D.; LINS, R. M.; CAMARGO, P.B.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeosciences**, v.12, p.4765-4780, 2015.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v.148, p.85-206, 2001.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. **Caracterização da matéria orgânica: métodos químicos e físicos**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.227-243.

GUREVITCH, J.; HEDGES, L. V. **Meta-analysis: Combining the Results of Independent Experiments**. In: Design and Analysis of Ecological Experiments, S. M. SCHEINER, J. GUREVITCH, Eds. (Oxford Univ. Press, Oxford), 347p., 2001.

HASSINK, J.; BOUWMAN, L. A.; ZWART, K. B.; BLOEM, J.; BRUSSAARD, L. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. **Geoderma**, v.57, p.105-128, 1993.

HOOGMOED, M.; CUNNINGHAM, S. C.; BAKER, P. J.; BERINGER, J.; CAVAGNARO, T.R. Is there more soil carbon under nitrogen-fixing trees than under non-nitrogen-fixing trees in mixed-species restoration plantings? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.188, p.80-84, 2014.

HOOPER, D. U.; VITOUSEK, P. M. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. **Ecological Monographs**, v.68, p.121-149, 1998.

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, v.80, p.5-23, 2007.

JONES, M. N.; BRYAN, N. D. Colloidal properties of humic substances. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.78, p.1-48, 1998.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**. v.220, p.242-258, 2005.

LISBOA, C. C.; CONANT R. T.; HADDIX, M. L.; CERRI, C. E. P, CERRI, C.C. Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a forest-topasture chronosequence in the Brazilian Amazon. **Ecosystems**, v.12, p.1212-1221, 2009.

MACEDO M. O., RESENDE A. S., GARCÍA P. C., BODDEY R. M., JANTALIA C. P., URQUIAGA S., CAMPOLLO E. F. C., FRANCO A. A. Changes in soil C and N stocks and

nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1516-1524, 2008.

MARÍN-SPIOTTA, E.; SHARMA, S. Carbon storage in successional and plantation forest soils: a tropical analysis. **Global Ecology and Biogeography**, v.22, p.105-117, 2013.

MARIN-SPIOTTA, E.; SILVER, W.L.; SWANSTON, C.W.; OSTERTAG, R. Soil organic matter dynamics during 80 years of reforestation of tropical pastures. **Global Change Biology**, v.15, p.1584-1597, 2009.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W. H.; ROBERTSON, G.P.; SANTOS, O.C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, v.46, 45-65, 1999.

MATAMALA, R.; JASTROW, J. D.; MILLER, R. M.; GARTEN, C. T. Temporal changes in C and N stocks of restored prairie: implications for C sequestration strategies. **Ecological Applications**, v.18, v.1470-88, 2008.

NAVE, L. E.; SWANSTON, C. W.; MISHRA, U.; NADELHOFFER, K. J. Afforestation effects on soil carbon storage in the United States: a synthesis. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.1035-1047, 2013.

NOGUEIRA-JÚNIOR, L. R. **Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica**. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010, 94p.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v.44, p.322-331, 1963.

PILON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado (Documentos, 105), 2002. 41 p.

PLANTE, A. F.; CONANT, R. T.; STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; SIX, J. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.287-296, 2006.

PRESCOTT, C. E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? **Biogeochemistry**, v.101, p.133-149, 2010.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas Instituto Agrônomo, 1997, 285p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds.) Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; LAL, R.; MORAES, A.; TIVET, F.; SÁ, M. F. M; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O.; FARIAS, G. E. A.; FRIEDRICH, T. Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.2094-2110, 2013.

SCHIMEL, D. S.; BRASWELL, B. H.; HOLLAND, E. A.; MCKEOWN, R.; OJIMA, D. S.; PAINTER, T. H.; PARTON, W. J.; TOWNSEND, A. R. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. **Global Biogeochemical Cycles**. v.8, p.279-293, 1994.

SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A. E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v.8, p.394-407, 2001.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, v.241, p.155-176, 2002.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1999. 427p.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry**, v.86, p.19-31, 2007.

TORNQUIST, C. G.; GIASSON, E.; MIELNICZUK, J. CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M. Soil organic carbon stocks of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.73, p.975-982, 2009.

VESTERDAL, L.; SCHMIDT, I. K.; CALLESEN, I.; NILSSON, L. O.; GUNDERSEN, P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.35-48, 2008.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. **Matéria orgânica e qualidade do solo**. In: SANTOS, G. A. et al. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª edição, Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, p.483-494, 2008.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 17:137-167, 1986.

WANG, F.; LI, Z.; XIA, H.; ZOU, B.; LI, N.; LIU, J.; ZHU, W. Effects of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species on soil properties and nitrogen transformation during forest restoration in southern China. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.56, p.297-306, 2010.

YEOMANS, J. C.; BREMMER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1998.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.1204-1214, 2007.

ZUO, X.; ZHANG, J.; ZHOU, X.; ZHAO, X.; WANG, S.; LIAN, J. Lv, P.; KNOPS, J. Changes in carbon and nitrogen storage along a restoration gradient in a semiarid sandy grassland. **Acta Oecologia**, v.69, p.1-8, 2015.

CONCLUSÕES GERAIS

A compreensão das relações entre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas ainda é um desafio nos estudos de Ecologia da Restauração, principalmente em ecossistemas florestais em processo de restauração ecológica. Dentre as lacunas do conhecimento, é necessário entender não somente os efeitos da biodiversidade (isto é, a riqueza de espécies), da estrutura das comunidades e das características funcionais das espécies no funcionamento dos ecossistemas, mas também as relações dessas características com o ambiente abiótico. Acreditamos que o entendimento dos mecanismos e dos processos que direcionam essas relações fornecerão bases para o aperfeiçoamento da prática em restauração ecológica.

A definição clara dos objetivos em projetos de restauração ecológica é de suma importância para a seleção das estratégias que melhor se adequam a cada situação. A partir de uma análise integradora dos processos aqui estudados, nossos resultados sugerem que, em sentido amplo, sistemas com menor riqueza de espécies, mas compostos por espécies com características particulares, podem ser tão eficazes na restauração de processos ecológicos, quanto sistemas que apresentam alta riqueza. No entanto, a magnitude das relações entre a riqueza do sistema e a restauração dos processos ecológicos depende fortemente das condições abióticas do sítio, principalmente as propriedades físico-químicas do solo.

Nossos resultados indicam que é possível restaurar a produção de serapilheira e a transferência de nutrientes em solos de baixa fertilidade natural implantando sistemas de restauração com maior riqueza de espécies (cerca de 40) com diferentes características ecológicas/silviculturais, ou sistemas com riqueza intermediária (cerca de 25), mas com alta porcentagem de espécies que se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio. Sistemas florestais com uma dessas características implantados em solos com baixa fertilidade podem promover o aumento da produção e da transferência de nutrientes devido ao papel de complementaridade na utilização dos recursos que as espécies podem exercer. Além disso, nossos resultados mostraram que, em sítios de maior fertilidade, é possível aumentar a transferência de nutrientes implantando sistemas com alta densidade de indivíduos, em que algumas espécies com características específicas (isto é, capacidade de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio) podem se tornar dominantes no sistema (alta abundância

relativa) por um processo de seleção, contribuindo mais significativamente na ciclagem dos nutrientes.

Para a composição e a estrutura da fauna associada à serapilheira, nossos resultados sugerem que, desde que sistemas de restauração sejam capazes de estocar serapilheira em termos de quantidade e qualidade na superfície do solo e manter a umidade do solo, características que foram associadas principalmente ao sítio e à sazonalidade, tanto sistemas simples, como os aqui representados pela restauração passiva e pelo sistema de semeadura direta, quanto sistemas com maior riqueza de espécies são eficazes em restaurar a composição estrutural dos organismos da fauna.

Quanto aos estoques de carbono e nitrogênio, nossos resultados apontaram forte relação desses atributos com a riqueza de espécies e com a porcentagem de indivíduos de espécies fixadoras de nitrogênio, resultando na diferenciação entre os sistemas de restauração e entre esses e a referência. Entretanto, constatamos maior efeito dessa relação somente no sítio de maior fertilidade natural, com grande quantidade de argila. No sítio com baixa fertilidade, a expressiva quantidade de areia resultou em menor acúmulo de matéria orgânica no solo, e, portanto, não detectamos efeitos dos sistemas de restauração implantados, os quais também não se diferiram do controle e da referência. Dessa forma, sistemas de restauração com maior riqueza de espécies e/ou com espécies fixadoras de nutrientes podem favorecer os estoques de carbono e nitrogênio em solos com alta fertilidade e com altos teores de argila; ao passo que, em sítios que apresentam textura arenosa, desde que sistemas florestais sejam capazes de produzir grande quantidade de serapilheira, tanto sistemas simples com menor número de espécies quanto sistemas com maior número de espécies podem propiciar o acúmulo de matéria orgânica no solo.

Por fim, nosso estudo destaca a importância de conhecer o ambiente do solo e suas características intrínsecas para a definição de estratégias que objetivem a restauração dos processos da ciclagem de nutrientes. Ressaltamos, no entanto, que o ciclo de nutrientes é um dos processos com efeito no funcionamento do ecossistema, mas que pode influenciar toda a dinâmica de desenvolvimento das comunidades florestais, determinando, conseqüentemente, o sucesso do sistema de restauração implantado.

APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização da vegetação arbórea dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e florestas de referência (REF-S1: referência do Sítio 1; REF-S2: referência do Sítio 2). FBN: capacidade de fixação biológica de nitrogênio (F: fixadoras). DEC: decíduidade (B: brevidécida; D: decídua; SV: sempre verde).

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
Anacardiaceae																
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.		7					144		0,003					1,251		B
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	2	7	8	25	176			0,054	0,000	0,000	0,189	4,967				SV
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.							2							0,111		SV
Annonaceae																
<i>Annona cacans</i> Warm.							4							0,000		B
<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.		4	8	8	2	9		0,000	0,009	0,001	0,000	0,009				SV
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.				8							0,001					B
Apocynaceae																
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.			8							0,008						D
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.			8	33	2		65			0,001	0,037	0,000		1,513		B
<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Müll.Arg.						24	89					0,015		1,392		SV
<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC.	31	381	442	458	31	9		0,117	0,386	0,150	0,269	0,099	0,103			D
Arecaceae																
<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Schott) Burret					4							0,001				SV
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman					2		7					0,001		0,169		SV
Asteraceae																
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	6	15	17	8				0,003	0,002	0,001	0,001					SV
<i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H.Rob.	119	41	42		7			0,190	0,006	0,004		0,000				SV
Bignoniaceae																
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos				17							0,004					D
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.						2							0,001			D

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith				25	2						0,155	0,000				D
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	33	70		17	22			0,049	0,074		0,000	0,002				D
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.			58	25	2					0,385	0,004	0,002				B
Boraginaceae																
<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill.							2							0,000		SV
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.		9	8	33	2	15		0,002	0,003	0,001	0,000	0,007				SV
<i>Cordia superba</i> Cham.					20						0,145					SV
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.		11			9			0,001			0,000					D
Cactaceae																
<i>Cereus</i> sp.		6							0,034							SV
Cannabaceae																
<i>Celtis ehrenbergiana</i> (Klotzsch) Liebm.							6							0,107		SV
<i>Celtis fluminensis</i> Carauta			75	58						0,010	0,016					B
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.		41			13			0,065				0,002				B
<i>Celtis</i> sp.					2							0,001				B
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume		13		8		4		0,030			0,007		0,001			B
Caricaceae																
<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.							2							0,073		D
<i>Vasconcellea quercifolia</i> A.St.-Hil.			8							0,001						SV
Combretaceae																
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	7	43		25	9			0,001	0,020		0,093	0,008				B
Ebenaceae																
<i>Diospyros hispida</i> A.DC						2							0,000			D
Elaeocarpaceae																
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.							4							0,015		D

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
Euphorbiaceae																
<i>Actinostemon conceptionis</i> (Chodat & Hassl.) Hochr.							317							0,053		B
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.							196							0,408		B
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.			8		2	2	13			0,007		0,000	0,048	0,127		B
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.		13	83	42	4			0,013	0,055	0,025	0,000					B
<i>Croton floribundus</i> Spreng.		54	58	100	137		52	0,068	0,009	0,013	2,734			0,502		B
<i>Ricinus communis</i> L.		9		25				0,001			0,005					SV
Fabaceae																
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart							6							0,031	F	D
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul			92	75	37					1,239	1,141	0,726			F	B
<i>Bauhinia forficata</i> Link		9				13	2	0,003					0,044	0,018		D
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.				8	39	22					0,003	0,344	0,350		F	B
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.		6	17	150	41			0,001	0,009	0,355	0,179					SV
<i>Dipteryx alata</i> Vogel					76							0,384				SV
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	6	244	100	58	35			0,084	5,641	2,774	1,279	0,785			F	D
<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	2					20	52	0,001					0,001	0,032		SV
<i>Hymenaea courbaril</i> L.			100	75	59		6			1,264	0,267	0,250		0,159		B
<i>Inga</i> sp.		2							0,001						F	SV
<i>Inga striata</i> Benth.		11		8	2		11	0,001			0,110	0,202		0,033	F	SV
<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima		98	17	17	7	117	4	0,269	0,010	0,004	0,002	0,531	0,004		F	D
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.					2							0,000			F	D
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel			8							0,021					F	D
<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel						2							0,010		F	B
<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.					2		2					0,000		0,007	F	B

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
<i>Machaerium pedicellatum</i> Vogel						4							0,041		F	B
<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel		2			67	69	6	0,000				0,887	0,559	0,051	F	B
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	6	20	767	500	4			0,019	0,045	5,493	7,438	0,002			F	D
<i>Myrocarpus frondosus</i> Alemão							4							0,008	F	B
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.				33	11						0,143	0,110				D
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan		41	67	375	19	35		0,025	0,010	0,121	0,000	0,128			F	B
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	24	85	42	133	22		2	0,014	0,032	2,651	0,514	0,010		0,003		D
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.		11	33	92	24	85		0,176	0,014	0,108	1,095	0,417			F	B
<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.					24							0,107			F	B
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	4		92	67	70			0,007		5,228	0,709	0,404				B
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake		391			37	2	2	20,73				1,715	0,000	0,229		D
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose		2	17	42	9	19	43	0,000	0,002	0,012	0,116	0,274	0,104			B
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby		4						0,001								D
<i>Senna splendida</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby						2							0,000			SV
<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.							2							0,000		D
<i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze						30							6,272		F	B
Lamiaceae																
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke			58	17	4					0,011	0,008	0,012				D
<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.		6			2			0,002				0,001				D
Lauraceae																
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.							6							0,002		SV
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees		2			2			0,000				0,003				SV
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez		13	33	25	4	1028	6	0,003	0,005	0,009	0,020	2,854	0,000			D
<i>Ocotea indecora</i> (Schott) Mez						2	31						0,008	0,127		SV
<i>Ocotea velutina</i> (Ness) Rohwer							9							0,358		B

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez							4							0,117		B
Lecythidaceae																
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze					6	2	4					0,000	0,001	0,004		B
<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze				8							0,001					B
Loganiaceae																
<i>Strychnos brasiliensis</i> Mart.						13	6						0,003	0,000		SV
Malvaceae																
<i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl.		2				2	2	0,000					0,000	0,012		SV
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna		7	8		11	2	2	0,103	0,002			0,110	0,003	0,142		D
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.				17	2		2				0,000	0,029		0,041		B
<i>Helicteres lhotzkyana</i> (Schott & Endl.) K.Schum.						2							0,011			D
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth						2							0,000			SV
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc					17	6						0,465	0,152			B
Meliaceae																
<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart.						17							0,051			D
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	9	2	17	50	26	4		0,006	0,001	0,234	0,173	0,129	0,105			D
<i>Guarea macrophylla</i> Vahl						98							0,064			SV
<i>Guarea</i> sp.		2			11			0,001				0,000				SV
<i>Trichilia casaretti</i> C.DC.					4	41	93					0,000	0,006	0,033		B
<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.						20	85						0,007	0,328		B
<i>Trichilia clauseni</i> C.DC.		2			4	313	43	0,000				0,000	0,368	0,022		B
<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.			8			209	146			0,000			0,030	0,050		B
<i>Trichilia hirta</i> L.		4	8	17	4			0,001	0,002	0,001	0,000					SV
<i>Trichilia pallens</i> C.DC.						2							0,000			SV
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	13	33		50	65		22	0,012	0,006		0,004	0,005		0,012		B

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
Monimiaceae																
<i>Mollinedia schottiana</i> (Spreng.) Perkins							7							0,005		SV
<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.		7			4	94	2	0,002				0,000	0,016	0,009		B
Moraceae																
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat					15							0,118				B
<i>Ficus insipida</i> Willd.							2							0,000		B
<i>Ficus</i> sp.							2							0,037		B
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.		2	8			9	7	0,000	0,000				0,099	0,247		B
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger et al.						11	78						0,001	0,050		B
Myrtaceae																
<i>Calyptranthes concinna</i> DC.							15							0,016		SV
<i>Calyptranthes lucida</i> Mart. ex DC.							2							0,000		SV
<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg						2	2						0,008	0,013		SV
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg			8				15			0,009				0,125		B
<i>Eugenia florida</i> DC.		2			2		22	0,000				0,001		0,010		SV
<i>Eugenia hiemalis</i> Cambess.							22							0,010		B
<i>Eugenia longipedunculata</i> Nied.						2	130						0,000	0,155		SV
<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.			25							0,044						SV
<i>Eugenia paracatuana</i> O.Berg							2							0,000		SV
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.					6							0,016				SV
<i>Eugenia</i> sp.							2							0,001		SV
<i>Eugenia uniflora</i> L.		2		8	65		2	0,000			0,014	0,251		0,000		SV
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.						6							0,054			B
<i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand			8			2				0,000			0,000			SV

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg							24							0,011		B
<i>Myrtaceae</i> sp.1			8	8						0,000	0,000					SV
<i>Myrtaceae</i> sp.2							2							0,000		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.3							2							0,001		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.4							6							0,034		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.5							2							0,002		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.6							2							0,002		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.7							2							0,000		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.8							2							0,013		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.9							4							0,009		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.10							4							0,000		SV
<i>Myrtaceae</i> sp.11							4							0,002		SV
<i>Neomitranthes glomerata</i> (D.Legrand) D.Legrand		15			4		44	0,001				0,000		0,045		SV
<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts		2					2	0,000						0,000		SV
<i>Psidium guajava</i> L.	257	167	50	400	241			0,943	0,453	0,224	1,359	0,914				SV
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston							2							0,000		SV
Nyctaginaceae																
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz						7	11							0,001	0,039	SV
Opiliaceae																
<i>Agonandra excelsa</i> Griseb.						2	6							0,000	0,033	SV
Peraceae																
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.							2							0,010		SV
Phytolaccaceae																
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms			8			13	102			0,001				0,972	1,679	B
<i>Seguiera langsdorffii</i> Moq.						13								0,002		SV

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
Piperaceae																
<i>Piper amalago</i> L.		96	600	783	44	478	100		0,045	0,122	0,180	0,002	0,083	0,036		B
<i>Piper gaudichaudianum</i> Kunth		41			7	11	2		0,010			0,000	0,002	0,001		SV
<i>Piper marginatum</i> Jacq.		4			4				0,004			0,000				SV
<i>Piper mollicomum</i> Kunth		41	92	42	56	19			0,019	0,007	0,022	0,004	0,003			SV
<i>Piper</i> sp.1				17							0,004					SV
<i>Piper</i> sp.2			117	442						0,023	0,096					SV
<i>Piper umbellatum</i> L.		24				2			0,006				0,000			SV
Polygonaceae																
<i>Coccoloba cordata</i> Cham.					4		9					0,001		0,019		D
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.							6							0,002		D
Primulaceae																
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	4	11			43			0,001	0,004			0,002				SV
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze							2							0,000		SV
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.			8	33		2				0,001	0,003		0,000			SV
Rhamnaceae																
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek		6			6	2	2		0,001			0,000	0,004	0,001		B
Rosaceae																
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.						6							0,002			D
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.							2							0,001		SV
Rubiaceae																
<i>Chomelia pohliana</i> Müll.Arg.							2							0,003		SV
<i>Coffea arabica</i> L.			17			37	2			0,001			0,004	0,000		B

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
<i>Faramea montevidensis</i> (Cham. & Schltdl.) DC.						2							0,001			SV
<i>Genipa americana</i> L.					2							0,036				D
<i>Ixora venulosa</i> Benth.							26							0,010		D
<i>Psychotria</i> sp.							2							0,002		SV
<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.				17			2				0,000			0,000		D
<i>Rudgea jasminoides</i> (Cham.) Müll.Arg.							4							0,001		SV
Rutaceae																
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.				17	4	2					0,005	0,001	0,020			D
<i>Citrus</i> sp.	2	11				4		0,000	0,003					0,001		B
<i>Conchocarpus pentandrus</i> (A. St.-Hil.) Kallunki & Pirani							159							0,024		SV
<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart.				8	4		31				0,000	0,000		0,004		SV
<i>Metrodorea nigra</i> A.St.-Hil.			8				528			0,000				0,653		B
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.		13	8	42	2	4		0,002	0,001	0,007	0,000	0,000	0,002			D
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.			8	42	4		7			0,001	0,031	0,000		0,004		SV
Salicaceae																
<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.							2							0,000		D
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.		39	8	8	13	104	24	0,026	0,000	0,001	0,015	0,491	0,013			SV
<i>Prockia crucis</i> P.Browne ex L.						6							0,024			D
Sapindaceae																
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.		7	42	50	67	137		0,000	0,002	0,002	0,216	0,239				SV
<i>Cupania tenuivalvis</i> Radlk.							4							0,001		SV
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.		2	8	8	4	48	43	0,000	0,001	0,001	0,000	0,194	0,020			SV
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	2							0,001								SV

continua

Família/Espécie	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF-S1	REF-S2	FBN	DEC
	-----Densidade de indivíduos (ind.ha ⁻¹)-----							-----Área basal (m ² .ha ⁻¹)-----								
Sapotaceae																
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.			25		2	22	26			0,041		0,000	0,009	0,448		B
Solanaceae																
<i>Cestrum intermedium</i> Sendtn.		83	242	258	76				0,013	0,021	0,024	0,003				SV
<i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav.			167	42						0,025	0,005					SV
<i>Solanaceae</i> sp.							2							0,000		SV
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.		22	33	17					0,009	0,108	0,001					SV
<i>Solanum paniculatum</i> L.		4		42	7				0,000		0,003	0,000				SV
<i>Solanum pseudoquina</i> A.St.-Hil.	4	328	8	25	485	4	4	0,002	0,043	0,003	0,002	0,035	0,117	0,019		SV
<i>Solanum swartzianum</i> Roem. & Schult.		19		8		22			0,003		0,000		0,005			SV
Urticaceae																
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul				8	15						0,053	0,387				SV
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.		2	25	8		6	7		0,001	0,005	0,032		0,002	0,092		D
Verbenaceae																
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.		124	283	100	11	2	2		0,146	0,110	0,224	0,014	0,033	0,008		D
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.		4			63				0,000			2,374				D
<i>Lantana camara</i> L.	9	52	75	50	11			0,002	0,015	0,028	0,006	0,001				D
Violaceae																
<i>Hybanthus atropurpureus</i> (A.St.-Hil.) Taub.						87	124						0,012	0,022		B
Vochysiaceae																
<i>Qualea multiflora</i> Mart.							6							0,152		SV
Indeterminada																
Indeterminada 1					2							0,006				
Indeterminada 2						6							0,021			
Indeterminada 3						4							0,013			
Indeterminada 4						2							0,003			

Apêndice 2. Características da vegetação arbórea dos indivíduos plantados e regenerantes com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), dos sistemas de restauração ecológica, aos 16 anos, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado.

	Riqueza rarefeita	Área basal	Densidade	Fixadores	Decíduos
	n° espécies	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	% indivíduos	% indivíduos
Sítio					
Sítio 1	27,33 ^a \pm 1,84	22,28 ^a \pm 1,14	3612 ^a \pm 634	16,32 ^a \pm 1,70	66,43 ^a \pm 2,70
Sítio 2	21,08 ^b \pm 1,77	20,08 ^a \pm 2,60	3769 ^a \pm 526	22,61 ^a \pm 5,79	60,56 ^a \pm 5,26
Sistema					
SEM	19,83 ^b \pm 1,62	28,55 ^a \pm 2,35	2850 ^a \pm 748	17,93 ^a \pm 3,34	69,35 ^a \pm 2,15
AGR	23,66 ^{ab} \pm 3,90	20,39 ^{ab} \pm 2,05	4208 ^a \pm 936	24,79 ^a \pm 8,86	72,03 ^a \pm 5,49
CML	23,17 ^{ab} \pm 2,59	15,30 ^b \pm 2,39	5217 ^a \pm 577	22,66 ^a \pm 7,43	66,29 ^a \pm 3,94
DIV	30,17 ^a \pm 0,96	20,47 ^{ab} \pm 1,75	2487 ^a \pm 521	12,46 ^a \pm 2,33	46,31 ^b \pm 5,34

Valores médios de 12 repetições para sítios e 6 repetições para sistemas. Letras iguais nas colunas, nas comparações entre sítios e entre sistemas de restauração, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Apêndice 3. Características da vegetação arbórea dos indivíduos plantados e regenerantes com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, Botucatu, SP. SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; CON: sistema controle; REF: floresta de referência.

	Riqueza rarefeita	Área basal	Densidade	Fixadores	Decíduos
	n° espécies	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	% indivíduos	% indivíduos
Sítio 1					
SEM	19,9 \pm 3,4	25,7 \pm 1,6	2085 \pm 830	22,3 \pm 4,6	72,2 \pm 2,2
AGR	30,9 \pm 2,7	21,7 \pm 1,5	5067 \pm 1317	14,0 \pm 1,7	74,5 \pm 4,7
CML	26,3 \pm 3,1	18,9 \pm 2,5	5417 \pm 1036	12,2 \pm 2,7	65,3 \pm 1,7
DIV	32,1 \pm 0,8	22,8 \pm 2,5	1878 \pm 26	16,8 \pm 1,8	53,7 \pm 0,6
REF	27,6 \pm 0,4	29,8 \pm 8,9	6796 \pm 1600	11,1 \pm 0,9	84,8 \pm 1,7
Sítio 2					
SEM	19,9 \pm 1,3	31,4 \pm 4,1	3615 \pm 1235	13,6 \pm 4,0	66,5 \pm 3,2
AGR	16,2 \pm 3,9	19,1 \pm 4,2	3350 \pm 1382	35,6 \pm 16,5	69,5 \pm 11,1
CML	19,8 \pm 3,7	11,7 \pm 3,0	5017 \pm 742	33,1 \pm 12,6	67,3 \pm 8,6
DIV	28,2 \pm 0,5	18,2 \pm 1,9	3096 \pm 993	8,1 \pm 2,3	38,9 \pm 9,3
CON	10,4 \pm 0,5	3,0 \pm 1,2	1078 \pm 322	1,6 \pm 0,9	30,2 \pm 8,5
REF	33,6 \pm 1,1	23,5 \pm 0,07	6318 \pm 925	1,1 \pm 0,3	74,9 \pm 1,8

Valores médios de 3 repetições.

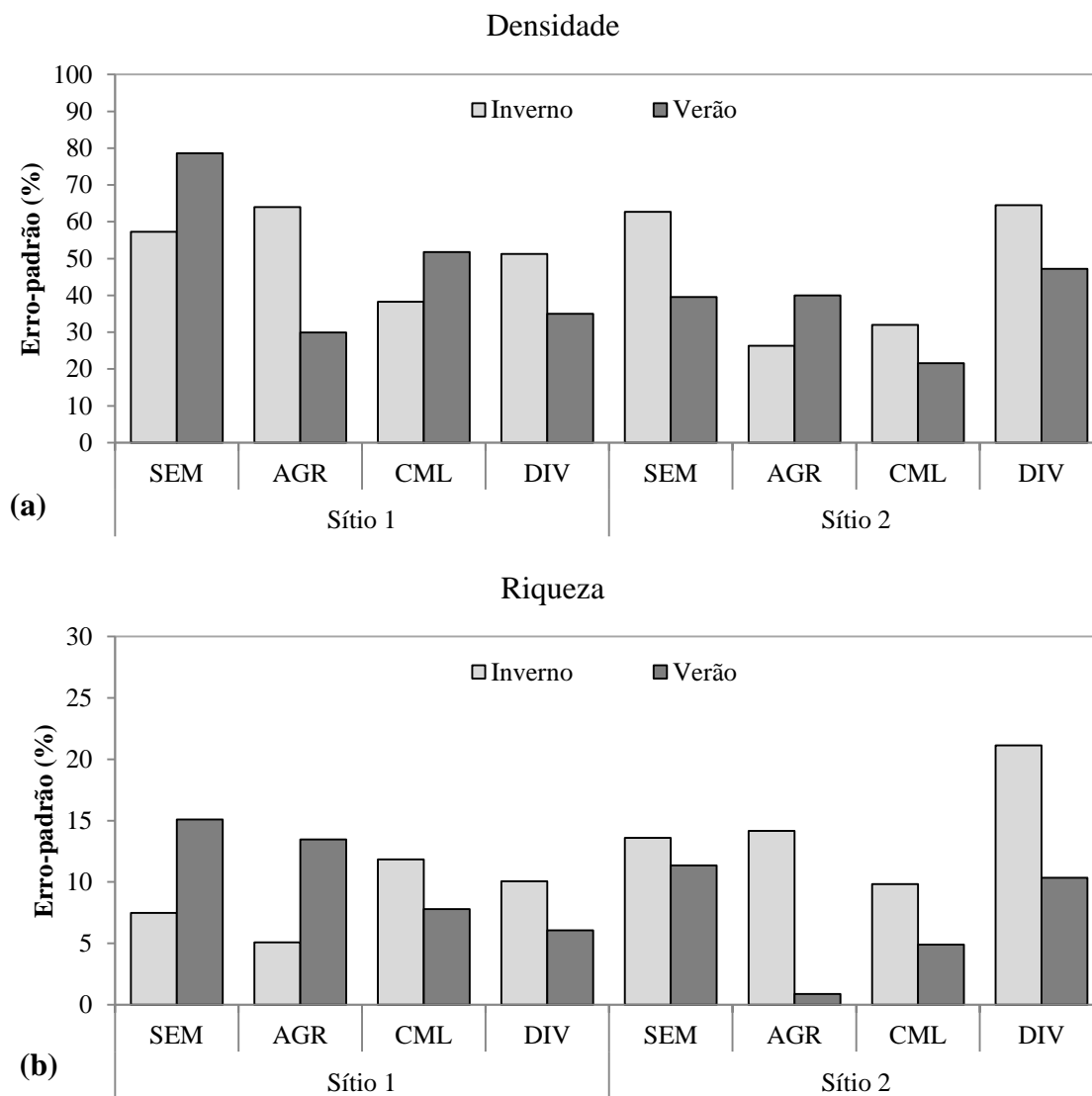
Apêndice 4. Características da vegetação arbórea dos indivíduos com altura igual ou superior a 1,30 m (média \pm erro padrão), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, Botucatu, SP. SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado; CON: controle; REF: referência. Valores médios apresentados para os indivíduos plantados ou semeados (SEM, AGR, CML e DIV) e para os indivíduos regenerantes (SEM-REG, AGR-REG, CML-REG e DIV-REG, REF-REG, CON-REG).

	Riqueza rarefeita	Área basal	Densidade	Fixadores	Decíduos
	n° espécies	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	% indivíduos	% indivíduos
Sítio 1					
SEM	4 \pm 0,71	23,69 \pm 0,91	544 \pm 50	35 \pm 0,64	100 \pm 0,00
AGR	26 \pm 2,43	19,40 \pm 1,15	800 \pm 88	31 \pm 4,02	89 \pm 1,22
CML	18 \pm 1,93	16,05 \pm 2,25	650 \pm 66	29 \pm 4,92	69 \pm 11,75
DIV	24 \pm 0,99	23,99 \pm 2,46	1089 \pm 150	19 \pm 2,37	59 \pm 0,83
SEM-REG	22 \pm 1,82	1,50 \pm 0,71	1156 \pm 825	11 \pm 7,70	66 \pm 14,00
AGR-REG	23 \pm 2,55	1,67 \pm 0,49	5500 \pm 1326	9 \pm 0,74	76 \pm 7,77
CML-REG	21 \pm 2,37	2,27 \pm 0,30	3900 \pm 1059	7 \pm 3,11	66 \pm 4,38
DIV-REG	24 \pm 3,04	0,18 \pm 0,06	756 \pm 128	13 \pm 3,38	43 \pm 3,10
REF-REG	27 \pm 0,36	27,68 \pm 8,99	6511 \pm 1600	10 \pm 0,98	85 \pm 1,83
Sítio 2					
SEM	2 \pm 0,42	26,33 \pm 3,81	689 \pm 97	29 \pm 12,72	100 \pm 0,00
AGR	17 \pm 2,36	18,55 \pm 4,09	400 \pm 116	47 \pm 14,75	93 \pm 3,61
CML	23 \pm 10,0	6,91 \pm 4,09	750 \pm 145	40 \pm 6,31	87 \pm 8,23
DIV	23 \pm 0,58	16,00 \pm 1,16	900 \pm 75	15 \pm 1,97	55 \pm 3,19
SEM-REG	21 \pm 1,63	2,61 \pm 0,49	2033 \pm 1137	6 \pm 1,54	55 \pm 2,14
AGR-REG	13 \pm 3,29	1,09 \pm 0,05	3300 \pm 1291	35 \pm 18,41	67 \pm 22,35
CML-REG	15 \pm 3,57	1,81 \pm 1,92	3800 \pm 736	24 \pm 14,71	70 \pm 10,99
DIV-REG	21 \pm 1,48	2,09 \pm 1,11	2778 \pm 926	3 \pm 1,12	25 \pm 9,16
CON-REG	10 \pm 0,47	3,25 \pm 1,24	778 \pm 322	1 \pm 0,93	24 \pm 8,50
REF-REG	35 \pm 1,21	23,43 \pm 0,07	6789 \pm 925	1 \pm 0,33	73 \pm 1,80

Valores médios de 3 repetições.

Apêndice 5. Concentração de nutrientes da serapilheira (média \pm erro padrão) entre sítios e entre sistemas, em diferentes sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, Botucatu, SP. Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Valores com mesma letra na coluna, nas comparações entre sítios e entre sistemas, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

	N		P		K		Ca		Mg	
g.kg ⁻¹										
Sítio										
Sítio 1	20,31 \pm 1,00	a	1,08 \pm 0,05	a	5,29 \pm 0,25	a	23,61 \pm 0,94	a	2,81 \pm 0,14	a
Sítio 2	17,50 \pm 0,49	b	1,02 \pm 0,05	a	4,34 \pm 0,30	b	13,31 \pm 0,67	b	3,13 \pm 0,12	a
F	9,29		1,98		10,60		147,99		3,55	
Sistema										
SEM	17,7 \pm 0,77	b	0,94 \pm 0,06	b	4,69 \pm 0,39	ab	18,2 \pm 4,07	ab	2,85 \pm 0,34	a
AGR	20,7 \pm 1,37	a	1,02 \pm 0,09	ab	4,03 \pm 0,50	b	18,4 \pm 3,92	ab	2,89 \pm 0,23	a
CML	21,4 \pm 1,76	a	1,10 \pm 0,10	a	4,89 \pm 0,68	ab	16,7 \pm 3,05	b	2,83 \pm 0,20	a
DIV	15,9 \pm 0,67	b	1,14 \pm 0,09	a	5,64 \pm 0,56	a	20,6 \pm 3,14	a	3,33 \pm 0,26	a
F	19,65		5,64		5,17		8,54		1,99	
Anova										
Bloco	0,2790		0,0102		0,0514		0,0027		0,1684	
Sítio (S)	0,0072		0,1813		0,0046		<0,001		0,0766	
Sistema (T)	<0,001		0,0095		0,0100		0,0118		0,1532	
S xT	0,2388		0,0021(F=8,26)		0,4417		0,7615		0,2885	



Apêndice 6. Variação sazonal do erro-padrão da densidade média (a) e riqueza média (b) da fauna de serapilheira nos diferentes sistemas de restauração, sítios e épocas de amostragem. SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado. Sítio 1: Nitossolo Vermelho; Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo.

Apêndice 7. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm$ erro padrão), riqueza rarefeita (\pm erro padrão), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Nitossolo Vermelho na estação inverno, Botucatu, SP.

Grupos taxonômicos	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Acari	691 ± 166*	549 ± 255	328 ± 193	1565 ± 1160	920 ± 451	531 ± 266
Araneae	13 ± 13	29 ± 18	35 ± 24	32 ± 5	37 ± 3	80 ± 33
Archaeognata	0	0	0	0	0	3 ± 3
Auchenorrhyncha	13 ± 7	0	3 ± 3	0	16 ± 9	8 ± 5
Blattodea	16 ± 12	3 ± 3	13 ± 13	8 ± 5	21 ± 10	21 ± 3
Chilopoda	3 ± 3	0	8 ± 8	0	5 ± 5	16 ± 9
Coleoptera	24 ± 5	5 ± 5	29 ± 19	43 ± 3	64 ± 40	184 ± 58
Dermaptera	0	16 ± 16	0	0	5 ± 3	0
Diplopoda	11 ± 7	24 ± 16	24 ± 12	24 ± 9	56 ± 12	45 ± 22
Diplura	3 ± 3	0	5 ± 3	0	3 ± 3	0
Diptera	13 ± 3	3 ± 3	5 ± 5	16 ± 8	5 ± 3	8 ± 8
Entomobryomorpha	101 ± 12	832 ± 705	157 ± 127	227 ± 62	229 ± 90	376 ± 130
Formicidae	144 ± 65	605 ± 311	301 ± 122	344 ± 249	424 ± 124	448 ± 139
Gastropoda	5 ± 3	0	0	0	0	0
Heteroptera	32 ± 17	8 ± 5	32 ± 24	19 ± 10	0	8 ± 8
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
Hymenoptera	8 ± 5	11 ± 7	11 ± 7	3 ± 3	3 ± 3	11 ± 7
Isopoda	0	3 ± 3	11 ± 11	3 ± 3	11 ± 11	0
Isoptera	3 ± 3	0	0	3 ± 3	0	5 ± 5
Larva Coleoptera	13 ± 7	3 ± 3	21 ± 18	11 ± 7	16 ± 9	27 ± 14
Larva Diptera	43 ± 27	13 ± 10	48 ± 48	59 ± 30	88 ± 76	101 ± 28
Larva Lepidoptera	11 ± 3	3 ± 3	43 ± 39	112 ± 33	136 ± 94	91 ± 47
Larva Neuroptera	0	0	0	0	0	19 ± 12
Larva Formicidae	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	0	0	0	0	5 ± 5	0
Oligochaeta	0	8 ± 8	0	0	3 ± 3	3 ± 3
Orthoptera	0	0	0	0	0	3 ± 3
Poduromorpha	0	32 ± 19	0	0	11 ± 11	11 ± 11
Pseudoscorpionida	8 ± 5	0	5 ± 5	0	5 ± 3	0
Psocoptera	3 ± 3	51 ± 51	75 ± 71	27 ± 15	13 ± 3	67 ± 19
Sternorrhyncha	0	8 ± 8	0	5 ± 5	0	11 ± 11
Symphyla	5 ± 5	77 ± 73	11 ± 11	8 ± 5	3 ± 3	5 ± 5
Symphyleona	0	32 ± 32	0	3 ± 3	48 ± 48	0
Thysanoptera	29 ± 19	259 ± 139	160 ± 156	77 ± 15	288 ± 284	35 ± 3
Thysanura	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	0	0	0	0	3 ± 3	0
Densidade total	1192 ± 152	2573 ± 1475	1325 ± 848	2587 ± 990	2419 ± 1239	2115 ± 65
Riqueza rarefeita	14 ± 1	11 ± 1	12 ± 1	12 ± 1	14 ± 1	13 ± 1
Pielou	0,57	0,67	0,73	0,57	0,66	0,71
Shannon-Wiener	1,55	1,69	1,80	1,56	1,87	2,01

Apêndice 8. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$), riqueza rarefeita ($\pm \text{erro padrão}$), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Nitossolo Vermelho na estação verão, Botucatu, SP.

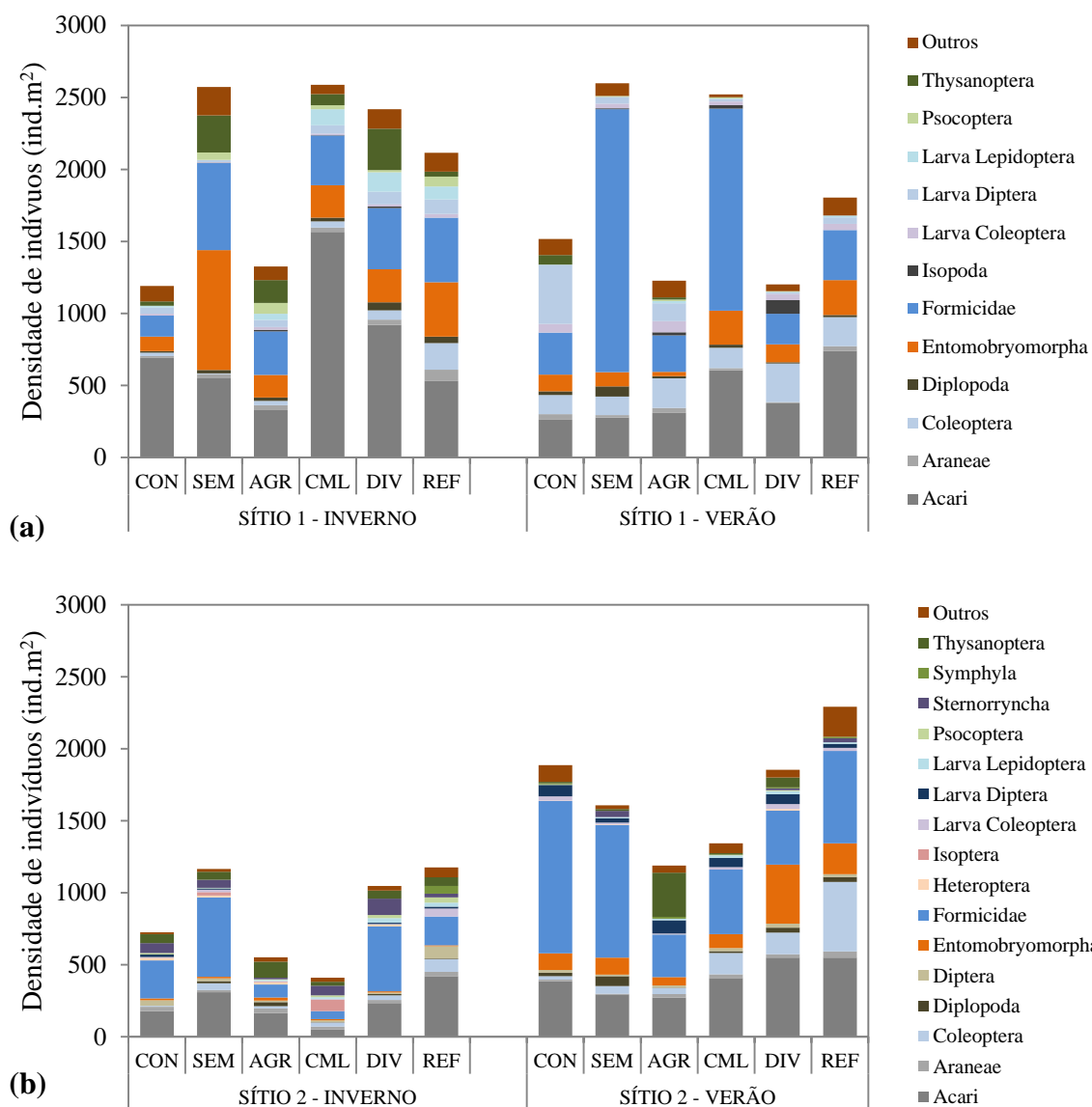
Grupos taxonômicos	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Acari	261 ± 123*	277 ± 172	309 ± 108	605 ± 252	376 ± 130	739 ± 232
Araneae	40 ± 12	16 ± 0	35 ± 11	16 ± 12	8 ± 5	35 ± 10
Archaeognata	0	0	0	0	0	0
Auchenorrhyncha	27 ± 3	35 ± 18	27 ± 23	0	0	5 ± 5
Blattodea	29 ± 7	3 ± 3	11 ± 7	0	16 ± 9	0
Chilopoda	0	0	3 ± 3	0	3 ± 3	0
Coleoptera	133 ± 46	131 ± 67	205 ± 77	141 ± 86	269 ± 237	200 ± 117
Dermaptera	3 ± 3	0	0	3 ± 3	8 ± 5	0
Diplopoda	24 ± 12	69 ± 69	16 ± 16	21 ± 21	8 ± 8	16 ± 9
Diplura	0	0	0	0	3 ± 3	3 ± 3
Diptera	5 ± 3	21 ± 11	8 ± 5	5 ± 3	5 ± 3	32 ± 12
Entomobryomorpha	117 ± 59	99 ± 87	29 ± 22	235 ± 235	125 ± 117	243 ± 199
Formicidae	291 ± 18	1827 ± 1691	253 ± 65	1403 ± 911	211 ± 52	347 ± 139
Gastropoda	3 ± 3	0	0	0	0	0
Heteroptera	43 ± 11	8 ± 5	5 ± 5	3 ± 3	5 ± 5	8 ± 5
Hirudinea	0	0	0	0	0	0
Hymenoptera	3 ± 3	0	11 ± 5	0	8 ± 8	3 ± 3
Isopoda	0	5 ± 5	21 ± 13	24 ± 12	96 ± 73	0
Isoptera	0	3 ± 3	32 ± 24	3 ± 3	0	0
Larva Coleoptera	61 ± 38	32 ± 9	77 ± 39	27 ± 11	43 ± 31	43 ± 3
Larva Diptera	408 ± 189	48 ± 40	125 ± 109	16 ± 9	11 ± 5	45 ± 5
Larva Lepidoptera	3 ± 3	0	13 ± 7	5 ± 3	3 ± 3	13 ± 10
Larva Neuroptera	0	0	0	0	0	8 ± 5
Larva Formicidae	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	0	3 ± 3	5 ± 5	0	0	0
Orthoptera	0	0	0	0	0	0
Poduromorpha	0	0	3 ± 3	3 ± 3	0	3 ± 3
Pseudoscorpionida	0	0	0	0	0	3 ± 3
Psocoptera	0	5 ± 5	11 ± 7	5 ± 5	5 ± 5	0
Sternorrhyncha	0	0	3 ± 3	0	0	48 ± 26
Symphyla	0	0	0	0	0	13 ± 3
Symphyleona	0	16 ± 16	0	0	0	0
Thysanoptera	67 ± 47	0	16 ± 5	3 ± 3	0	0
Thysanura	0	0	8 ± 8	0	0	0
Tricoptera	0	0	0	3 ± 3	0	0
Densidade total	1517 ± 209	2597 ± 2042	1227 ± 367	2520 ± 1304	1203 ± 421	1805 ± 256
Riqueza rarefeita	11 ± 0,4	10 ± 2	15 ± 2	8 ± 0,7	10 ± 0,6	11 ± 1
Pielou	0,74	0,61	0,77	0,51	0,66	0,60
Shannon-Wiener	1,92	1,41	2,12	1,17	1,53	1,58

Apêndice 9. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$), riqueza rarefeita ($\pm \text{erro padrão}$), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Argissolo Vermelho Amarelo na estação inverno, Botucatu, SP.

Grupos taxonômicos	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Acari	179 ± 108*	309 ± 176	165 ± 90	51 ± 32	235 ± 179	421 ± 250
Araneae	29 ± 12	16 ± 5	32 ± 8	21 ± 7	21 ± 11	29 ± 7
Archaeognata	0	0	0	0	0	0
Auchenorrhyncha	5 ± 3	0	8 ± 5	5 ± 5	0	5 ± 5
Blattodea	0	5 ± 3	11 ± 7	8 ± 5	8 ± 5	3 ± 3
Chilopoda	0	0	0	0	0	0
Coleoptera	8 ± 8	45 ± 22	16 ± 9	27 ± 16	32 ± 5	88 ± 53
Dermaptera	0	0	0	0	0	0
Diplopoda	0	16 ± 8	27 ± 23	3 ± 3	8 ± 5	5 ± 5
Diplura	0	0	0	0	5 ± 5	40 ± 40
Diptera	37 ± 21	19 ± 10	11 ± 11	13 ± 13	11 ± 11	85 ± 54
Entomobryomorpha	13 ± 13	11 ± 7	21 ± 12	8 ± 5	8 ± 8	5 ± 5
Formicidae	264 ± 106	552 ± 504	91 ± 41	56 ± 20	451 ± 391	200 ± 71
Gastropoda	0	0	3 ± 3	0	8 ± 5	0
Heteroptera	16 ± 9	13 ± 3	16 ± 9	0	13 ± 5	0
Hirudinea	0	5 ± 5	0	0	0	0
Hymenoptera	8 ± 8	8 ± 8	3 ± 3	5 ± 3	11 ± 3	13 ± 13
Isopoda	0	0	5 ± 5	5 ± 5	0	3 ± 3
Isoptera	3 ± 3	24 ± 24	3 ± 3	80 ± 80	0	0
Larva Coleoptera	5 ± 3	16 ± 8	5 ± 5	5 ± 3	5 ± 5	56 ± 40
Larva Diptera	16 ± 0	8 ± 5	0	0	8 ± 8	13 ± 13
Larva Lepidoptera	0	3 ± 3	8 ± 0	11 ± 7	32 ± 21	27 ± 7
Larva Neuroptera	0	0	0	0	0	0
Larva Formicidae	0	0	0	5 ± 3	0	0
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	0	0	0	0	0	0
Orthoptera	0	0	0	0	0	3 ± 3
Poduromorpha	0	0	0	0	0	0
Pseudoscorpionida	0	0	0	0	0	3 ± 3
Psocoptera	11 ± 7	3 ± 3	5 ± 3	13 ± 3	21 ± 10	37 ± 16
Sternorrhyncha	69 ± 69	56 ± 28	11 ± 11	67 ± 31	115 ± 65	27 ± 12
Symphyla	0	0	0	0	0	53 ± 34
Symphyleona	0	0	0	0	0	0
Thysanoptera	61 ± 40	56 ± 29	112 ± 70	27 ± 3	56 ± 37	59 ± 30
Thysanura	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	0	0	0	0	0	0
Densidade total	725 ± 350	1165 ± 731	552 ± 145	411 ± 131	1048 ± 676	1176 ± 504
Riqueza rarefeita	10 ± 2	14 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	15 ± 3	13 ± 2
Pielou	0,69	0,72	0,78	0,84	0,78	0,78
Shannon-Wiener	1,57	1,80	1,93	2,07	1,99	1,99

Apêndice 10. Densidade de indivíduos por grupo taxonômico ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$)*, densidade total ($\text{ind.m}^2 \pm \text{erro padrão}$), riqueza rarefeita ($\pm \text{erro padrão}$), índice de Pielou e índice de Shannon-Wiener da fauna de serapilheira em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, em Argissolo Vermelho Amarelo na estação verão, Botucatu, SP.

Grupos taxonômicos	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Acari	387 ± 195*	293 ± 34	272 ± 125	408 ± 26	549 ± 239	549 ± 174
Araneae	11 ± 7	5 ± 5	24 ± 5	27 ± 3	24 ± 14	43 ± 35
Archaeognata	0	0	0	0	0	0
Auchenorrhyncha	8 ± 8	3 ± 3	5 ± 5	13 ± 7	5 ± 5	11 ± 5
Blattodea	3 ± 3	16 ± 8	3 ± 3	24 ± 8	11 ± qq	5 ± 3
Chilopoda	0	0	5 ± 3	0	3 ± 3	8 ± 5
Coleoptera	24 ± 24	53 ± 10	43 ± 23	147 ± 95	149 ± 73	483 ± 217
Dermaptera	13 ± 13	0	5 ± 5	0	5 ± 3	0
Diplopoda	24 ± 8	69 ± 54	3 ± 3	13 ± 13	35 ± 21	35 ± 24
Diplura	0	3 ± 3	3 ± 3	0	3 ± 3	11 ± 7
Diptera	19 ± 12	11 ± 7	16 ± 9	21 ± 14	29 ± 15	19 ± 3
Entomobryomorpha	115 ± 92	117 ± 78	56 ± 26	96 ± 14	408 ± 201	216 ± 168
Formicidae	1059 ± 704	920 ± 609	296 ± 68	448 ± 130	376 ± 194	640 ± 289
Gastropoda	0	3 ± 3	0	3 ± 3	8 ± 5	0
Heteroptera	3 ± 3	5 ± 5	3 ± 3	0	11 ± 7	0
Hirudinea	0	0	0	0	0	91 ± 91
Hymenoptera	3 ± 3	0	11 ± 7	5 ± 5	5 ± 3	13 ± 3
Isopoda	11 ± 11	0	5 ± 3	19 ± 19	8 ± 8	3 ± 3
Isoptera	0	0	0	0	0	0
Larva Coleoptera	29 ± 10	13 ± 3	5 ± 3	19 ± 19	35 ± 19	21 ± 3
Larva Diptera	80 ± 8	29 ± 25	91 ± 36	64 ± 17	69 ± 44	29 ± 22
Larva Lepidoptera	0	8 ± 8	11 ± 7	16 ± 5	21 ± 12	11 ± 7
Larva Neuroptera	0	0	3 ± 3	3 ± 3	0	0
Larva Formicidae	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	3 ± 3	0	5 ± 5	0	5 ± 5	0
Orthoptera	0	0	0	3 ± 3	0	0
Poduromorpha	35 ± 35	3 ± 3	5 ± 5	0	0	32 ± 32
Pseudoscorpionida	40 ± 40	0	0	0	0	0
Psocoptera	3 ± 3	0	0	3 ± 3	5 ± 3	0
Sternorrhyncha	0	43 ± 43	0	0	13 ± 13	27 ± 23
Symphyla	8 ± 5	0	13 ± 13	5 ± 5	5 ± 5	11 ± 11
Symphyleona	0	0	0	0	0	32 ± 32
Thysanoptera	11 ± 7	13 ± 10	307 ± 233	8 ± 8	69 ± 54	0
Thysanura	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	0	0	0	0	0	3 ± 3
Densidade total	1885 ± 695	1608 ± 636	1189 ± 475	1344 ± 290	1853 ± 875	2291 ± 860
Riqueza rarefeita	10 ± 2	10 ± 1	13 ± 0,1	11 ± 0,5	13 ± 1	12 ± 0,8
Pielou	0,57	0,58	0,71	0,71	0,67	0,66
Shannon-Wiener	1,42	1,41	1,86	1,79	1,69	1,78



Apêndice 11. Densidade de indivíduos (ind.m^2) dos grupos taxonômicos da fauna de serapilheira com composição relativa superior a 1%, em diferentes sistemas de restauração ecológica, sistema controle e floresta de referência, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP.

Apêndice 12. Resumo da análise de equações estruturais para as variáveis de densidade total e riqueza rarefeita. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; $N = 48$).

Regressões	Coefficiente do caminho	Erro relacionado	z-valor	p-valor	Coefficiente padronizado
Densidade total					
<i>Estoque de serapilheira ~</i>					
Riqueza de espécies	-0,198	0,111	-1,779	0,075	-0,305
Fixadoras	0,048	0,531	0,090	0,929	0,016
Relação C:N	0,383	0,135	2,835	0,005	0,372
<i>Relação C:N ~</i>					
Riqueza de espécies	-0,097	0,118	-0,818	0,414	-0,153
Fixadoras	-0,942	0,551	-1,710	0,087	-0,320
<i>Fósforo (P) ~</i>					
Riqueza de espécies	0,151	0,033	4,599	0,000	0,668
Fixadoras	0,074	0,157	0,473	0,636	0,070
Relação C:N	-0,093	0,040	-2,339	0,019	-0,260
<i>Densidade total ~</i>					
Riqueza de espécies	-0,077	0,046	-1,676	0,094	-0,346
Fixadoras	-0,300	0,179	-1,677	0,093	-0,290
Estoque de serapilheira	0,143	0,049	2,938	0,003	0,416
Relação C:N	-0,056	0,051	-1,098	0,272	-0,160
Fósforo	0,357	0,164	2,170	0,030	0,363
Riqueza rarefeita					
<i>Estoque de serapilheira ~</i>					
Riqueza de espécies	-0,198	0,111	-1,779	0,075	-0,305
Fixadoras	0,048	0,531	0,090	0,929	0,016
Relação C:N	0,383	0,135	2,835	0,005	0,372
<i>Relação C:N ~</i>					
Riqueza de espécies	-0,097	0,118	-0,818	0,414	-0,153
Fixadoras	-0,942	0,551	-1,710	0,087	-0,32
<i>Fósforo (P) ~</i>					
Riqueza de espécies	0,151	0,033	4,599	0,000	0,668
Fixadoras	0,074	0,157	0,473	0,636	0,070
Relação C:N	-0,093	0,040	-2,339	0,019	-0,260
<i>Riqueza rarefeita ~</i>					
Riqueza de espécies	0,168	0,096	1,753	0,080	0,382
Fixadoras	0,557	0,373	1,492	0,136	0,272
Estoque de serapilheira	-0,154	0,101	-1,522	0,128	-0,227
Relação C:N	-0,047	0,107	-0,438	0,662	-0,067
Fósforo	-0,768	0,343	-2,240	0,025	-0,395

Apêndice 13. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) em diferentes de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, aos 16 anos, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP.

	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Sítio 1 - Inverno						
Serapilheira (kg.m ²)	1,37 \pm 0,13	2,24 \pm 0,32	1,12 \pm 0,12	1,26 \pm 0,35	1,64 \pm 0,13	1,73 \pm 0,11
C (g.kg ⁻¹)	354,17 \pm 20,27	475,63 \pm 2,53	482,43 \pm 4,51	475,76 \pm 2,75	463,60 \pm 1,03	456,73 \pm 1,98
N (g.kg ⁻¹)	10,44 \pm 1,19	14,74 \pm 1,26	18,95 \pm 2,30	18,25 \pm 0,48	14,88 \pm 0,36	20,21 \pm 0,25
P (g.kg ⁻¹)	1,20 \pm 0,06	0,81 \pm 0,03	1,09 \pm 0,16	0,98 \pm 0,09	1,04 \pm 0,11	1,14 \pm 0,02
K (g.kg ⁻¹)	1,34 \pm 0,21	1,47 \pm 0,15	1,55 \pm 0,18	1,58 \pm 0,26	2,03 \pm 0,29	1,47 \pm 0,19
Ca (g.kg ⁻¹)	7,51 \pm 2,07	15,36 \pm 1,14	19,85 \pm 3,41	19,10 \pm 2,60	21,18 \pm 3,48	23,68 \pm 1,75
Mg (g.kg ⁻¹)	2,13 \pm 0,01	2,03 \pm 0,08	2,30 \pm 0,08	2,05 \pm 0,13	2,48 \pm 0,21	2,64 \pm 0,09
C:N (g.kg ⁻¹)	35,08 \pm 5,32	32,76 \pm 2,86	26,32 \pm 3,55	26,11 \pm 0,60	31,20 \pm 0,70	22,61 \pm 0,32
Sítio 1 - Verão						
Serapilheira (kg.m ²)	1,57 \pm 0,26	1,59 \pm 0,31	0,77 \pm 0,20	1,23 \pm 0,21	1,17 \pm 0,11	1,47 \pm 0,20
C (g.kg ⁻¹)	354,17 \pm 20,27	475,63 \pm 2,53	482,43 \pm 4,51	475,76 \pm 2,75	463,60 \pm 1,03	456,73 \pm 1,98
N (g.kg ⁻¹)	10,80 \pm 0,77	15,09 \pm 1,38	19,59 \pm 1,28	19,74 \pm 0,70	14,29 \pm 0,81	20,34 \pm 0,46
P (g.kg ⁻¹)	1,19 \pm 0,15	0,91 \pm 0,07	1,03 \pm 0,10	1,04 \pm 0,13	1,04 \pm 0,06	1,23 \pm 0,04
K (g.kg ⁻¹)	1,64 \pm 0,81	0,92 \pm 0,04	1,20 \pm 0,12	1,20 \pm 0,06	1,33 \pm 0,18	0,97 \pm 0,06
Ca (g.kg ⁻¹)	7,85 \pm 1,39	18,48 \pm 1,13	22,87 \pm 1,59	24,73 \pm 2,25	25,37 \pm 0,67	25,74 \pm 0,92
Mg (g.kg ⁻¹)	1,90 \pm 0,04	2,07 \pm 0,06	1,88 \pm 0,02	1,82 \pm 0,04	2,38 \pm 0,20	2,17 \pm 0,07
C:N (g.kg ⁻¹)	33,08 \pm 2,86	32,01 \pm 2,73	24,85 \pm 1,72	24,16 \pm 0,91	32,68 \pm 1,97	22,48 \pm 0,44

Valores médios de 3 repetições. Legenda: CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: floresta de referência; C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; C:N: relação carbono/nitrogênio

Apêndice 14. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) em diferentes de restauração ecológica, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, nas estações inverno e verão, Botucatu, SP.

	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Sítio 2 - Inverno						
Serapilheira (kg.m ²)	1,09 \pm 0,14	1,56 \pm 0,07	1,20 \pm 0,17	1,17 0,07 \pm	1,12 \pm 0,14	1,08 \pm 0,20
C (g.kg ⁻¹)	376,99 \pm 6,88	476,78 \pm 6,43	473,35 \pm 5,58	479,70 \pm 5,67	470,29 \pm 3,21	452,23 \pm 4,47
N (g.kg ⁻¹)	9,93 \pm 0,87	17,39 \pm 1,28	16,79 \pm 1,62	18,17 \pm 1,48	15,60 \pm 1,01	20,52 \pm 0,53
P (g.kg ⁻¹)	1,02 \pm 0,10	0,81 \pm 0,05	0,72 \pm 0,05	0,81 \pm 0,06	0,88 \pm 0,06	1,12 \pm 0,05
K (g.kg ⁻¹)	2,59 \pm 0,28	1,56 \pm 0,12	1,22 \pm 0,12	1,32 \pm 0,12	1,76 \pm 0,17	3,36 \pm 0,45
Ca (g.kg ⁻¹)	5,57 \pm 0,73	10,25 \pm 0,81	11,33 \pm 1,53	11,33 \pm 1,68	13,67 \pm 1,77	21,33 \pm 2,01
Mg (g.kg ⁻¹)	2,48 \pm 0,21	3,17 \pm 0,06	2,68 \pm 0,20	2,85 \pm 0,25	2,94 \pm 0,21	2,89 \pm 0,18
C:N (g.kg ⁻¹)	38,49 \pm 3,19	27,78 \pm 2,45	28,69 \pm 2,54	26,72 \pm 1,92	30,41 \pm 2,08	22,06 \pm 0,43
Sítio 2 - Verão						
Serapilheira (kg.m ²)	1,27 \pm 0,31	1,50 \pm 0,32	1,33 \pm 0,18	1,14 \pm 0,21	1,05 \pm 0,14	1,06 \pm 0,16
C (g.kg ⁻¹)	376,99 \pm 6,88	476,78 \pm 6,43	473,35 \pm 5,58	479,70 \pm 5,67	470,29 \pm 3,21	452,23 \pm 4,47
N (g.kg ⁻¹)	10,70 \pm 0,46	15,95 \pm 1,42	17,63 \pm 1,81	19,37 \pm 1,43	15,94 \pm 1,25	23,12 \pm 0,76
P (g.kg ⁻¹)	1,04 \pm 0,03	0,89 \pm 0,02	0,85 \pm 0,02	0,83 \pm 0,04	0,89 \pm 0,05	1,20 \pm 0,09
K (g.kg ⁻¹)	1,72 \pm 0,26	1,28 \pm 0,05	1,28 \pm 0,07	1,40 \pm 0,32	1,58 \pm 0,22	1,52 \pm 0,15
Ca (g.kg ⁻¹)	7,79 \pm 0,30	12,68 \pm 2,13	14,33 \pm 2,20	13,38 \pm 1,37	19,78 \pm 2,05	30,42 \pm 1,36
Mg (g.kg ⁻¹)	2,33 \pm 0,03	2,68 \pm 0,13	2,63 \pm 0,16	2,87 \pm 0,23	2,67 \pm 0,25	2,48 \pm 0,08
C:N (g.kg ⁻¹)	35,39 \pm 2,00	30,40 \pm 2,89	27,43 \pm 2,81	25,04 \pm 1,90	29,90 \pm 2,59	19,59 \pm 0,45

Valores médios de 3 repetições. Legenda: CON: controle; SEM: semeadura direta; AGR: agrofloresta; CML: comercial; DIV: diversificado; REF: floresta de referência; C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; C:N: relação carbono/nitrogênio

Apêndice 15. Análise de variância dos efeitos de sítio, sistema (sistemas de restauração), estação e interações nas características da comunidade vegetal (riqueza, área basal, densidade, decíduas e fixadoras) e nas características da serapilheira estocada (estoque, C, N, C:N, Ca, Mg e K). Botucatu, SP. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$).

Fonte de variação	Riqueza rarefeita (n° espécies)		Área basal (m ² .ha ⁻¹)		Densidade (ind.ha ⁻¹)		Decíduas (% indivíduos)		Fixadoras (% indivíduos)		C (g.kg ⁻¹)	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Bloco	1,11	0,352	0,18	0,833	0,69	0,516	0,34	0,715	0,04	0,962	0,30	0,743
Sítio	8,81	0,008	0,76	0,394	0,05	0,835	1,13	0,302	1,03	0,324	0,04	0,838
Sistema (S)	4,21	0,021	5,84	0,006	2,86	0,068	6,16	0,005	0,72	0,551	2,58	0,087
Sítio x S	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte de variação	Estoque de serapilheira (kg.m ²)		N (g.kg ⁻¹)		C:N (g.kg ⁻¹)		P (g.kg ⁻¹)		K (g.kg ⁻¹)		Ca (g.kg ⁻¹)		Mg (g.kg ⁻¹)	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Bloco	4,71	0,059	2,74	0,142	2,44	0,168	16,16	0,004	1,14	0,382	0,20	0,821	2,06	0,208
Sítio	1,47	0,238	0,08	0,778	0,25	0,624	36,69	<0,0001	3,19	0,106	61,31	<0,0001	87,78	<0,0001
Sistema (S)	7,77	0,017	6,74	0,024	4,39	0,059	2,50	0,157	0,04	0,841	6,08	0,029	1,49	0,311
Estação (E)	3,71	0,081	0,37	0,555	0,22	0,650	2,65	0,132	8,37	0,015	14,79	0,003	6,58	0,026
Sítio x S	--	--	--	--	--	--	4,42	0,015	--	--	--	--	3,13	0,048
Sítio x E	--	--	--	--	--	--	--	--	10,16	0,004	--	--	--	--
S x E	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sítio x S x E	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Variáveis transformadas (arcsen): % de decíduas e % de fixadoras.

Apêndice 16. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e fauna de serapilheira que foram utilizadas na análise multivariada e nos modelos de equações estruturais, baseados nos sistemas de restauração nos diferentes sítios e estações. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N = 48$).

Variáveis	Características da vegetação						Características da serapilheira						Fauna de serapilheira		
	Riq.	AB	Dens.	Dec.	Fix.	Est.	C	N	P	K	Ca	Mg	C:N	Fauna dens.	Fauna riq.
	n° sp.	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	%	%	kg.m ⁻²	-----g.kg ⁻¹ -----						ind.m ⁻²	n° grupos	
<i>Riqueza</i>	1														
<i>Área basal</i>	0,11	1													
<i>Densidade</i>	-0,04	0,08	1												
<i>Decíduos</i>	-0,41	0,12	0,28	1											
<i>Fixadores</i>	-0,66	-0,41	0,03	0,46	1										
<i>Estoque serapilheira</i>	-0,29	0,32	-0,31	0,19	0,14	1									
<i>C</i>	-0,29	-0,02	0,43	0,42	0,14	0,04	1								
<i>N</i>	-0,09	-0,22	0,64	0,39	0,20	-0,36	0,33	1							
<i>P</i>	0,61	-0,04	0,06	-0,08	-0,32	-0,26	-0,28	0,23	1						
<i>K</i>	0,32	0,13	0,16	-0,36	-0,32	-0,03	-0,21	0,00	0,14	1					
<i>Ca</i>	0,51	0,10	0,23	-0,09	-0,23	-0,24	-0,12	0,18	0,45	0,10	1				
<i>Mg</i>	-0,23	-0,09	-0,02	-0,37	0,08	-0,11	-0,05	0,02	-0,23	0,26	-0,48	1			
<i>C:N</i>	0,06	0,23	-0,59	-0,34	-0,22	0,35	-0,21	-0,98	-0,24	-0,02	-0,17	-0,05	1		
<i>Fauna densidade</i>	-0,07	0,06	-0,07	0,03	-0,08	0,33	0,00	0,05	0,17	-0,12	0,13	-0,17	-0,06	1	
<i>Fauna riqueza</i>	0,02	-0,17	0,08	-0,10	0,13	-0,22	0,06	0,07	-0,17	0,30	-0,20	0,32	-0,09	-0,43	1

Apêndice 17. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e grupos taxonômicos da fauna, baseados nos sistemas de restauração nos diferentes sítios e estações. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N = 48$).

Grupos da fauna	Riqueza plantas	Área basal	Dens. plantas	Fix.	Dec	Sera. Est.	N	P	K	Ca	Mg	C	C:N	Umidade
	n° sp.	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	%	%	kg.m ⁻²	-----g.kg ⁻¹ -----							%
Aca	0,133	-0,085	-0,007	-0,128	-0,012	0,067	0,123	0,346	-0,055	0,074	-0,157	-0,136	-0,159	0,286
Bla	0,097	-0,194	0,029	-0,024	-0,172	-0,103	0,081	0,303	0,231	0,027	0,342	-0,037	-0,074	0,021
Col	0,227	-0,070	0,035	-0,122	-0,058	-0,150	0,167	0,327	0,022	0,329	-0,022	-0,115	-0,186	0,231
Der	0,078	0,098	-0,293	0,006	-0,045	0,286	-0,142	-0,041	-0,056	0,082	-0,082	-0,226	0,097	0,220
Diplo	-0,065	0,349	-0,025	-0,125	0,028	0,386	-0,161	-0,008	0,052	-0,021	-0,113	0,052	0,163	0,223
Diplu	0,176	0,000	-0,019	-0,048	-0,343	-0,202	-0,200	0,036	0,352	0,092	0,028	-0,067	0,219	-0,020
Dip	-0,143	-0,063	0,085	0,056	-0,107	0,009	0,301	-0,022	0,054	-0,082	0,289	0,177	-0,322	-0,169
Ent	-0,005	0,065	-0,142	0,021	0,059	0,365	-0,001	-0,003	-0,009	0,066	-0,166	-0,049	-0,029	0,270
For	-0,233	0,183	-0,033	-0,083	0,054	0,319	-0,077	-0,097	-0,198	0,084	-0,133	0,171	0,108	0,265
Gas	0,019	-0,012	0,072	-0,083	-0,387	-0,038	-0,029	-0,051	0,148	-0,133	0,252	-0,215	-0,033	-0,325
Hir	-0,049	0,398	0,178	-0,105	-0,015	0,030	0,110	-0,098	0,046	-0,184	0,233	0,104	-0,110	-0,196
Isoda	0,243	0,029	-0,092	0,041	-0,036	-0,024	-0,073	0,052	-0,271	0,329	-0,173	-0,142	0,040	0,284
Isora	-0,016	-0,120	0,150	0,004	-0,065	-0,065	0,274	0,000	-0,125	-0,089	0,186	0,383	-0,233	-0,183
LCol	0,269	0,029	0,152	-0,200	0,067	-0,269	0,332	0,431	0,032	0,407	-0,174	-0,121	-0,321	0,295
LarDip	0,066	-0,060	0,177	0,089	0,113	-0,060	0,279	0,197	0,060	0,177	-0,050	0,056	-0,287	0,239
LarLep	0,210	-0,103	0,084	-0,064	-0,138	-0,019	0,023	0,350	0,273	0,177	0,061	-0,217	-0,052	0,195
LarNeu	-0,233	-0,201	0,152	0,304	0,115	-0,211	0,305	-0,079	0,121	-0,037	0,117	0,124	-0,264	-0,109
LarFor	-0,023	-0,240	0,182	0,017	-0,030	-0,099	0,197	-0,093	-0,026	-0,155	0,287	0,240	-0,176	-0,297
Pod	-0,056	0,087	-0,152	0,143	0,136	0,310	-0,073	0,019	0,029	0,001	-0,114	-0,069	0,054	0,218
Pse	0,209	-0,005	0,036	-0,096	0,034	0,005	0,133	0,556	0,334	0,095	0,021	-0,171	-0,115	0,222
Pso	0,122	-0,034	0,057	-0,058	0,120	-0,017	0,254	0,409	0,074	0,061	-0,051	-0,043	-0,244	0,187
Ste	-0,043	0,033	0,019	-0,117	-0,302	0,056	0,012	-0,097	0,110	-0,285	0,433	-0,075	-0,048	-0,486
Symla	-0,214	0,058	-0,130	0,025	0,110	0,480	-0,145	-0,104	0,011	-0,055	-0,152	0,094	0,220	0,203
Symon	0,093	0,012	-0,241	0,091	0,019	0,315	-0,115	0,196	0,000	0,005	0,028	-0,205	0,077	0,208
Tri	0,261	0,028	-0,038	-0,084	-0,073	0,010	0,025	0,174	0,071	0,324	-0,190	-0,156	-0,057	0,174
Dens.	-0,065	0,063	-0,066	-0,082	0,035	0,325	0,050	0,175	-0,117	0,132	-0,166	0,001	-0,057	0,398
Riq.	0,025	-0,168	0,075	0,126	-0,104	-0,221	0,070	-0,176	0,296	-0,200	0,317	0,058	-0,090	-0,441

Aca: Acari; Bla: Blattodea; Col: Coleoptera; Der: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Dip: Diptera; Ent: Entomobryomorpha; For: Formicidae; Gas: Gastropoda; Hir: Hirudinea; Isoda: Isopoda; Isora: Isoptera; LarCol: Larva de Coleoptera; LarDip: Larva de Diptera; LarLep: Larva de Lepidoptera; LarNeu: Larva de neuroptera; LarFor: Larva de Formicidae; Pod: Poduromorpha; Pse: Pseudoscorpionida; Pso: Psocoptera; Ste: Sternorrhyncha; Symla: Symphyla; Symon: Symphyleona; Tri: Tricoptera; Dens.: densidade total; Riq.: riqueza rarefeita. Fix.: fixadoras; Dec.: decíduas; Sera.Est.: serapilheira estocada.; Dens. plantas: densidades de indivíduos arbóreos.

Apêndice 18. Características da serapilheira estocada (\pm erro padrão) dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), no Sítio 1: Nitossolo Vermelho e Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP.

Sítio 1	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Serapilheira (kg.m ²)	1,47 \pm 0,10	1,92 \pm 0,31 a	0,94 \pm 0,16 b	1,25 \pm 0,20 ab	1,41 \pm 0,01 ab	1,60 \pm 0,08
C (g.kg ⁻¹)	354,17 \pm 20,27	475,63 \pm 2,53	482,43 \pm 4,51	475,76 \pm 2,75	463,60 \pm 1,03	456,73 \pm 1,98
N (g.kg ⁻¹)	10,62 \pm 0,94	14,91 \pm 1,29	19,27 \pm 1,78	18,99 \pm 0,46	14,58 \pm 0,34	20,27 \pm 0,14
P (g.kg ⁻¹)	1,19 \pm 0,10	0,86 \pm 0,05	1,06 \pm 0,12	1,01 \pm 0,11	1,04 \pm 0,09	1,19 \pm 0,01
K (g.kg ⁻¹)	1,49 \pm 0,46	1,19 \pm 0,06	1,38 \pm 0,14	1,39 \pm 0,10	1,68 \pm 1,19	1,22 \pm 0,09
Ca (g.kg ⁻¹)	7,68 \pm 1,72	16,92 \pm 1,13	21,36 \pm 2,17	21,92 \pm 2,40	23,27 \pm 1,41	24,71 \pm 0,57
Mg (g.kg ⁻¹)	2,01 \pm 0,01	2,05 \pm 0,07	2,09 \pm 0,04	1,93 \pm 0,08	2,43 \pm 0,21	2,40 \pm 0,08
C:N (g.kg ⁻¹)	34,08 \pm 4,09	32,39 \pm 2,69	25,59 \pm 2,60	25,14 \pm 0,60	31,94 \pm 0,83	22,54 \pm 0,07
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-17,64 \pm 0,89	-29,03 \pm 0,14	-28,87 \pm 0,08	-28,59 \pm 0,23	-28,82 \pm 0,16	-28,73 \pm 0,08
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	0,46 \pm 0,48	1,34 \pm 0,35	1,37 \pm 0,74	1,57 \pm 0,12	1,12 \pm 0,46	2,33 \pm 0,20
Sítio 2	CON	SEM	AGR	CML	DIV	REF
Serapilheira (kg.m ²)	1,18 \pm 0,20	1,53 \pm 0,13 a	1,26 \pm 0,15 a	1,15 \pm 0,14 a	1,08 \pm 0,14 a	1,07 \pm 0,18
C (g.kg ⁻¹)	376,99 \pm 6,88	476,78 \pm 6,43	473,35 \pm 5,58	479,70 \pm 5,67	470,29 \pm 3,21	452,23 \pm 4,47
N (g.kg ⁻¹)	10,32 \pm 0,32	16,67 \pm 1,17	17,21 \pm 1,68	18,77 \pm 0,93	15,77 \pm 1,10	21,82 \pm 0,63
P (g.kg ⁻¹)	1,03 \pm 0,06	0,85 \pm 0,03	0,78 \pm 0,02	0,82 \pm 0,03	0,88 \pm 0,05	1,16 \pm 0,07
K (g.kg ⁻¹)	2,15 \pm 0,24	1,42 \pm 0,05	1,25 \pm 0,02	1,36 \pm 0,21	1,67 \pm 0,13	2,44 \pm 0,24
Ca (g.kg ⁻¹)	6,68 \pm 0,22	11,47 \pm 1,47	12,83 \pm 1,72	12,36 \pm 1,36	16,72 \pm 1,50	25,87 \pm 1,62
Mg (g.kg ⁻¹)	2,40 \pm 0,09	2,92 \pm 0,06	2,66 \pm 0,08	2,86 \pm 0,24	2,80 \pm 0,19	2,69 \pm 0,13
C:N (g.kg ⁻¹)	36,94 \pm 1,59	29,09 \pm 2,43	28,06 \pm 2,63	25,88 \pm 1,16	30,16 \pm 2,28	20,83 \pm 0,41
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-16,32 \pm 1,48	-28,59 \pm 0,18	-28,88 \pm 0,29	-28,81 \pm 0,58	-28,67 \pm 0,29	-29,01 \pm 0,18
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	0,20 \pm 0,65	0,90 \pm 0,42	1,20 \pm 0,28	0,82 \pm 0,20	1,43 \pm 0,23	2,53 \pm 0,15

Apêndice 19. Resultados da análise de correlação (Pearson) das variáveis de vegetação, serapilheira e solo, baseados nos sistemas de restauração de ambos os sítios. Coeficientes de correlação significativos em negrito ($p < 0,05$; $N=24$).

Variáveis	Vegetação					Estoque de serapilheira		Solo (0-20 cm)		
	Riqueza	Fixadores	Decíduos	Área basal	Densidade	Fauna serap.	C:N serap.	Argila	Estoque de nitrogênio	Estoque de carbono
	n° sp.	% indivíduos	% indivíduos	m ² .ha ⁻¹	ind.ha ⁻¹	ind.m ⁻²	kg.m ²	g.kg ⁻¹	Mg.ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹
<i>Riqueza</i>	1									
<i>Fixadores</i>	-0,665	1								
<i>Decíduos</i>	-0,406	0,464	1							
<i>Área basal</i>	0,105	-0,410	0,117	1						
<i>Densidade</i>	-0,037	0,031	0,276	0,082	1					
<i>Fauna serap.</i>	-0,093	-0,117	0,049	0,090	-0,093	1				
<i>C:N</i>	0,064	-0,235	-0,371	0,252	-0,640	-0,050	1			
<i>Argila</i>	0,458	-0,211	0,222	0,167	-0,057	0,344	0,086	1		
<i>Estoque de nitrogênio</i>	0,466	-0,224	0,163	0,097	-0,124	0,485	0,078	0,963	1	
<i>Estoque de carbono</i>	0,451	-0,205	0,139	0,098	-0,108	0,516	0,079	0,951	0,992	1

Apêndice 20. Resumo da análise de equações estruturais para as variáveis de estoque de nitrogênio e carbono. Valores significativos em negrito ($p < 0,05$; $N = 24$).

Regressões	Coefficiente do caminho	Erro relacionado	z-valor	p-valor	Coefficiente padronizado
Estoque de nitrogênio					
<i>Fauna de serapilheira ~</i>					
Riqueza de plantas	-0,051	0,041	-1,228	0,220	-0,325
Plantas fixadoras	-0,262	0,198	-1,323	0,186	-0,359
C:N	-0,030	0,054	-0,558	0,577	-0,113
<i>Relação C:N ~</i>					
Riqueza de plantas	-0,097	0,154	-0,626	0,531	-0,165
Plantas fixadoras	-0,942	0,720	-1,309	0,191	-0,345
<i>Constante k ~</i>					
Riqueza de plantas	0,248	0,075	3,288	0,001	0,694
Plantas fixadoras	0,384	0,360	1,066	0,287	0,231
C:N	-0,179	0,099	-1,813	0,070	-0,294
<i>Estoque de nitrogênio ~</i>					
Riqueza de plantas	0,204	0,062	3,298	0,001	0,716
Fauna de serapilheira	1,117	0,248	4,503	0,000	0,614
Constante k	0,074	0,137	0,545	0,586	0,093
Plantas fixadoras	0,507	0,255	1,988	0,047	0,382
Relação C:N	0,088	0,071	1,237	0,216	0,180
Estoque de carbono					
Riqueza de plantas	-0,051	0,041	-1,228	0,220	-0,325
Plantas fixadoras	-0,262	0,198	-1,323	0,186	-0,359
C:N	-0,030	0,054	-0,558	0,577	-0,113
<i>Relação C:N ~</i>					
Riqueza de plantas	-0,097	0,154	-0,626	0,531	-0,165
Plantas fixadoras	-0,942	0,720	-1,309	0,191	-0,345
<i>Constante k ~</i>					
Riqueza de plantas	0,248	0,075	3,288	0,001	0,694
Plantas fixadoras	0,384	0,360	1,066	0,287	0,231
C:N	-0,179	0,099	-1,813	0,070	-0,294
<i>Estoque de nitrogênio ~</i>					
Riqueza de plantas	0,238	0,071	3,362	0,001	0,699
Fauna de serapilheira	1,413	0,284	4,982	0,000	0,649
Constante k	0,122	0,156	0,783	0,433	0,128
Plantas fixadoras	0,640	0,292	2,194	0,028	0,403
Relação C:N	0,116	0,081	1,436	0,151	0,200

Apêndice 21. Valores médios (\pm erro padrão) dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), nitrogênio total (NT: g.kg^{-1}), carbono orgânico total (COT: g.kg^{-1}), relação C:N (g.kg^{-1}), densidade do solo (Ds: g.cm^{-3}), estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha^{-1}) e carbono (Est.C: Mg.ha^{-1}), contribuição de plantas C4 (CC4) e C3 (CC3) no estoque de carbono, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 1: Nitossolo Vermelho, Botucatu, SP.

Sítio 1	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	NT	COT	C:N	Ds	Est.N	Est.C	C-C4	C-C3
	-----‰-----	-----‰-----	----- g.kg^{-1} -----	----- g.kg^{-1} -----	-----	g.cm^{-3}	----- Mg.ha^{-1} -----	----- Mg.ha^{-1} -----	-----	-----
0-5 cm										
CON	6,44 \pm 0,66	-16,69 \pm 0,60	3,05 \pm 0,24	36,96 \pm 2,73	12,19 \pm 0,88	1,11 \pm 0,04	1,68 \pm 0,06	20,42 \pm 1,32	19,68 \pm 1,71	0,75 \pm 0,41
SEM	6,10 \pm 0,65	-21,93 \pm 0,83	3,03 \pm 0,27	37,29 \pm 4,14	12,27 \pm 0,27	1,03 \pm 0,01	1,55 \pm 0,13	19,04 \pm 1,89	9,36 \pm 1,91	9,68 \pm 3,51
AGR	7,20 \pm 0,38	-23,67 \pm 0,50	2,35 \pm 0,05	25,91 \pm 0,10	11,02 \pm 0,19	1,25 \pm 0,01	1,47 \pm 0,03	16,14 \pm 0,14	4,24 \pm 0,63	11,90 \pm 0,49
CML	7,21 \pm 0,32	-23,16 \pm 0,27	2,99 \pm 0,04	39,90 \pm 6,75	13,29 \pm 2,07	1,09 \pm 0,05	1,63 \pm 0,07	21,69 \pm 3,28	7,28 \pm 1,03	14,41 \pm 3,21
DIV	6,41 \pm 0,19	-23,91 \pm 0,46	2,84 \pm 0,05	36,15 \pm 1,84	12,69 \pm 0,53	1,18 \pm 0,06	1,68 \pm 0,06	21,38 \pm 1,34	4,87 \pm 0,63	16,51 \pm 1,88
REF	6,15 \pm 0,23	-25,90 \pm 0,20	4,66 \pm 0,41	52,15 \pm 4,81	11,19 \pm 0,29	0,99 \pm 0,08	2,34 \pm 0,40	26,20 \pm 4,51	0,00 \pm 0,00	26,20 \pm 4,51
5-10 cm										
CON	8,94 \pm 0,62	-18,24 \pm 0,67	2,17 \pm 0,13	24,43 \pm 2,24	11,22 \pm 0,77	1,32 \pm 0,03	1,42 \pm 0,05	16,02 \pm 1,36	14,15 \pm 2,83	1,87 \pm 1,48
SEM	8,84 \pm 0,24	-21,13 \pm 0,48	2,01 \pm 0,06	21,72 \pm 0,66	10,82 \pm 0,05	1,32 \pm 0,03	1,33 \pm 0,06	14,38 \pm 0,58	7,78 \pm 1,41	6,60 \pm 1,94
AGR	9,08 \pm 0,41	-22,18 \pm 0,28	1,82 \pm 0,14	19,57 \pm 1,55	10,73 \pm 0,10	1,37 \pm 0,07	1,25 \pm 0,09	13,41 \pm 1,01	5,02 \pm 0,73	8,39 \pm 0,33
CML	8,26 \pm 0,36	-22,34 \pm 0,73	2,51 \pm 0,20	28,85 \pm 2,11	11,50 \pm 0,27	1,16 \pm 0,06	1,46 \pm 0,19	16,73 \pm 1,89	5,02 \pm 0,95	11,71 \pm 2,75
DIV	9,11 \pm 0,18	-21,97 \pm 0,43	1,91 \pm 0,10	24,98 \pm 5,14	12,90 \pm 1,99	1,36 \pm 0,08	1,30 \pm 0,13	17,09 \pm 3,91	6,23 \pm 0,50	10,85 \pm 3,42
REF	7,54 \pm 0,37	-24,77 \pm 0,31	3,37 \pm 0,16	35,52 \pm 1,56	10,57 \pm 0,22	1,17 \pm 0,06	1,98 \pm 0,16	20,84 \pm 1,46	0,00 \pm 0,00	20,84 \pm 1,46
10-20 cm										
CON	10,35 \pm 0,67	-19,73 \pm 0,65	1,74 \pm 0,11	18,48 \pm 1,05	10,63 \pm 0,37	1,35 \pm 0,06	1,74 \pm 0,11	18,48 \pm 1,05	17,47 \pm 3,8	7,33 \pm 3,45
SEM	10,91 \pm 0,48	-21,30 \pm 0,26	1,61 \pm 0,08	16,36 \pm 1,06	10,16 \pm 0,27	1,40 \pm 0,05	1,61 \pm 0,08	16,36 \pm 1,06	10,34 \pm 2,25	12,39 \pm 2,74
AGR	10,69 \pm 0,22	-21,52 \pm 0,15	1,58 \pm 0,11	16,11 \pm 1,04	10,18 \pm 0,06	1,34 \pm 0,09	1,58 \pm 0,11	16,11 \pm 1,04	8,99 \pm 1,95	12,50 \pm 1,32
CML	10,65 \pm 0,29	-21,52 \pm 0,58	1,95 \pm 0,05	19,89 \pm 1,23	10,18 \pm 0,42	1,30 \pm 0,04	1,95 \pm 0,05	19,89 \pm 1,23	9,47 \pm 1,24	16,40 \pm 2,87
DIV	10,79 \pm 0,19	-21,60 \pm 0,08	1,71 \pm 0,07	17,57 \pm 1,12	10,28 \pm 0,38	1,45 \pm 0,05	1,71 \pm 0,07	17,57 \pm 1,12	9,91 \pm 1,06	15,50 \pm 2,34
REF	9,30 \pm 0,17	-24,01 \pm 0,21	2,25 \pm 0,15	21,42 \pm 0,73	9,58 \pm 0,56	1,20 \pm 0,01	2,25 \pm 0,15	21,42 \pm 0,73	0,00 \pm 0,00	21,42 \pm 0,73
20-40 cm										
CON	11,22 \pm 0,30	-20,76 \pm 0,29	1,47 \pm 0,10	14,90 \pm 1,08	10,1 \pm 0,19	1,41 \pm 0,01	4,16 \pm 0,31	42,02 \pm 3,17	20,84 \pm 0,20	21,18 \pm 3,18
SEM	11,45 \pm 0,41	-21,80 \pm 0,28	1,32 \pm 0,13	12,81 \pm 1,27	9,70 \pm 0,43	1,41 \pm 0,02	3,72 \pm 0,31	36,02 \pm 3,04	12,40 \pm 2,37	23,63 \pm 4,15
AGR	11,30 \pm 0,34	-22,14 \pm 0,06	1,45 \pm 0,08	14,41 \pm 0,81	9,92 \pm 0,09	1,35 \pm 0,09	3,90 \pm 0,17	38,69 \pm 1,99	10,96 \pm 1,84	27,73 \pm 2,17
CML	11,53 \pm 0,32	-21,94 \pm 0,25	1,65 \pm 0,10	15,44 \pm 0,96	9,36 \pm 0,04	1,42 \pm 0,01	4,69 \pm 0,27	43,90 \pm 2,59	13,40 \pm 1,95	30,50 \pm 1,77
DIV	11,32 \pm 0,40	-21,97 \pm 0,22	1,48 \pm 0,08	15,01 \pm 1,11	10,12 \pm 0,27	1,52 \pm 0,00	4,51 \pm 0,26	45,69 \pm 3,45	13,63 \pm 1,43	32,06 \pm 2,03
REF	9,90 \pm 0,08	-23,79 \pm 0,14	1,97 \pm 0,03	17,56 \pm 0,44	8,90 \pm 0,34	1,34 \pm 0,08	5,28 \pm 0,32	47,01 \pm 3,36	0,00 \pm 0,00	47,01 \pm 3,36

Apêndice 22. Valores médios (\pm erro padrão) dos isótopos estáveis $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰), nitrogênio total (NT: g.kg^{-1}), carbono orgânico total (COT: g.kg^{-1}), relação C:N(g.kg^{-1}), densidade do solo (Ds: g.cm^{-3}), estoques de nitrogênio (Est.N: Mg.ha^{-1}) e carbono (Est.C: Mg.ha^{-1}), contribuição de plantas C4 (CC4) e C3 (CC3) no estoque de carbono, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, no Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo, Botucatu, SP.

Sítio 2	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	NT	COT	C:N	Ds	Est.N	Est.C	C-C4	C-C3
	-----‰-----	-----‰-----	----- g.kg^{-1} -----	----- g.kg^{-1} -----	-----	g.cm^{-3}	----- Mg.ha^{-1} -----	----- Mg.ha^{-1} -----	-----	-----
0-5 cm										
CON	4,99 \pm 0,17	-17,35 \pm 0,99	0,73 \pm 0,21	8,03 \pm 2,69	10,71 \pm 0,73	1,34 \pm 0,05	0,50 \pm 0,16	5,47 \pm 2,00	5,47 \pm 2,00	0,01 \pm 0,01
SEM	5,87 \pm 0,13	-23,33 \pm 1,02	0,69 \pm 0,02	7,08 \pm 0,55	10,30 \pm 0,56	1,42 \pm 0,02	0,49 \pm 0,02	5,02 \pm 0,46	1,52 \pm 0,72	3,51 \pm 0,50
AGR	6,15 \pm 0,19	-24,47 \pm 0,43	0,59 \pm 0,06	6,26 \pm 0,82	10,45 \pm 0,45	1,37 \pm 0,04	0,41 \pm 0,05	4,32 \pm 0,63	0,58 \pm 0,30	3,74 \pm 0,74
CML	5,74 \pm 0,51	-24,82 \pm 0,46	0,66 \pm 0,07	6,81 \pm 0,74	10,36 \pm 0,48	1,39 \pm 0,06	0,46 \pm 0,06	4,76 \pm 0,65	0,57 \pm 0,40	4,19 \pm 0,52
DIV	5,72 \pm 0,28	-25,68 \pm 0,75	0,96 \pm 0,41	9,30 \pm 3,36	10,16 \pm 0,60	1,38 \pm 0,03	0,65 \pm 0,26	6,31 \pm 2,15	0,58 \pm 0,32	5,73 \pm 2,45
REF	6,56 \pm 0,41	-25,16 \pm 1,34	1,05 \pm 0,38	10,3 \pm 3,84	9,88 \pm 0,49	1,24 \pm 0,10	0,66 \pm 0,26	6,50 \pm 2,55	0,00 \pm 0,00	6,50 \pm 2,55
5-10 cm										
CON	7,43 \pm 0,14	-17,31 \pm 0,82	0,48 \pm 0,08	4,68 \pm 0,90	9,71 \pm 0,72	1,49 \pm 0,02	0,36 \pm 0,06	3,50 \pm 0,71	3,50 \pm 0,71	0,00 \pm 0,00
SEM	7,27 \pm 0,17	-23,01 \pm 0,79	0,48 \pm 0,02	4,52 \pm 0,30	9,41 \pm 0,49	1,49 \pm 0,03	0,36 \pm 0,01	3,36 \pm 0,24	0,91 \pm 0,16	2,45 \pm 0,41
AGR	7,66 \pm 0,12	-22,50 \pm 0,32	0,48 \pm 0,02	4,71 \pm 0,20	9,82 \pm 0,46	1,46 \pm 0,04	0,35 \pm 0,01	3,44 \pm 0,20	1,15 \pm 0,62	2,29 \pm 0,52
CML	7,61 \pm 0,26	-22,37 \pm 0,70	0,43 \pm 0,04	4,01 \pm 0,20	9,35 \pm 0,42	1,47 \pm 0,04	0,32 \pm 0,03	2,95 \pm 0,22	1,17 \pm 0,39	1,78 \pm 0,31
DIV	7,64 \pm 0,53	-24,24 \pm 0,92	0,54 \pm 0,12	4,82 \pm 0,70	9,16 \pm 0,63	1,46 \pm 0,02	0,39 \pm 0,08	3,51 \pm 0,50	0,78 \pm 0,39	2,73 \pm 0,88
REF	7,79 \pm 0,48	-24,65 \pm 1,28	0,69 \pm 0,11	6,44 \pm 1,00	9,47 \pm 0,76	1,32 \pm 0,03	0,45 \pm 0,07	4,24 \pm 0,61	0,00 \pm 0,00	4,24 \pm 0,61
10-20 cm										
CON	8,99 \pm 0,17	-18,28 \pm 0,67	0,39 \pm 0,04	3,76 \pm 0,57	9,40 \pm 0,64	1,57 \pm 0,02	0,62 \pm 0,05	5,88 \pm 0,84	5,80 \pm 0,91	0,08 \pm 0,08
SEM	8,26 \pm 0,13	-22,32 \pm 0,55	0,41 \pm 0,01	3,70 \pm 0,13	9,01 \pm 0,24	1,54 \pm 0,03	0,63 \pm 0,01	5,70 \pm 0,20	2,18 \pm 0,32	3,52 \pm 0,50
AGR	8,48 \pm 0,08	-21,26 \pm 0,65	0,43 \pm 0,03	3,96 \pm 0,22	9,20 \pm 0,36	1,49 \pm 0,00	0,65 \pm 0,05	5,90 \pm 0,32	3,01 \pm 1,36	2,89 \pm 1,46
CML	8,35 \pm 0,42	-22,28 \pm 0,32	0,40 \pm 0,05	3,67 \pm 0,42	9,28 \pm 0,19	1,52 \pm 0,02	0,60 \pm 0,07	5,59 \pm 0,61	1,88 \pm 1,04	3,72 \pm 1,41
DIV	9,06 \pm 0,08	-23,23 \pm 1,27	0,39 \pm 0,03	3,45 \pm 0,07	8,79 \pm 0,46	1,51 \pm 0,02	0,60 \pm 0,05	5,22 \pm 0,18	1,99 \pm 1,00	3,24 \pm 1,15
REF	9,10 \pm 0,28	-24,51 \pm 1,31	0,50 \pm 0,07	4,22 \pm 0,38	8,55 \pm 0,57	1,40 \pm 0,05	0,70 \pm 0,10	5,91 \pm 0,47	0,00 \pm 0,00	5,91 \pm 0,47
20-40 cm										
CON	10,11 \pm 0,22	-20,19 \pm 0,39	0,43 \pm 0,04	3,83 \pm 0,46	8,79 \pm 0,58	1,57 \pm 0,03	1,37 \pm 0,12	11,99 \pm 1,37	9,98 \pm 1,09	2,01 \pm 0,57
SEM	9,57 \pm 0,24	-21,66 \pm 0,47	0,37 \pm 0,03	3,28 \pm 0,35	8,83 \pm 0,43	1,52 \pm 0,02	1,12 \pm 0,08	9,94 \pm 1,04	3,52 \pm 1,48	6,42 \pm 2,39
AGR	9,11 \pm 0,25	-21,60 \pm 0,32	0,44 \pm 0,01	3,88 \pm 0,14	8,95 \pm 0,44	1,53 \pm 0,03	1,33 \pm 0,06	11,91 \pm 0,42	4,95 \pm 2,50	6,96 \pm 2,30
CML	9,70 \pm 0,26	-22,29 \pm 0,19	0,37 \pm 0,03	3,26 \pm 0,19	8,92 \pm 0,33	1,59 \pm 0,05	1,17 \pm 0,11	10,34 \pm 0,53	3,24 \pm 1,63	7,10 \pm 2,15
DIV	9,80 \pm 0,15	-23,48 \pm 1,15	0,35 \pm 0,04	3,07 \pm 0,43	8,59 \pm 0,40	1,56 \pm 0,01	1,11 \pm 0,15	9,59 \pm 1,41	3,68 \pm 1,97	5,91 \pm 0,82
REF	9,08 \pm 0,30	-24,01 \pm 1,54	0,33 \pm 0,07	2,92 \pm 0,84	8,58 \pm 0,71	1,41 \pm 0,04	0,94 \pm 0,22	8,36 \pm 2,68	0,00 \pm 0,00	8,36 \pm 2,68

Apêndice 23. Valores médios em g.kg^{-1} do carbono do fracionamento químico e físico, dos sistemas de restauração (SEM: semeadura direta; AGR: agroflorestal; CML: comercial; DIV: diversificado), sistema controle (CON) e floresta de referência (REF), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em sítios sob solo Nitossolo Vermelho (Sítio 1) e Argissolo Vermelho Amarelo (Sítio 2), Botucatu, SP.

	Sítio 1					Sítio 2				
	Fracionamento químico			Fracionamento físico		Fracionamento químico			Fracionamento físico	
	C-HUM	C-FAF	C-FAH	COp	COam	C-HUM	C-FAF	C-FAH	COp	COam
	-----g.kg ⁻¹ -----									
0-5 cm										
CON	24,87 ± 1,19	3,54 ± 0,25	4,21 ± 0,39	2,39 ± 1,45	34,57 ± 1,92	4,47 ± 0,70	1,22 ± 0,51	0,98 ± 0,35	2,18 ± 1,35	5,86 ± 3,48
SEM	22,95 ± 2,41	3,65 ± 0,48	3,20 ± 0,43	4,26 ± 2,75	33,02 ± 4,43	3,70 ± 1,32	1,36 ± 0,10	0,94 ± 0,18	1,43 ± 0,76	5,65 ± 0,72
AGR	17,64 ± 1,05	3,03 ± 0,11	2,35 ± 0,11	3,50 ± 2,81	22,41 ± 2,82	2,82 ± 0,83	0,83 ± 0,12	1,09 ± 0,31	1,66 ± 0,06	4,60 ± 0,88
CML	20,95 ± 1,99	3,64 ± 0,19	4,21 ± 0,79	3,73 ± 2,13	36,17 ± 4,69	3,21 ± 0,73	0,86 ± 0,14	0,97 ± 0,44	1,15 ± 0,48	5,66 ± 0,84
DIV	23,82 ± 2,49	3,27 ± 0,19	3,10 ± 0,58	6,55 ± 3,91	29,60 ± 2,57	6,32 ± 3,87	0,88 ± 0,45	1,37 ± 1,00	0,91 ± 0,46	8,39 ± 2,93
REF	32,26 ± 3,99	4,15 ± 0,53	4,43 ± 0,97	8,19 ± 1,99	43,96 ± 3,15	3,20 ± 0,86	1,25 ± 0,37	2,07 ± 0,31	2,55 ± 1,85	7,82 ± 2,05
5-10 cm										
CON	16,46 ± 0,93	2,87 ± 0,15	2,79 ± 0,38	1,21 ± 0,24	23,22 ± 2,46	3,34 ± 1,53	0,71 ± 0,24	0,56 ± 0,23	1,39 ± 0,56	3,30 ± 0,87
SEM	13,97 ± 1,30	2,80 ± 0,26	2,17 ± 0,25	3,70 ± 2,91	18,02 ± 2,53	3,49 ± 0,69	0,63 ± 0,29	0,56 ± 0,14	0,57 ± 0,28	3,95 ± 0,62
AGR	13,35 ± 0,66	2,51 ± 0,10	1,81 ± 0,29	0,81 ± 0,23	18,76 ± 1,77	2,29 ± 0,64	0,56 ± 0,02	0,74 ± 0,21	0,46 ± 0,23	4,25 ± 0,10
CML	15,06 ± 1,25	3,03 ± 0,21	3,07 ± 0,66	3,20 ± 2,29	25,64 ± 4,39	3,15 ± 0,85	0,66 ± 0,02	0,55 ± 0,25	0,68 ± 0,36	3,34 ± 0,44
DIV	13,34 ± 1,51	2,67 ± 0,04	2,36 ± 0,22	1,99 ± 1,16	23,00 ± 5,88	3,04 ± 1,58	0,44 ± 0,18	0,51 ± 0,43	0,40 ± 0,10	4,42 ± 0,78
REF	20,29 ± 2,22	3,40 ± 0,47	2,86 ± 0,47	6,54 ± 2,86	28,97 ± 2,02	2,80 ± 0,91	0,69 ± 0,04	1,07 ± 0,13	1,35 ± 0,51	5,09 ± 1,03
10-20 cm										
CON	10,80 ± 1,60	2,28 ± 0,06	1,41 ± 0,28	3,31 ± 2,76	15,17 ± 1,89	2,15 ± 1,25	0,43 ± 0,21	0,27 ± 0,10	0,80 ± 0,20	2,97 ± 0,59
SEM	11,55 ± 0,62	2,27 ± 0,21	1,65 ± 0,30	0,59 ± 0,32	15,78 ± 1,09	3,20 ± 0,49	0,60 ± 0,04	0,32 ± 0,27	0,85 ± 0,10	2,85 ± 0,22
AGR	10,38 ± 0,45	2,29 ± 0,09	1,64 ± 0,09	0,88 ± 0,22	15,22 ± 1,25	2,27 ± 0,59	0,45 ± 0,02	0,35 ± 0,19	0,43 ± 0,29	3,52 ± 0,14
CML	10,23 ± 1,52	2,62 ± 0,22	2,15 ± 0,42	0,79 ± 0,31	19,10 ± 1,43	1,61 ± 0,27	0,23 ± 0,10	0,31 ± 0,18	0,75 ± 0,21	2,92 ± 0,61
DIV	11,22 ± 0,31	2,27 ± 0,04	1,86 ± 0,25	1,67 ± 0,51	15,89 ± 0,86	3,04 ± 0,20	0,29 ± 0,11	0,31 ± 0,14	0,55 ± 0,38	2,90 ± 0,41
REF	12,08 ± 1,62	2,38 ± 0,05	2,32 ± 0,05	1,86 ± 0,54	19,57 ± 0,82	2,91 ± 0,67	0,34 ± 0,04	0,44 ± 0,10	0,75 ± 0,29	3,47 ± 0,58
20-40 cm										
CON	10,85 ± 1,68	2,15 ± 0,17	1,62 ± 0,40	2,74 ± 2,14	12,16 ± 2,51	2,25 ± 0,85	0,40 ± 0,20	0,20 ± 0,05	1,16 ± 0,37	2,67 ± 0,74
SEM	9,56 ± 1,59	1,88 ± 0,06	1,00 ± 0,47	0,45 ± 0,29	12,36 ± 1,37	2,69 ± 0,08	0,32 ± 0,06	0,22 ± 0,13	0,46 ± 0,20	2,82 ± 0,32
AGR	9,59 ± 0,83	2,10 ± 0,22	1,39 ± 0,33	1,12 ± 0,02	13,29 ± 0,83	2,38 ± 0,69	0,36 ± 0,07	0,30 ± 0,15	0,37 ± 0,11	3,51 ± 0,25
CML	9,92 ± 2,01	2,40 ± 0,06	1,52 ± 0,17	1,12 ± 0,90	14,32 ± 1,27	1,53 ± 0,42	0,27 ± 0,04	0,17 ± 0,12	0,40 ± 0,16	2,85 ± 0,34
DIV	10,60 ± 0,80	1,90 ± 0,05	1,51 ± 0,22	1,37 ± 0,55	13,64 ± 1,33	2,14 ± 0,81	0,27 ± 0,07	0,12 ± 0,07	0,41 ± 0,18	2,67 ± 0,61
REF	10,78 ± 1,52	2,25 ± 0,32	1,4, ± 0,07	1,84 ± 0,46	15,72 ± 0,76	1,54 ± 0,78	0,33 ± 0,11	0,36 ± 0,21	0,65 ± 0,38	2,27 ± 1,09