UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

REGIANE FRANCO

FAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

TESE

PATO BRANCO
2016

REGIANE FRANCO

FAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
Coorientador: Prof. Dr. Dilmar Baretta
Coorientador: Prof. Dr. Mauricio Vicente Alves

PATO BRANCO
2016

F825f Franco, Regiane.
Fauna edáfica sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical – Pato Branco: [s.n], 2016.
138f.:il.

Orientador: Paulo Cesar Conceição
Coorientador: Dilmar Baretta
Coorientador: Mauricio Vicente Alves
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Pato Branco, 2016.
Bibliografia p.106-121

1.Florestamento 2.Biologia do solo 3.Serapilheira I.Conceição, Paulo César, orient. II. Baretta, Dilmar, coorient. III. Alves, Mauricio Vicente, coorient. IV.Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco.V.Título.

CDD: 634.9

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB:9/1745

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese n.° 016

Fauna Edáfica Sob Modelos em Estágio Inicial de Restauração de Floresta Subtropical

Por

Regiane Franco Vargas

Tese apresentada às treze horas e trinta minutos do dia primeiro de abril de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maurício Vicente Alves
UNOESC/Xanxerê

Prof. Dr. Fernando Campanha Bechara
UTFPR/Dois Vizinhos

Prof.ª Dr.ª Dinéia Tessaro
UTFPR/Dois Vizinhos

Prof. Dr. Dilmar Baretta
UDESC/Chapecó

Prof. Dr. Paulo César Conceição
UTFPR/Dois Vizinhos
Orientador

Prof. Dr. Giovani Benin
UTFPR/Pato Branco
Coordenador do PPGAG

Dedico esta tese a Jeová meu Deus, aos meus pais José e Leony (*in memorian*), ao meu marido Laudecir e aos meus filhos Gabriel e Bernardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jeová, meu Deus, por me guiar e fortalecer, sem a sua presença em minha vida nada seria possível. Ao meu marido Laudecir e aos meus filhos Gabriel e Bernardo pelo apoio, companheirismo, amor incondicional e por suportarem me ver na frente do computador por horas.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde sou servidora com muito orgulho, por ter me dado a oportunidade de me afastar das minhas funções para realizar o doutorado. Ao meu orientador Paulo Cesar Conceição por ter aceitado adentrar no mundo da fauna do solo para o desenvolvimento desta tese, pela paciência, ensinamentos e pelo tempo destinado para orientação desse trabalho.

Aos meus coorientadores Dilmar Baretta e Mauricio Vicente Alves por me mostrarem o caminho. Ao professor Gustavo Sene-Silva pelo apoio e sugestões. Ao Professor Fernando Bechara por me dar a oportunidade de desenvolver esse trabalho no seu projeto e por todas as sugestões realizadas para a melhoria desse estudo.

À Joseane Derengoski pela amizade, pelos momentos de troca de ideias, pelo apoio prestado nas triagens das amostras e identificação dos organismos. A Jéssica Camile da Silva e a Flávia Moreira também pelo apoio prestado nas triagens das amostras.

Aos alunos da UTFPR Dois Vizinhos da graduação e pós-graduação que contribuíram nas coletas de amostras (Joseane, Jéssica, Flávia, Anderson, Piske, Lucas, Carlos, Ana, Jaqueline Machado, Cidimar, Gilvanei, Nilson, Cristiane, Jaqueline da Rosa, Marcos, Evandro, dentre outros). Muito Obrigado!!!

Aos professores Michele Potrich e Everton Lozano por terem concedido o uso do Laboratório de Controle Biológico. Aos amigos Valdair e Miler por terem me ajudado no corte dos canos para o extrator de mesofauna!!! Que sufoco hein amigos!!!

À Universidade de Coimbra por ter me recebido durante o período de doutorado sanduíche em Portugal e ao professor José Paulo Sousa por ter me orientado e pela amizade. Aos amigos portugueses do Laboratório de Solos Carla Pereira, Sónia Chelinho, Dalila Costa, Tiago Natal da Luz, Mathieu Renaud, Antonio Silva, Joana Alves, Henrique Pereira, João Raimundo e Nuno Capela. Em especial ao Filipe Chichorro de Carvalho, Filipa Reis e Sara Mendes pelo companheirismo, paciência e por todo conhecimento repassado!! Obrigada pelo apoio!! Vocês são Fixe!! Espero reencontrá-los em breve!!!

RESUMO

FRANCO, Regiane. Fauna edáfica sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O objetivo deste estudo foi comparar áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da fauna presente na serapilheira e no solo. Foram conduzidos os seguintes tratamentos: Regeneração natural (RN), Plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade (L) e Nucleação (N). Uma área de mata secundária (M) foi incluída no estudo como referencial das condições do solo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram coletadas amostras para extração da mesofauna (outubro/2012; julho e outubro/2013) e da macrofauna (junho e outubro/2013), em seis pontos de cada parcela amostral, totalizando 24 pontos amostrais por tratamento. Para coleta da macrofauna edáfica foi utilizado o método TSBF. A mesofauna foi coletada com o auxílio de um cilindro de metal e extraída utilizando Funis de Berlese-Tüllgren. Em cada ponto foi coletado separadamente serapilheira e solo e a fauna extraída foi identificada em nível de classe/ordem taxonômica. Os colêmbolos foram categorizados em tipos morfológicos. No total, considerando a mesofauna, a macrofauna e as três coletas realizadas, foram contabilizados 28618 organismos. Em relação à mesofauna edáfica, as tecnologias avaliadas não diferiram, após três anos em processo de restauração, em relação à abundância total de organismos e composição da comunidade. O índice diversidade de Shannon, na mesofauna edáfica, seguiu um gradiente de impacto antrópico, sendo superior na Regeneração natural, que não sofreu intervenções técnicas e apresentou maior teor de umidade no solo, e inferior na tecnologia plantio em linhas, que foi submetida ao controle de plantas espontâneas em área total. No caso da mesofauna da serapilheira as áreas submetidas às tecnologias não se diferenciaram em relação à riqueza média de grupos taxonômicos, abundância total de organismos e composição da comunidade. Considerando a macrofauna edáfica as tecnologias não diferiram em relação à abundância e riqueza, sendo que na avaliação de junho/2013 a RN apresentou maior índice H’ e se diferenciou em relação à composição da comunidade das demais tecnologias. Na avaliação de outubro/2013, as diferenças entre as tecnologias em relação ao índice H’ foram mais estreitas e essas não se diferenciaram em termos de composição da comunidade da macrofauna edáfica. Na macrofauna da serapilheira, em junho/2013, a RN apresentou maior riqueza e maior índice H’ quando comparada as demais tecnologias e na avaliação de outubro/2013, as tecnologias não se diferenciaram em relação à composição da comunidade, riqueza média de grupos e abundância média de organismos. No caso dos colêmbolos, as tecnologias após três anos em processo de restauração, não se diferenciaram em relação à abundância, riqueza e composição da comunidade de colêmbolos por diferentes morfotipos. A mata secundária, em relação às tecnologias de restauração florestal, apresentou maior abundância de saprófagos, predadores e maior diversidade de morfotipos de colêmbolos. Diante desses resultados recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação, seguida da nucleação e do plantio em linha. A fauna deve ser monitorada, ao longo do tempo, nas tecnologias de restauração, bem como as variáveis físicas e químicas do solo, a fim de entender possíveis mudanças na composição e diversidade de organismos.

Palavras-chave: Diversidade. Biologia do solo. Collembola. Macrofauna. Mesofauna.

ABSTRACT

FRANCO, Regiane. Edaphic fauna Under Models in Initial Stage of restoration Subtropical Forest. 139 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Plant Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2016.

The goal of this study was to compare areas under different forest restoration technologies in relation to abundance, richness, diversity and composition of the present fauna in the litter and soil. The treatments evaluated were: natural regeneration (RN); high diversity tree plantations (L) and nucleation (N). An area of secondary forest was included in the study as a reference of soil conditions. The experimental design was in randomized block with four replications. Samples were collected for extraction of mesofauna (October/2012; July and October/2013) and macrofauna (June and October/2013) in six points of each plot, totaling 24 samples per treatment. For collecting soil macrofauna was used TSBF method. The mesofauna was collected with a metal cylinder and extracted by Berlese-Tüllgren funnel. Litter and soil were collected separately at each point and the fauna was identified level of class/taxonomic order. The springtails were classified using morphotypes. In total, considering the mesofauna, macrofauna and three times collected were accounted 28618 organisms. In relation soil mesofauna, the evaluated technologies did not differ, after three years of restoration, in relation to total abundance of organisms and community composition. The Shannon diversity index (H), in soil mesofauna, followed a human impact gradient. This index was higher in natural regeneration, which not was undergone technical interventions and showed higher moisture in the soil. The tree planting technology, under the control of volunteer plants in total area, showed lower H index. In the case of litter mesofauna, the technologies did not differ in relation the mean richness, total abundance of organisms and community composition. Considering edaphic macrofauna, technologies did not differ in relation to the abundance and richness, and in the evaluation of June/2013, RN showed higher H index and differed in relation to the community composition of other technologies. In October/2013 evaluation, the differences between the technologies in relation to H index were narrower and these did not differ in terms of composition of soil macrofauna community. In litter macrofauna, in June/2013, the RN presented greater richness and H index when compared to other technologies and in evaluation October/2013 technologies did not differ in relation to community composition, richness and mean abundance of organisms. In the case of springtails, technologies after three years in the restoration process, did not differ in relation to the abundance, richness and composition of Collembola community for different morphotypes. The secondary forest, in relation to forest restoration technologies, presented greater abundance of saprophages, predators and greater diversity of morphotypes of springtails. From these results it, we recommended to natural regeneration by to have the lowest cost of deployment, followed by nucleation and online planting. The animals should be monitored over time, in the restoration technologies, as well as the physical and chemical characteristics of the soil, in order to understand the possible changes in the composition and diversity of organisms.

Keywords: Diversity. Soil Biology. Collembola. Macrofauna. Mesofauna.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da fauna edáfica quanto ao diâmetro do corpo 18
Figura 2 - Relações entre as atividades da comunidade biológica do solo e uma gama de bens e serviços do ecossistema que a sociedade pode esperar de solos agrícolas. MO: matéria orgânica; MOS: matéria orgânica do solo. 20
Figura 3 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da mesofauna edáfica nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes. 34
Figura 4 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da mesofauna edáfica (serapilheira+solo) nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR. 38
Figura 5 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da mesofauna edáfica (serapilheira-solo), calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração natural *versus* Mata (RNxM); Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM). Dois vizinhos, PR. 40
Figura 6 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de mesofauna edáfica coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos, PR.. 42
Figura 7 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da mesofauna da serapilheira nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes. 52
Figura 8 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da mesofauna da serapilheira nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR. 58
Figura 9 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da mesofauna da serapilheira, calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM); Regeneração Natural *versus* Mata (RNxM). Dois vizinhos, PR. 59
Figura 10 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de mesofauna da serapilheira coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: outubro/2012, B:julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos, PR.. 61
Figura 11 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes. 70
Figura 12 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas quatro

parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR. 74
Figura 13 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica (serapilheira+solo), calculada através da análise SIMPER, para diferenciação dos tratamentos avaliados em junho/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração natural *versus* Plantio em linhas (RNxL); Regeneração natural *versus* Nucleação (RNxN); Nucleação *versus* Mata (NxM); Plantio em linhas *versus* Mata (LxM). Dois vizinhos, PR. Obs: A regeneração natural e a mata não se diferenciaram pela análise de similaridade ANOSIM, portanto não foram submetidos a análise SIMPER. 75
Figura 14 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos, PR.. 76
Figura 15 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna da serapilheira nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: junho/2013 e em B: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes. 84
Figura 16 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de macrofauna da serapilheira coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos, PR.. 88
Figura 17 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade de morfotipos de colêmbolos edáficos nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em outubro/2013. Dois Vizinhos – PR. 101
Figura 18 - Porcentagem de contribuição de morfotipos de colêmbolos edáficos, calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração Natural *versus* Mata (RNxM); Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM); Dois vizinhos, PR. 101
Figura 19 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de colêmbolos, classificados em morfotipos, coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em outubro/2013. Dois vizinhos, PR. 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, da área experimental na implantação das tecnologias de restauração florestal no ano de 2010. UTFPR, Dois Vizinhos, Pr, Brasil.....27
Tabela 2 – Práticas culturais realizadas nos tratamentos nucleação e plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade durante o período compreendido entre 2011 e 2013. UTFPR, Dois Vizinhos, Pr, Brasil.....30
Tabela 3 – Umidade do solo, temperatura do solo, abundância média de organismos do solo por grupo taxonômico, abundância total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') referente à mesofauna edáfica (serapilheira-solo) nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em linha em outubro/2012, julho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos – Pr. 35
Tabela 4 – Umidade do solo, temperatura do solo, abundância média de organismos por grupo taxonômico, abundância total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') referente à mesofauna da serapilheira nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em linha em outubro/2012, julho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.....53
Tabela 5 – Abundância média por grupo taxonômico da macrofauna edáfica, abundância média total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de uniformidade de Pielou (J'), umidade e temperatura do solo e massa seca vegetal sobre o solo nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em junho/2013 e outubro/2013.....72
Tabela 6 – Riqueza média e total de grupos da macrofauna da serapilheira, abundância média total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de uniformidade de Pielou (J'), umidade do solo, temperatura do solo e massa seca vegetal sobre o solo nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em junho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos/PR.....85
Tabela 7 – Frequência relativa de cada morfotipo de colêmbolo (%), abundância média total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em outubro/2013. Dois Vizinhos/Paraná.....99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 HIPÓTESE GERAL 14
1.2 OBJETIVOS 14
1.2.1 Geral 14
1.2.2 Específicos 14
2 REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1 TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL: REGENERAÇÃO NATURAL, NUCLEAÇÃO E PLANTIO DE ÁRVORES EM LINHAS DE RECOBRIMENTO E DIVERSIDADE 15
2.2 FAUNA EDÁFICA 17
2.3 FATORES QUE AFETAM OS ORGANISMOS EDÁFICOS 21
2.4 MACROFAUNA E MESOFAUNA COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO 22
2.5 ÍNDICES BIOLÓGICOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA 22
3 MESOFAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL 24
3.1 INTRODUÇÃO 26
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS 27
3.2.1 Área Experimental 27
3.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos 28
3.2.3 Coleta e extração da mesofauna edáfica (serapilheira-solo) 30
3.2.4 Dados obtidos e análise estatística 31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 32
3.4 CONCLUSÕES 45
4 MESOFAUNA DA SERAPILHEIRA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL 47
4.1 INTRODUÇÃO 49
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS 50
4.2.1 Área Experimental 50
4.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos 50
4.2.3 Coleta e extração da mesofauna da serapilheira 50
4.2.4 Dados obtidos e análise estatística 51
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
4.4 CONCLUSÕES 62
5 MACROFAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL 64
5.1 INTRODUÇÃO 66
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS 67
5.2.1 Área Experimental 67
5.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos 67
5.2.3 Coleta e extração da macrofauna edáfica 67
5.2.4 Dados obtidos e análise estatística 68
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 69
5.4 CONCLUSÕES 78
6 MACROFAUNA DA SERAPILHEIRA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL 79

6.1 INTRODUÇÃO 81
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS 82
6.2.1 Área Experimental 82
6.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos 82
6.2.4 Dados obtidos e análise estatística 82
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 83
6.4 CONCLUSÕES 89
7 MORFOTIPOS DE COLÊMBOLOS (HEXAPODA: COLLEMBOLA) SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL 90
7.1 INTRODUÇÃO 92
7.2 MATERIAIS E MÉTODOS 93
7.2.1 Área Experimental 93
7.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos 94
7.2.3 Coleta e extração dos Colêmbolos 94
7.2.4 Classificação dos colêmbolos em Morfotipos 95
7.2.5 Dados obtidos e análise estatística 95
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 97
7.4 CONCLUSÕES 103
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 105
REFERÊNCIAS 106
APÊNDICES 123
ANEXOS 135

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento mundial da população, a interferência antrópica sobre o ambiente se intensificou, acarretando a degradação de diferentes ecossistemas florestais. Esses impactos ambientais geram a demanda por conhecimento de técnicas e estratégias inovadoras de restauração florestal. Conforme a Lei 9.985 (BRASIL, 2000), que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, a restauração é defin ida como a "restituição de um ecossistema ou uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original".

Reconstituir um ecossistema florestal é um desafio que envolve a complexidade dos processos sucessionais naturais. As tecnologias de restauração como plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade e a nucleação têm por objetivo a aplicação de técnicas que reproduzam esses processos a fim de restituir a biodiversidade e as relações entre os organismos.

A fauna edáfica por ser sensível à modificação da cobertura vegetal tem sido estudada para caracterizar e identificar efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade do solo. Esses organismos estão intimamente associados aos processos de decomposição da matéria orgânica, de ciclagem de nutrientes, de estruturação física do solo, dentre outros, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade do ecossistema. Diversos trabalhos apontam para a hipótese de que a diversidade e a abundância da fauna do solo, assim como a presença de determinados grupos em um sistema, podem ser usadas como indicadores da qualidade do solo.

São escassos os trabalhos relacionando a biodiversidade edáfica e os diferentes sistemas de restauração florestal, especialmente em regiões subtropicais. A caracterização e o monitoramento dessa relação são importantes para compreender a dinâmica da fauna edáfica nesses sistemas, bem como servir de subsídio para melhoria das técnicas de restauração. Nesse contexto, foi desenvolvida a proposta de aplicação e monitoramento de diferentes tecnologias de restauração florestal, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, e dentre os parâmetros utilizados para esta avaliação está a fauna edáfica.

1.1 HIPÓTESE GERAL

As áreas submetidas às tecnologias de restauração florestal diferem em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da fauna presente na serapilheira e no solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Comparar áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal (regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em linha de recobrimento e diversidade) em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da macro e mesofauna presente na serapilheira e no solo.

1.2.2 Específicos

- Comparar áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal com área de mata nativa secundária, utilizada como referência, em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da macro e mesofauna;
- Caracterizar a macro e mesofauna presente na serapilheira e no solo, a nível de classe/ordem taxonômica, em áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal;
- Comparar a quantidade de serapilheira sobre o solo, a temperatura e a umidade do solo nas áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal e na área de mata secundária, e relacioná-las com as variáveis biológicas;
- Verificar quais grupos da macro e mesofauna que mais contribuíram para a diferenciação das tecnologias de restauração florestal;
- Caracterizar e comparar a diversidade de morfotipos de colêmbolos em áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL: REGENERAÇÃO NATURAL, NUCLEAÇÃO E PLANTIO DE ÁRVORES EM LINHAS DE RECOBRIMENTO E DIVERSIDADE

É crescente a preocupação com o meio ambiente, sendo necessário o desenvolvimento e o emprego de técnicas de restauração que proporcionem condições para que a biodiversidade das áreas degradadas seja restaurada. As técnicas de recuperação que não levam em conta os processos ecológicos geram florestas com baixa diversidade de espécies, formas de vida e capacidade de regeneração (REIS et al., 2003; SOUZA; BATISTA, 2004; TRES, 2006; ZAHAWI et al., 2013).

A tecnologia de restauração através da nucleação tem por objetivo a aplicação de técnicas que buscam acelerar a sucessão natural, favorecer todas as formas de vida e as relações interespecíficas (BECHARA, 2006, p.227). Segundo Reis, Tres e Scariot (2007, p.68), em um processo de sucessão, as espécies inseridas no sistema alteram o ambiente favorecendo a colonização por outros organismos mais exigentes.

Cada uma das técnicas nucleadoras, através de processos sucessionais secundários, exercem efeitos ecológicos funcionais que favorecem o aumento de energia e biodiversidade no ambiente degradado (REIS et al., 2003, p.34). Os abrigos artificiais, plantio de herbáceas arbustivas, transposição de solo, chuva de sementes, poleiros artificiais, abrigos para a fauna, estão entre as técnicas utilizadas na tecnologia nucleação, as quais são aplicadas em núcleos e não em área total (REIS; TRES; SCARIOT, 2007; REIS; BECHARA; TRES, 2010; DAMASCENO, 2011).

Os abrigos artificiais são formados pelo empilhamento de madeira (restos de galhos, troncos, etc), com o objetivo de servir de abrigo e alimento para microrganismos e insetos, que servirão de alimento para aves, lagartos e ratos, que por sua vez atrairão predadores, havendo assim um desencadeamento de cadeias tróficas. Estudando a disponibilidade de abrigos e seu uso em uma área de mata atlântica, Beisiegel (2006) verificou que animais como paca, pássaros e pequenos roedores utilizam abrigos sob árvores caídas.

As espécies anuais de rápido crescimento e produtoras de biomassa contribuem para abafar espécies invasoras e, através de suas flores e frutos, atraem uma variedade de animais

polinizadores, dispersores de sementes e consumidores. São utilizadas espécies de ciclo curto, que servem de alimento para decompositores e contribuem na ciclagem de nutrientes.

A transposição de solo consiste na retirada de placas de solo de remanescentes florestais conservados, com o intuito de trazer para a área a ser restaurada o banco de sementes regional e a biota presente na serapilheira e no solo. Analisando esta técnica, Tres et al. (2007) verificaram que a mesma permitiu a inclusão de 36 novas espécies na área em restauração e Bechara et al. (2007, p. 9) identificaram 152 plântulas de 26 espécies nativas (15% arbóreas, 12% arbustivas, 65% herbáceas e 8% lianas). Tres e Reis (2009, p.63) na avaliação do banco de sementes identificaram 115 espécies, num total de 27.273 plântulas em $12m^2$ de solo.

A técnica chuva de sementes consiste na coleta de sementes, através de armadilhas, em áreas remanescentes próximas. Estas sementes são levadas para viveiros, onde são produzidas as mudas, as quais são transplantadas para a área em recuperação. Através desta técnica, em um período de cinco meses, foram produzidas 455 mudas de 39 espécies nativas (9% arbóreas, 4% arbustivas, 31% herbáceas, 36% lianas, 1% bromeliáceas e 19% indeterminadas) (BECHARA et al., 2007, p.10). Tres e Reis (2009, p.64) identificaram na avaliação da chuva de sementes 61 espécies, num total de 747 plântulas em $9m^2$.

Os poleiros artificiais são postes de madeira 5 a 10 m de altura e são usados para atrair as aves e morcegos, que trazem sementes de áreas florestais da região e contribuem com a dispersão das mesmas dentro do local em restauração. Estudos comprovam a contribuição desta técnica na atração de diferentes espécies de aves, contribuindo para o maior aporte de sementes (SANTOS et al., 2007; BOCCHESE et al., 2008; TOMAZI; ZIMMERMANN; LAPS, 2010; TRES; REIS, 2009).

O plantio de árvores nativas em grupos adensados é realizado a fim de gerar ilhas de diversidade. Utiliza-se geralmente 5 mudas distanciadas entre si em 0,5 m, composto por “plantas de recobrimento” (espécies pioneiras de rápido crescimento e copa densa) nas bordas e por “plantas de diversidade” (espécies secundárias e climax) no centro.

A tecnologia de restauração através do “plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade” foi desenvolvida pelo Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) da Universidade de São Paulo (RODRIGUES et al., 2009, p.1245). Esta tecnologia tem como princípio o plantio de uma alta diversidade de espécies florestais nativas de diferentes grupos sucessionais. Segundo Rodrigues et al. (2009, p. 1245), nas linhas de “recobrimento” são utilizadas 15-30 espécies de crescimento rápido (espécies pioneiras) que sombreiam

rapidamente a área criando um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas do grupo de “diversidade” e desfavorável para plantas invasoras, gramíneas por exemplo. Nas linhas de “diversidade” são plantadas de 70-80 espécies de árvores (secundária tardia ou clímax) que favorecem a introdução de uma maior diversidade funcional na área.

Nave e Rodrigues (2007) avaliaram esta tecnologia de restauração com idades diferentes (1,5 e 2,5 anos) e verificaram que o grupo de recobrimento apresentou maior percentual de cobertura em relação ao grupo de diversidade, cumprindo assim, sua principal função no processo de restauração. No total contabilizaram 143 espécies, das quais 35 pertencem ao grupo de recobrimento e 108 ao grupo de diversidade, e esses valores, segundo os autores, mostram que é possível combinar espécies florestais e obter uma rápida e eficaz restauração da área.

Outra técnica utilizada para recuperação de florestas é o isolamento da área contra fatores de perturbação. Cury e Carvalho Jr. (2011, p.30) relatam que o sucesso desta técnica dependerá do grau de perturbação da área e apontam algumas barreiras, tais como: solo compactado e/ou erodido, presença de gramíneas agressivas, ausência de matas preservadas próximas e ausência de banco de sementes no solo. Para Rodrigues et al. (2009, p. 1245), a ausência de fragmentos florestais próximos (distâncias <100 m) impacta negativamente na velocidade, na trajetória da recuperação da floresta e no restabelecimento de interações ecológicas. Os autores recomendam realizar um diagnóstico da área a ser restaurada a fim de avaliar sua capacidade de recuperação (histórico de perturbação, presença banco de sementes e/ou rebrotas, condições do solo, paisagem circundante, etc.) e servir de subsidio na definição da melhor estratégia de restauração a ser utilizada.

2.2 FAUNA EDÁFICA

O solo é composto por uma grande diversidade de organismos invertebrados, que se diferenciam nas estratégias de adaptação e por consequência nas funções desempenhadas (LAVELLE, 1997, p. 93). Esses organismos participam de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo e por isso devem ser considerados um recurso que deve ser bem manejado, com o propósito de aperfeiçoar os serviços ambientais oferecidos pelos ecossistemas (LAVELLE et al., 2006, p.S3).

A biota do solo pode ser classificada quanto seu tamanho, seu hábito alimentar, sua mobilidade e função que desempenha. Em relação ao seu tamanho é categorizada quanto ao diâmetro do corpo em microfauna (0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm), macrofauna (2,0 – 30 mm) e megafauna (> 30 mm) (SWIFT et al., 1979, p.74) (Figura 1). Lavelle et al. (1997, p.162), também diferenciam a mesofauna da macrofauna através do comprimento do corpo, sendo macrofauna maior que 1 cm.

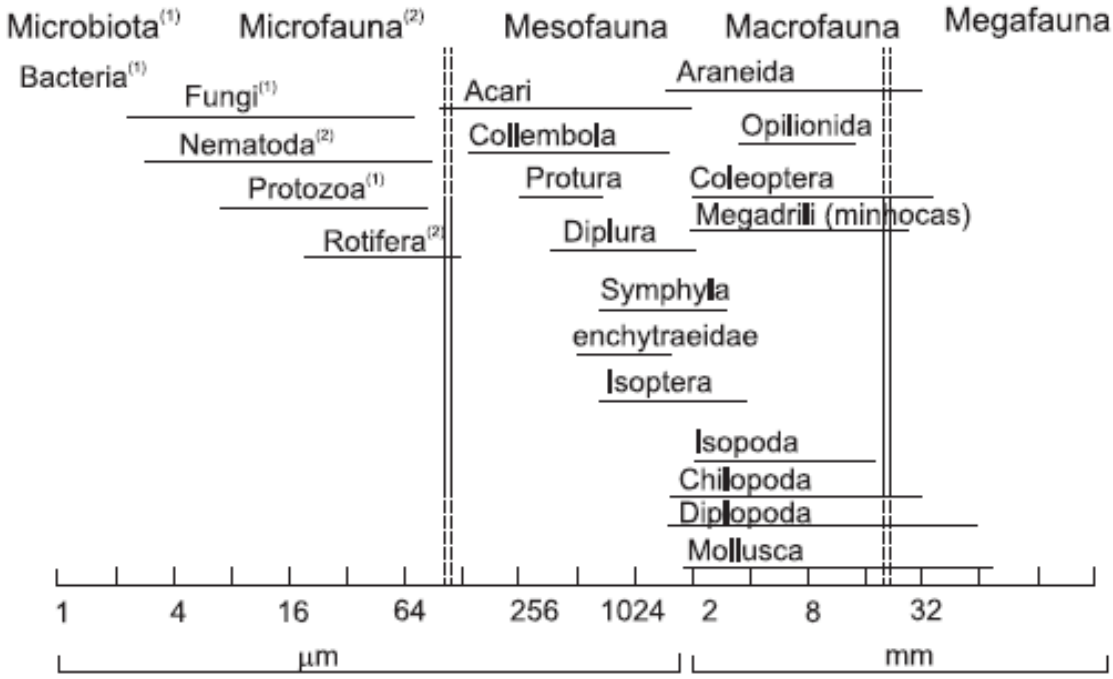


Figura 1 - Classificação da fauna edáfica quanto ao diâmetro do corpo
Fonte: Baretta et al. (2011, p.123), (modificada de SWIFT et al., 1979, p.74).

Quanto ao seu hábito alimentar a fauna do solo é classificada em saprófagos ou biófagos (SWIFT et al.,1979). Os saprófagos são importantes nos processos de decomposição, pois se alimentam de restos de vegetais (detritívoros), de animais mortos (necrófagos) e de excrementos de outros animais (coprófagos). Os biófagos, ao contrário dos saprófagos, são caracterizados por sua dependência de organismos vivos para suprir suas necessidades de energia e nutrientes. Podem se alimentar de organismos da micro e mesofauna (microbióvoros), de fungos (fungívoros), de plantas (fitófagos) e de animais vivos (predadores e parasitas).

Segundo Baretta et al. (2011, p.122) a fauna pode ser classificada ainda quanto seu habitat em aquáticos, os que habitam os poros com água, ou em terrestres, os que vivem na

atmosfera solo. Considerando o meio de locomoção podem ser escavadores ou não escavadores (BARETTA et al., 2011, p.122). A fauna edáfica pode ser dividida em 3 grupos (epigeicos, endogeicos e anécicos), dependendo de sua localização no perfil em função do seu tipo de alimentação.

Segundo Lavelle et al. (1992, p.163), os organismos epigeicos permanecem na superfície do solo, e se alimentam de materiais em decomposição na serapilheira e/ou de organismos vivos, como fungos e invertebrados. Esses atuam na fragmentação e digestão parcial de materiais orgânicos e não exercem influência na estruturação do solo. Desse grupo fazem partem os artrópodes saprófagos e predadores, como os miriápodes, isopodas e aracnídeos (LAVELLE et al., 1992, p.163). Os organismos endogeicos vivem no perfil do solo, e se alimentam de matéria orgânica e raízes. Podem ingerir solo dos horizontes profundos com o baixo teor de matéria orgânica (oligohúmicos); da massa de solo da camada superior de 10 a 25 cm (mesohúmicos), e/ou da camada de solo superior enriquecida em matéria orgânica (polihúmicos). Estas espécies atuam na estruturação do solo, pois são escavadores ativos (LAVELLE et al., 1992, p.163).

As espécies anecicas procuram alimento na superfície do solo, mas vivem no interior do solo, ou em ninhos epigeicos. Participam ativamente do transporte de materiais da superfície para regiões profundas do solo, além de atuarem na estruturação do solo, afetando processos de aeração e infiltração (LAVELLE et al., 1992, p.163). Segundo Kibblewhite et al. (2008, p.685), a saúde do solo é dependente da manutenção dos seguintes processos: as transformações do carbono, a ciclagem de nutrientes, manutenção da estrutura do solo e o controle de pragas e doenças. Swift et al. (2010) relatam as contribuições da biota em cada um desses processos, os quais serão descritos a seguir.

As bactérias e fungos, através de atividades enzimáticas, atuam ativamente na decomposição da matéria orgânica, sendo que esse processo é facilitado por animais trituradores de resíduos vegetais e animais, como os ácaros, milípedes, minhocas e cupins. Os animais maiores também contribuem na dispersão de propágulos microbianos, além disso, fornecem nichos para seu crescimento dentro do seu trato digestivo ou no seu excremento.

A macrofauna, como as minhocas, cupins, formigas e besouros, influenciam na porosidade e textura do solo, através da formação de túneis, galerias, montículos, da ingestão e transporte de solo. Também colaboram na ciclagem de nutrientes através do transporte, fragmentação e digestão da matéria orgânica. Os tatuzinhos (Isopoda) e diplópodes

(Diplopoda) atuam predominantemente na transformação da serapilheira, pois realizam a fragmentação de tecidos mortos de plantas.

A macrofauna edáfica melhora as propriedades do solo como aeração, drenagem, estabilidade de agregados e capacidade de retenção de água e por isso são chamados de "engenheiros do ecossistema do solo" (JONES et al., 1994; LAVELLE et al., 1997). A mesofauna, como os colêmbolos e ácaros, atuam como transformadores e micropredadores, podem se alimentar de fungos, bactérias e de outros animais do solo.

Organismos da microfauna, como os nematoides e protistas, atuam como herbívoros de raízes, fungívoros, bacterívoros, onívoros, predadores e patógenos de insetos, exercendo papel importante na transformação de materiais, na regulação da abundância microbiana e no controle biológico de pragas. Na figura 2, Kibblewhite et al. (2008, p.687), apresentam a relação entre as atividades da comunidade biológica do solo e a gama de bens e serviços do ecossistema que a sociedade pode esperar dos solos agrícolas.

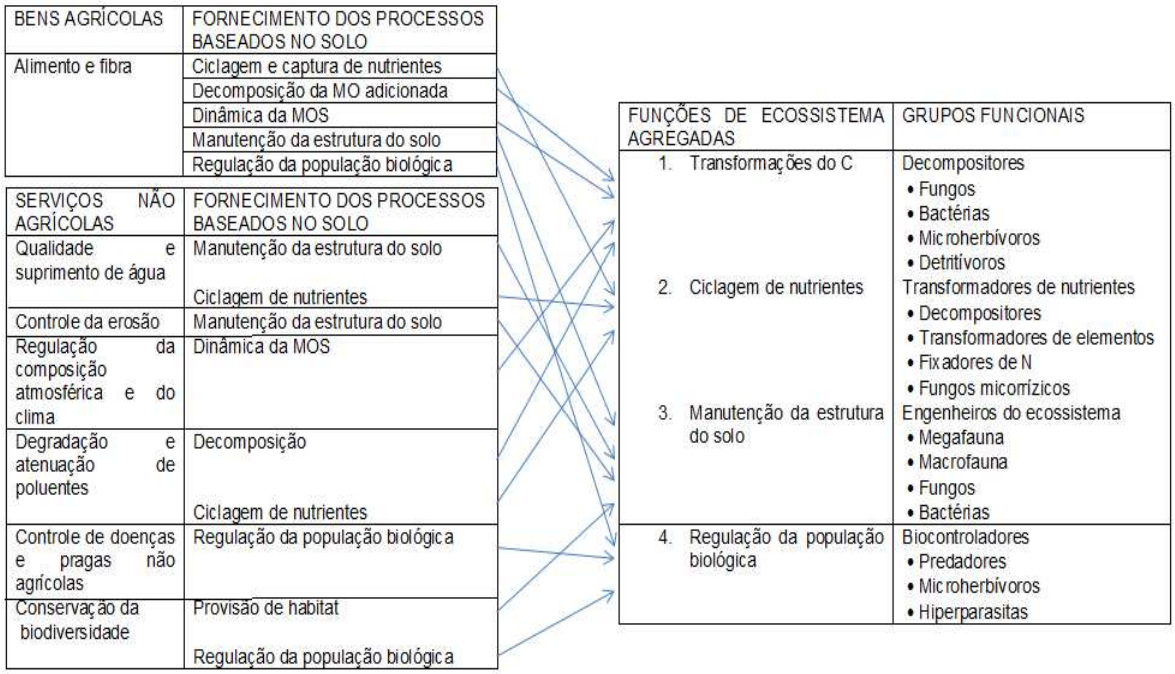


Figura 2 - Relações entre as atividades da comunidade biológica do solo e uma gama de bens e serviços do ecossistema que a sociedade pode esperar de solos agrícolas. MO: matéria orgânica; MOS: matéria orgânica do solo.
Fonte: Kibblewhite et al. (2008, p.687).

2.3 FATORES QUE AFETAM OS ORGANISMOS EDÁFICOS

A abundância e a diversidade da fauna edáfica são influenciadas por diferentes fatores. Dentre eles estão o tipo de solo, o clima, a vegetação (LAVELLE; PASHANASI, 1989), a temperatura e a umidade (LAVELLE; SPAIN, 2001), o tipo e a composição de resíduo orgânico aplicado no solo (MOÇO et al., 2005; ALVES et al., 2008), o sistema de preparo e cultivo do solo (BARETTA et al., 2006a; BARETTA et al., 2006b; SILVA et al., 2006; TROGELLO et al., 2008; BARETTA et al., 2011), a disponibilidade e a qualidade do alimento (BARETTA et al., 2003; MOÇO et al., 2010; BARETTA et al., 2011).

Os resíduos vegetais que permanecem sobre o solo servem de alimento e abrigo para a biota, além de contribuir com a manutenção da temperatura e umidade em condições favoráveis para o seu desenvolvimento. A temperatura comanda a atividade metabólica dos organismos edáficos e, em conjunto com a umidade, determina a intensidade e a distribuição dos períodos de maior atividade (LAVELLE; SPAIN, 2001, p.340).

Para Baretta et al. (2011, p.121), as práticas do sistema de preparo convencional do solo podem prejudicar a estabilidade da fauna edáfica, pois modificam a estrutura do solo e reduzem a cobertura vegetal, acentuando as consequências da radiação solar direta no solo, modificando o microclima edáfico. Salientam ainda que a incorporação dos resíduos vegetais no solo, nesse sistema, favorece a rápida decomposição desse material, reduzindo a disponibilidade de recursos alimentares para fauna.

A abundância, qualidade e diversidade de alimentos favorece um número maior de grupos faunísticos, estimulando uma alta riqueza de espécies, o que não ocorre em sistemas de monocultivo, pois tendem a favorecer comunidades específicas. Yang, Warren e Zou (2007), estudaram o efeito da adubação química e da quantidade e qualidade da massa verde sobre a fauna do solo e verificaram que houve correlação linear entre a produção de massa verde e a abundância de organismos. A fertilização aumentou a produção de serapilheira e a qualidade do material, que foi medida pela relação C/N e C/P.

O monitoramento da fauna no sistema solo-serapilheira é fundamental para compreender a sua função e apontar a complexidade ecológica destas comunidades (MOÇO et al., 2005, p.555).

2.4 MACROFAUNA E MESOFAUNA COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Em um ecossistema a qualidade do solo tem por objetivo sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994, p.7). Segundo Kibblewhite, Ritz e Swift (2008, p.685) a saúde do solo revela a sua capacidade de responder a intervenção agrícola, a fim de sustentar a produção vegetal, bem como a prestação de outros serviços ecossistêmicos.

O uso de indicadores de qualidade do solo subsidia a análise dos agroecossistemas em relação a sua sustentabilidade (SILVA, 2008, p.37). Uma ferramenta capaz de avaliar as mudanças ocorridas no solo é o uso de parâmetros biológicos, devido à aptidão da biota em detectar alterações em curto período de tempo, quando comparados com parâmetros químicos e físicos.

A relação entre a diversidade da fauna edáfica e diferentes sistemas de uso do solo tem sido estudada a fim de avaliar a qualidade do solo (BARETTA et al., 2003; PONGE et al., 2003; MOÇO et al., 2005; SILVA et al., 2006; BARETTA, 2007; ALVES et al., 2008; BARETTA et al., 2008; TROGELLO et al., 2008; FIERA, 2009; ROVEDDER et al., 2009; ZEPPELINI et al., 2009).

Para Wink et al. (2005, p.61), os organismos edáficos são considerados bons indicadores dos níveis de impacto ambiental, por possuírem uma grande diversidade de espécies e habitat. Segundo Lavelle et al. (2006, p.S3), os invertebrados do solo participam de importantes interações entre os processos físicos, químicos e biológicos e uma ampla análise destas atividades mostra que esses organismos podem ser os melhores indicadores da qualidade do solo.

2.5 ÍNDICES BIOLÓGICOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA

Os estudos relacionados à biodiversidade edáfica e a análise da qualidade, utilizam índices a fim de facilitar a comparação entre diferentes ecossistemas. Baretta et al. (2011, p.131), descrevem os principais índices biológicos utilizados: o índice de riqueza (S)

representa o número de espécies em uma comunidade de organismos, sem considerar a frequência com que eles aparecem. O índice de abundância (N) representa a quantidade de organismos em um determinado local ou amostra.

O índice de diversidade de Simpson (D_s) (SIMPSON, 1949) utiliza a probabilidade de dois indivíduos, retirado aleatoriamente de uma comunidade, pertencerem a mesma espécie. Quanto maior for esta probabilidade, significa que esta comunidade apresenta um alto grau de concentração. O índice de Shannon (SHANNON, 1948) trata as espécies como símbolo e o tamanho da população como uma probabilidade. Pode ser calculado através da expressão $H = -\sum pilog_e pi$, em que: pi = ni/N; ni = densidade de cada família, N = número total de organismos. O índice de uniformidade de Pielou (J) (PIELOU, 1966) representa a uniformidade de distribuição dos indivíduos entre as espécies, e utiliza para seu cálculo o índice de Shannon e a riqueza de espécies, através da fórmula: H/log S.

Técnicas de análise multivariada de dados também são utilizadas para análise de dados biológicos, tais como a Análise de Similaridade (ANOSIM), a Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER) e a Análise de Componentes Principais (ACP). A Análise de Correlação Canônica (ACC) analisa a correlação de espécies com os respectivos tratamentos, e para isso utiliza a frequência de ocorrência de cada organismo (BARETTA, 2007, p.27).

A ACP, segundo Baretta et al. (2011, p.158), transforma através de combinações lineares um conjunto maior de variáveis em um conjunto menor de variáveis. Esses autores salientam que a ACP elimina, quando possível, as variáveis que sejam pouco relacionadas ao problema em estudo.

A ANOSIM testa hipótese de diferença entre composição de grupos de amostras, utilizando métodos de permutação na matriz de similaridade, sendo análoga a univariada ANOVA. A ANOSIM pode ser complementada pela ordenação multidimensional não métrica (MDS) a fim de verificar como as amostras ficam ordenadas no espaço. A análise SIMPER (Similarity Percentage Analysis) tem por objetivo identificar as espécies que contribuem para a discriminação entre dois conjuntos de amostras observados (PRIMER-E LTD, 2001).

3 MESOFAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

RESUMO

A mesofauna edáfica por ser sensível a interferência natural ou antrópica nos ecossistemas, pode ser utilizada como bioindicadora em programas de monitoramento ambiental. O presente estudo objetivou comparar áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da mesofauna edáfica (serapilheira+solo). Foram conduzidos os seguintes tratamentos: a) regeneração natural; b) plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade e c) nucleação. Uma área adjacente à área experimental, de mata secundária, foi inclusa no estudo como referencial das condições do solo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis subamostras por parcela. A mesofauna foi coletada em outubro/2012, julho e outubro/2013 com o auxílio de um cilindro de metal (5 cm de profundidade) e extraída utilizando Funis de Berlese-Tüllgren modificados. Considerando as três coletas realizadas, foram contabilizados 26359 organismos. Os grupos Acari, Collembola, Hymenoptera e Psocoptera foram os mais frequentes nas tecnologias de restauração e na área de mata. As tecnologias avaliadas não diferiram, após três anos em processo de restauração, em relação à abundância total de organismos e composição da comunidade da mesofauna edáfica. O índice diversidade de Shannon, nas três avaliações, seguiu um gradiente de impacto antrópico (RN>N>L), sendo superior na Regeneração natural, que não sofreu intervenções técnicas e apresentou maior teor de umidade no solo, e inferior na tecnologia plantio em linhas, que foi submetida ao controle mecânico e químico de plantas espontâneas em área total. A regeneração natural apresentou maior valor para o índice de uniformidade de Pielou nas três épocas de coleta, sendo que a ordem Acari foi o principal responsável pelas variações nesse índice entre os tratamentos avaliados. A mata secundária apresentou dissimilaridades em relação à composição da comunidade da fauna edáfica quando comparadas as tecnologias de restauração florestal, apresentando maior abundância de saprófagos e predadores, como os grupos taxonômicos Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Gastropoda, Pauropoda, Pseudoscorpiones e Symphyla. Diante dos resultados obtidos em relação à mesofauna edáfica, nos três primeiros anos de restauração, recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação em relação às demais tecnologias avaliadas.

Palavras-chave: Restauração ecológica. Fauna do solo. Diversidade. Nucleação.

ABSTRACT

The soil mesofauna is sensitive to natural or human interference in ecosystems and can be used as bioindicator in environmental monitoring programs. This study aimed to compare areas under different forest restoration technologies in relation to abundance, richness, diversity and composition of the edaphic mesofauna community (litter+soil). The treatments evaluated were: a) natural regeneration; b) high diversity tree plantations and c) nucleation. An area of secondary forest was included in the study as reference of soil conditions. The experimental design was in randomized block with four replications and six sub-samples per plot. The mesofauna was collected in October/2012, July and October/2013 with the aid of a metal cylinder and the mesofauna extracted by modified Berlese-Tüllgren funnel. Considering the three samplings were counted 26359 organisms. The groups Acari, Collembola, Psocoptera and Hymenoptera were the most frequent in the restoration technologies and in secondary forest area. The evaluated technologies did not differ after three years of restoration, in relation to total abundance of organisms and composition of the soil mesofauna community. The Shannon diversity index (H), in the three evaluation, followed a human impact gradient (RN> N> L). This was higher in the natural regeneration, which not was undergone technical interventions and showed higher moisture in the soil. The H index was lower in the tree planting technology, which was subjected to mechanical and chemical control of weeds in total area. The natural regeneration showed a higher value for Pielou uniformity index in the three samplings, and the order Acari was responsible for variations in this index in the treatments. The secondary forest showed dissimilarity in relation to soil fauna community composition when compared to forest restoration technologies, with greater abundance of saprophages and predators, such as taxonomic groups Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Gastropoda, Pauropoda, Pseudoscorpiones and Symphyla. Before the results obtained in relation to soil mesofauna in the first three years of restoration, we recommended to natural regeneration by to have lowest cost of deployment compared to other technologies evaluated.

Keywords: Ecological restoration. Soil fauna. Biodiversity. Nucleation.

3.1 INTRODUÇÃO

A restauração de áreas florestais demanda por técnicas que proporcionem condições para que a biodiversidade da área seja restabelecida e que busquem resgatar a biofuncionalidade e as interações entre os organismos do sistema (REIS et al., 2014, p.509). A importância de se utilizar uma alta diversidade de espécies na restauração de florestas é inquestionável (DURIGAN et al., 2010, p.475), e a tecnologia plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade preconiza a implantação de espécies pioneiras de rápido crescimento e boa cobertura (plantas de recobrimento) em conjunto com espécies secundárias iniciais e tardias (plantas de diversidade).

As técnicas de nucleação também são consideradas promissoras na restauração de florestas degradadas (CORBIN; HOLL, 2012; LEAL FILHO et al., 2013; MARCUZZO et al., 2013), e possuem como objetivo a formação de núcleos de diversidade e micro-habitats, utilizando elementos bióticos e abióticos, a fim de favorecer a instalação e a proliferação de diferentes formas de vida pela área a ser restaurada (REIS et al., 2010; REIS et al., 2014). Outra técnica utilizada para recuperação de áreas florestais é o isolamento do local para que se recupere naturalmente, no entanto, esse processo pode encontrar vários impedimentos, como a disponibilidade de sementes no solo ou raízes para colonização do local, solos pobres e compactados, competição com espécies invasoras, histórico negativo de uso do solo, distância de remanescentes de vegetação nativa, dentre outros (FERREIRA et al., 2010; HOLL et al.,2000; HOLL; AIDE, 2011; VIANI; DURIGAN; MELO, 2010).

A mesofauna edáfica por ser sensível a interferência natural ou antrópica nos ecossistemas, tem sido estudada a fim de avaliar a qualidade do solo (BARETTA, et al., 2008; ZEPPELINI et al., 2009; CUNHA NETO et al., 2012). A abundância, a diversidade e a composição da fauna edáfica são influenciadas por diferentes fatores, dentre eles estão o clima, a vegetação, a temperatura e umidade do solo, sistemas de uso e preparo do solo, a disponibilidade e a qualidade do alimento (MOÇO et al., 2010; BARETTA et al., 2011; SILVA et al., 2013).

Os trabalhos relacionando a biodiversidade edáfica e os diferentes sistemas de restauração florestal são escassos e estudar esta relação é importante para compreender a dinâmica da fauna edáfica nesses sistemas, bem como para servir de subsídio para melhoria das técnicas de restauração. Assim, esse trabalho objetivou comparar áreas submetidas a

diferentes tecnologias de restauração em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da mesofauna edáfica (serapilheira-solo).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Área Experimental

A área experimental está localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, Paraná/Brasil, cujas coordenadas geográficas são 25º41'40,47"S e 53º06'12,82" O, a uma altitude entre 495 – 504 m. O clima da região é definido como Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, com temperaturas médias nos meses mais quentes acima de 22ºC e temperaturas médias nos meses mais frios variando entre -3ºC a 18ºC (ALVARES et al., 2013, p. 713), ocorrendo em média uma geada a cada dois anos. As amostras para extração da mesofauna edáfica foram coletadas em três períodos diferentes: outubro/2012, julho e outubro/2013 nos quais a temperatura e pluviosidade média foram, respectivamente, 21,7 ºC e 230 mm; 15,5 ºC e 58 mm; 20,4 ºC e 228 mm. O solo está classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico (BHERING et al., 2008) cuja caracterização original encontra-se na Tabela 1, sendo o histórico de uso da área experimental, antes da instalação das tecnologias de restauração, é constituído por períodos intercalados entre pastagem e culturas anuais (milho (*Zea mays*), soja (*Glycine Max*) e trigo (*Triticum* spp.)), sendo esses predominantes na região.

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, da área experimental na implantação das tecnologias de restauração florestal no ano de 2010. UTFPR, Dois Vizinhos, Pr, Brasil.

Profundidade Cm	M.O[1] $g.dm^{-3}$	P[2] $mg.dm^{-3}$	K[3]	Ca[4]	Mg[5]	pH[6] $CaCl_2$	V %	DMP mm	Densidade $g.dm^{-3}$
			------Cmolc.dm^{-3}------						
0-5	43,56	6,42	0,72	4,72	3,27	5,22	67,87	3,54	1,06
5-10	35,98	3,34	0,49	4,25	2,74	5,07	63,83	3,17	1,18
10-20	31,86	1,88	0,29	3,75	2,61	5,02	61,85	2,56	1,21

[1]M.O:Matéria Orgânica, [2]P: Fósforo, [3]K: Potássio, [4]Ca: Cálcio, [5]Mg: Magnésio, [6]pH: Potencial Hidrogeniônico, [7]V: Saturação por bases e [8]DMP: Diâmetro médio ponderado.

3.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram implantados em outubro/2010 e são os seguintes: Tratamento 1 - Regeneração natural (RN); Tratamento 2 - Plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade (L); e Tratamento 3 - Nucleação (N). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, e seis subamostras por parcela experimental. Cada parcela tem 40 x 54 m e está subdividida em 24 subparcelas de 10 x 9 metros (Croqui do desenho experimental – Apêndice A). No tratamento regeneração natural as parcelas foram roçadas na implantação do experimento e após não sofreu mais intervenções, com exceção do controle de formigas cortadeiras, que foi realizado sistematicamente em todas as parcelas experimentais.

No tratamento plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade foram implantadas 70 espécies arbóreas dispostas em linhas, com espaçamento 3x2 metros, alternando-se "plantas de recobrimento" (espécies pioneiras de rápido crescimento e copa densa) com "plantas de diversidade" (espécies secundárias iniciais e tardias). O croqui da parcela experimental e a relação dos nomes das espécies utilizadas nesse tratamento estão disponíveis no Apêndice B e C, respectivamente.

O tratamento nucleação é formado por um conjunto de sete técnicas nucleadoras diferentes, as quais foram dispostas dentro de cada parcela experimental, em seis faixas de solo de 3 x 40 metros, sendo que em cada faixa foram implantados de 10 a 11 núcleos. As faixas com técnicas nucleadoras foram alternadas com faixas de 6 x 40 metros sem implantação das técnicas, nas quais não foi realizada qualquer intervenção antrópica, onde foi permitida a expressão da regeneração natural.

No total, em cada parcela experimental da tecnologia nucleação, foram implantados 62 núcleos (Croqui do Tratamento – Apêndice D), compostos pelas seguintes técnicas: 1) *Grupo de Anderson (24 núcleos)*: Núcleo composto por grupo de cinco mudas de espécies arbóreas (quatro pioneiras externas e uma central não pioneira), adensadas sob espaçamento 1 x 1 m, dentro do grupo. A relação das espécies utilizadas nesta técnica está no Apêndice C. 2) Feijão Guandu *(Cajanus cajan) (12 núcleos)*: Faixas de 4x3 m da leguminosa *Cajanus cajan*. 3) *Poleiro artificial do tipo "torre de cipó" (2 núcleos)*: Postes de eucalipto cobertos por plantas trepadeiras (*Passiflora alata*), para uso de aves e morcegos. 4) *Abrigo artificial para animais (6 núcleos):* Estéreo de madeira de resíduo florestal. 5) *Bromelia antiacantha (6*

núcleos): cinco bromélias, sendo 1 central e 4 externas, espaçadas em 0,5 m. 6) *Transposição de serapilheira e top-soil (6 núcleos)*: Placas de solo e serapilheira de 1 x 1 m e 10 cm de profundidade foram retiradas de um fragmento conservado próximo. 7) *Transposição de mudas germinadas da chuva de sementes (6 núcleos)*: Formado com sementes coletadas, mensalmente, através de coletores permanentes instalados em um fragmento conservado, próximo da área experimental, e que foram propagadas em placas de substrato, e posteriormente plantadas na área em núcleos de $1m^2$. A distância entre as técnicas de nucleação é de 2 m. Imagens das técnicas nucleadoras estão no Apêndice E.

Na implantação das técnicas 'nucleação' e 'plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade' foi realizada a roçada da área e o controle de formigas cortadeiras com isca à base de sulfluramida e fipronil e 30 dias depois, foi feita a dessecação com herbicida glifosato. Nas faixas onde foram implantadas as técnicas nucleadoras foi realizada a subsolagem e gradagem do solo com subsolar cinco hastes e grade com 12 discos. Na tecnologia plantio em linhass foi realizada a subsolagem e gradagem do solo somente nas linhas de plantio, onde foram abertas as covas para a inserção das mudas. Para esse procedimento foi utilizado subsolador duas hastes e mini grade com 12 discos acoplado a um trator.

No plantio das mudas, nas parcelas experimentais das tecnologias nucleação e plantio em linhas, foi realizada a adubação das covas com NPK 4-28-6 (350 g/planta) e utilizado gel hidrorredentor Hidropan HyB® (2,5 L/planta). O controle mecânico e químico de plantas espontâneas, após o plantio das mudas florestais, foi realizado em toda a extensão das parcelas no tratamento plantio de árvores em linha e no tratamento nucleação estas práticas foram realizadas apenas nas faixas onde foram aplicadas as técnicas. As práticas culturais realizadas, durante o período compreendido entre 2011 e 2013, nos tratamentos nucleação e plantio de árvores em linha estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Práticas culturais realizadas nos tratamentos nucleação e plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade durante o período compreendido entre 2011 e 2013. UTFPR, Dois Vizinhos, Pr, Brasil.

Intervenções realizadas	Ano 2011	Ano 2012	Ano 2013
- Replantio de mudas com Hidropan HyB (2,5 L/planta) nos tratamentos Plantio de árvores em Linhas e Nucleação	21 e 22/03 21e 22/09 8 e 9/12	29/12	
- Replantio de Feijão Guandu no tratamento Nucleação	27/09 a 29/09		
- Controle de Formigas em área total em todos os tratamentos	17/05	20/12	21 e 22/01 22 a 24/07
- Roçada nas linhas de nucleação e em área total no tratamento Plantio de árvores em linha	7 e 8/11	15 e 16/03 12 e 13/11	18 e 19/03 18/11
- Capina química com herbicida nas linhas de nucleação e em área total no tratamento plantio de árvores em linha	14 e 15/03 24/11	4/04 11/12	9/04 16/12
- Adubação de cobertura (350 g/planta de NPK 4-28-6) nos tratamentos Plantio de árvores em Linhas e Nucleação	14 e 15/12	20 e 21/12	17 e 21/12

3.2.3 Coleta e extração da mesofauna edáfica (serapilheira-solo)

A coleta de amostras (serapilhera + solo) para extração da mesofauna foi realizada em três épocas diferentes: outubro/2012, julho/2013 e outubro/2013. Como o objetivo do estudo foi comparar as tecnologias e não as épocas, os pontos amostrais nas parcelas experimentais não foram os mesmos nas diferentes épocas de coleta. Em cada parcela foram retiradas seis subamostras, sendo duas retiradas na região superior, duas na região mediana e duas na região inferior da parcela. No tratamento plantio de árvores em linha cada ponto amostral ficou localizado entre quatro espécies diferentes e no tratamento nucleação ficou alocado entre duas técnicas. A localização dos pontos amostrais na parcela em cada tratamento está ilustrada nos Apêndices F, G e H.

Nas coletas de julho e outubro/2013 uma área de mata secundária adjacente à área experimental, foi inclusa no estudo como referencial das condições do solo. As amostras foram coletadas com auxílio de um cilindro de metal de 6 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram levadas para os funis de Berlese-Tüllgren modificados, com tela de malha de 2 mm e lâmpadas de 40 W (Apêndice I). As amostras permaneceram em processo de extração por sete dias e ao passarem pelo funil a mesofauna caiu em frascos com solução de formol a 4%. A mesofauna foi identificada em nível de classe/ordem taxonômica, com auxílio de lupa de aumento de 40 vezes e foram armazenadas em frascos com álcool etílico 75%.

Em todas as amostragens, em cada ponto amostral, foi coletado solo para determinação da umidade (%) e medida a temperatura do solo (ºC). Estas amostras foram coletadas em latas de alumínio com tampa e no laboratório as amostras foram pesadas para obter a massa do solo úmido (gramas) e em seguida foram colocadas na estufa a 105 ºC até atingir o peso constante. Posteriormente, foram retiradas da estufa e devidamente pesadas em balança de precisão para obtenção da massa do solo seco. A umidade (%) foi calculada através da expressão: U%= 100 (massa da amostra úmida – massa da amostra seca)/massa da amostra seca (EMBRAPA, 1997, p.7). A temperatura do solo no ponto amostral foi medida com termômetro digital tipo espeto.

3.2.4 Dados obtidos e análise estatística

Para a análise estatística dos dados, os organismos das seis subamostras por parcela experimental foram somados e posteriormente foi realizada a média das quatro repetições, e obtido a abundância média de organismos de cada grupo taxonômico, abundância média total, que considera a soma dos organismos de todos os grupos taxonômicos, e a riqueza média de grupos taxonômicos. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Lilliefors e Kolmogorov-Smirnov e aos testes de homogeneidade de variância de Hartley, Cochran e Bartlett. Os dados que não atenderam os pressupostos matemáticos foram transformados e posteriormente submetidos à Análise de Variância (ANOVA). As médias das tecnologias de restauração foram comparadas entre si por meio do teste de Tukey (p=0.05), e cada tecnologia foi comparada com os dados obtidos na mata pelo teste de Dunnett. Estas análises foram realizadas através do programa estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

A abundância dos principais grupos da fauna edáfica foi transformada para frequência relativa, o que representa a contribuição de cada grupo de organismos dentro dos diferentes tratamentos. Considerando a soma de organismos presentes nas 24 amostras coletadas em cada tratamento, foram obtidos os índices de diversidade de Shannon (H) e índice de uniformidade de Pielou (J). O índice de diversidade de Shannon (SHANNON, 1948) foi obtido pela expressão $H = -\sum pilog_e pi$, onde: pi=ni/N, sendo ni= número de indivíduos da espécie i (classe ou ordem taxonômica), N= número total de indivíduos da amostra. A fórmula para cálculo do índice de uniformidade de Pielou (PIELOU, 1966) deriva do índice

de Shannon: $J = H / \log R$, sendo R o número de grupos taxonômicos identificados. Esses índices foram gerados com o auxílio do programa Primer 5.2.6© (PRIMER-E LTD, 2001).

Através do programa estatístico CANOCO versão 4.5 e utilizando a abundância total de cada grupo taxonômico por parcela experimental, foi realizada uma Análise de Correspondência Destendenciada para obtenção do comprimento do gradiente e como esse foi menor que 3 (resposta linear) realizou-se a seguir uma Análise de Componentes Principais (ACP) (TER BRAAK; SMILAUER, 2002). Para essas análises os dados foram transformados por log (x+1) e utilizou-se os blocos experimentais como co-variável, a fim de excluir a influência desses sobre os dados.

Procedeu-se uma Ordenação Multidimensional Não-métrica (MDS), utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis (dados transformados), para verificar como as tecnologias de restauração ficaram ordenadas no espaço, e uma Análise de Similaridade, através do teste de permutação ANOSIM, para testar a significância das diferenças na composição da comunidade da fauna entre as tecnologias de restauração. Este teste gera uma estatística R que varia entre -1 e 1, sendo que os valores iguais a 1 são obtidos apenas quando todas as repetições dentro dos grupos são similares entre si do que qualquer repetição de grupos diferentes (MAISI; ZALMON, 2008, p.664).

Nos casos em que a ANOSIM detectou diferenças entre as comunidades foi realizada uma Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER) para quantificar a contribuição de cada grupo taxonômico na separação dos tratamentos avaliados. Na análise SIMPER, que leva em consideração a distância Bray Curtis para similaridade entre os tratamentos, as tecnologias foram comparados aos pares (RNxN; RNxL; RNxM; NxL; NxM e LxM). A MDS, ANOSIM e o SIMPER foram realizadas com o auxílio do programa Primer 5.2.6© (PRIMER-E LTD, 2001).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, considerando as três coletas realizadas, foram contabilizados 26359 organismos, sendo 10410 na avaliação de outubro/2012, 7677 em julho/2013 e 8272 organismos em outubro/2013. Os organismos estão distribuídos em 23 grupos taxonômicos: Acari, Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Dermaptera, Diplopoda,

Diplura, Diptera (larvas), Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera (larvas), Opilionida; Pauropoda, Protura, Pseudoscorpiones, Psocoptera, Symphyla e Thysanoptera. Os grupos Acari, Collembola, Hymenoptera e Psocoptera foram os mais frequentes (Figuras 3A; 3B e 3C).

Na primeira avaliação, realizada em outubro/2012, foram identificados 17 grupos taxonômicos, sendo 16 na nucleação, 15 na regeneração natural e 13 no plantio em linhas. Os grupos Chilopoda, Diplura, Isoptera e Opilionida não foram observados no tratamento plantio em linhas, no entanto, a ordem isopoda foi exclusiva desse tratamento, bem como o grupo Opilionida do tratamento nucleação. A tecnologia plantio em linhas, nessa coleta, apresentou menor teor de umidade no solo (23,13%) quando comparada com a regeneração natural (25,90%), não se diferenciando da tecnologia nucleação (24,48%) (Tabela 3). Esse fato, atrelado a outros fatores como o controle químico e mecânico de plantas espontâneas em área total, realizado em 2011 e 2012 entre as espécies florestais implantadas nas parcelas deste tratamento, pode ter desfavorecido a presença daqueles grupos taxonômicos na comunidade edáfica dessa tecnologia.

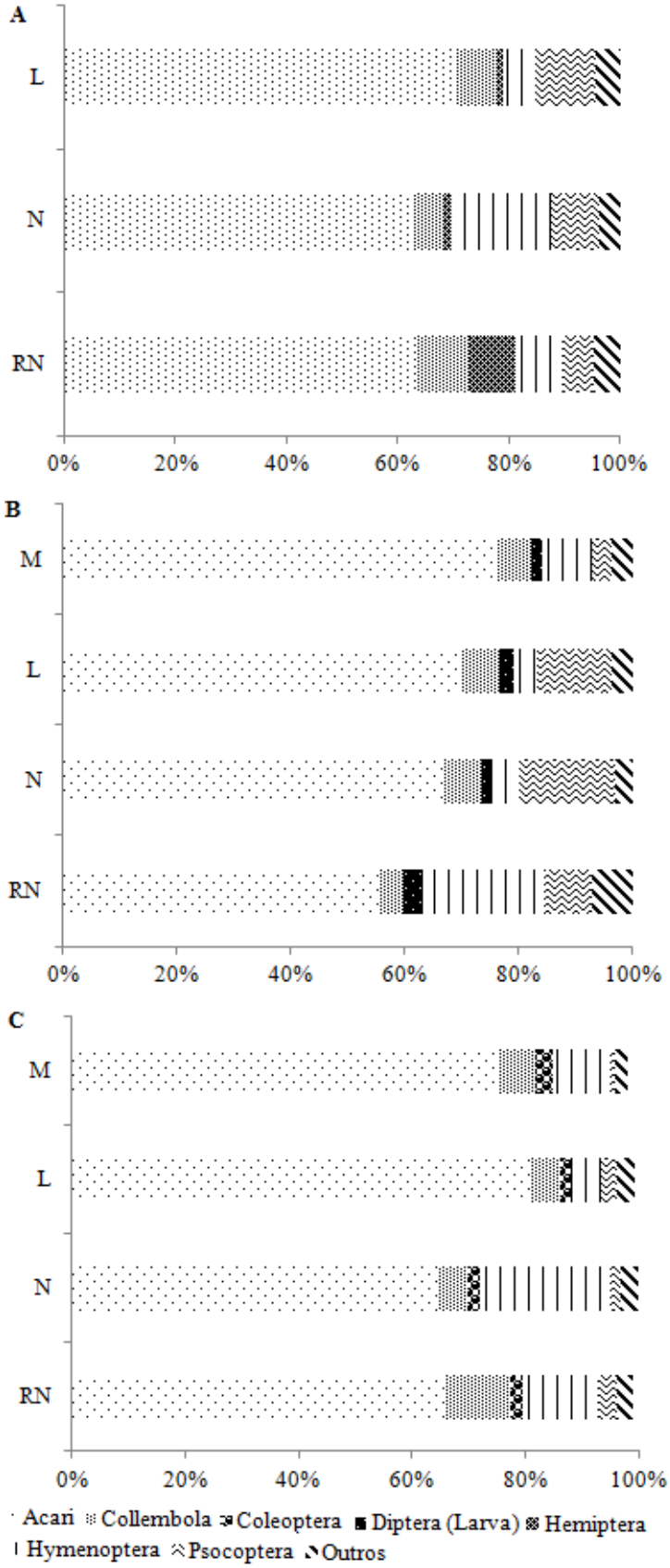


Figura 3 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da mesofauna edáfica nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes.

Tabela 3 – Umidade do solo, temperatura do solo, abundância média de organismos do solo por grupo taxonômico, abundância total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') referente à mesofauna edáfica (serapilheira-solo) nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em linha em outubro/2012, julho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos – Pr.

Mesofauna Coletada em Outubro/2012				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	
Umidade (%)	25,90a	24,48ab	23,13b	
Acari	499,00^{ns}	629,25	564,75	
Collembola	78,50^{ns}	56,75	58,00	
Hemiptera[1]	65,50^{ns}	13,25	9,75	
Hymenoptera[1]	65,00^{ns}	180,50	48,00	
Psocoptera	47,00^{ns}	86,00	85,00	
Abundância total[2]	790,75^{ns}	1000,50	803,50	
Riqueza média	12,75^{ns}	12,00	10,75	
Riqueza total	15	16	13	
H'	1,33	1,21	1,12	
J'	0,49	0,44	0,44	
Mesofauna Coletada em Julho/2013				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata Secundária
Umidade (%)	35,83a*	31,45b*	28,70b*	56,38
Temperatura (ºC)	17,31^{ns}	17,27	17,75	19,44
Acari	247,75^{ns}*	213,50*	275,25*	576,00
Collembola[1]	19,75^{ns}	21,75	25,75	49,50
Hemiptera[3]	8,25^{ns}	1,00	1,25	1,75
Hymenoptera[1]	95,75^{ns}	16,00	15,75	66,00
Psocoptera	37,00^{ns}	54,25*	51,75*	26,75
Abundância total[2]	447,00^{ns}*	319,75*	392,50*	760,00
Riqueza média	11,25^{ns}	10,50*	9,75*	14,00
Riqueza total	14	16	14	20
H'	1,44	1,13	1,11	0,99
J'	0,54	0,41	0,42	0,33
Mesofauna Coletada em Outubro/2013				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata Secundária
Umidade (%)	31.83a*	24.89b	23.83b*	27.95
Temperatura (ºC)	25,21^{ns}*	26,69*	25,94*	20,34
Acari	385,75^{ns}	320,25	415,25	354,00
Collembola[1]	69,00^{ns}	25,50	28,25	30,75
Coleoptera	12,25^{ns}	10,25	10,25	14,00
Hymenoptera[1]	77,25^{ns}	113,50	27,50	48,00
Psocoptera[1]	20,25^{ns}*	9,50	14,25*	4,75
Abundância total[2]	587,25^{ns}	495,25	515,00	470,50
Riqueza média	12,75a	10,25b	12,75^{a}	11,75
Riqueza total	17	16	18	20
H'	1,20	1,10	0,87	0,98
J'	0,42	0,40	0,30	0,33

[1]Dados transformados log (x); [2]Soma de todos os grupos taxonômicos; [3]Dados transformados log (x+1); Médias nas linhas seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%, seguidas de ^{ns} não significativo entre as tecnologias e as seguidas * diferem significativamente da mata pelo teste de Dunnett a 5%.

Na coleta de julho/2013, foram identificados 22 grupos taxonômicos, desse total 20 na mata secundária, 16 na nucleação, 14 na regeneração natural e 14 no plantio em linhas. Os grupos Isopoda, Pauropoda, Pseudoscorpiones e Symphyla foram observados exclusivamente na mata e Opilionida na regeneração natural. Nessa avaliação, a mata secundária apresentou

maior teor de umidade no solo (56,38%) quando comparada com as tecnologias (RN:35,83%; N: 31,45% e L:28,70%) e não se diferenciou em relação à temperatura do solo (Tabela 3). Os Isopodas, Pauropodas, Pseudoscorpiones, Symphylas e Opilionidas exercem importantes funções no ecossistema como saprófagos e predadores. Para Moço et al. (2005, p.558), a disponibilidade de recursos alimentares, bem como um microhabitat bem estruturado, favorece a colonização do ambiente com organismos que possuem diferentes estratégias de sobrevivência.

Na terceira avaliação, realizada em outubro/2013, foram classificados 23 grupos, dos quais 20 ocorreram na mata secundária, 18 no plantio em linhas, 17 na regeneração natural e 16 na nucleação. Os grupos Gastropoda e Pauropoda foram observados apenas na Mata e Blattodea na nucleação. E nessa coleta, a mata apresentou menor umidade do solo (27,95%) quando comparada a regeneração natural (31,83%), e maior umidade em relação ao plantio em linhas (23,83%), não se diferenciando da nucleação (N: 24,89%). A mata também apresentou menor temperatura do solo em relação as tecnologias (Tabela 3). Menores temperaturas do solo, em períodos climáticos quentes, conferem maior conforto térmico no ambiente para os organismos edáficos. Segundo Lavelle e Spain (2001, p.340), a temperatura comanda a atividade metabólica dos organismos edáficos e, em conjunto com a umidade, determina a intensidade e a distribuição dos períodos de maior atividade.

Outros autores observaram maior abundância dos grupos Isopoda, Mollusca (BARROS, et al., 2010), Pseudoscorpiones (BARROS, et al., 2010; CUNHA NETO et al., 2012; MOÇO et al., 2005; MORAIS et al., 2010) e Symphyla (MORAIS et al., 2010; BARROS, et al., 2010) em áreas de mata primária e secundária quando comparada com outros sistemas de uso do solo. Menezes et al. (2009, p.1654), avaliando o efeito de diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica, verificaram maior associação de florestas em estádios sucessionais médio e avançado a uma maior diversidade de invertebrados saprófagos e predadores, o que indica segundo os autores que esses locais apresentaram características mais favoráveis para a melhoria da cadeia alimentar da comunidade edáfica.

Nas três avaliações realizadas, a abundância média dos grupos mais frequentes (Acari, Collembola, Hemiptera, Hymenoptera e Psocoptera) e a abundância total de organismos, não se diferenciaram estatisticamente entre as tecnologias de restauração ecológica. Na coleta de julho a abundância total foi menor em todas as tecnologias quando comparadas com a mata e em outubro/2013 as tecnologias não se diferenciaram dessa (Tabela 3). No caso da riqueza média de grupos não houve diferenças entre as tecnologias nas duas

primeiras coletas, sendo que na avaliação de julho a regeneração natural (11,25) não se diferenciou da mata (14,00). Em outubro/2013 a riqueza média foi menor na nucleação (10,25) quando comparada com as demais tecnologias (12,75) e essas não se diferenciaram da mata em relação a essa variável (11,75) (Tabela 3).

O índice de diversidade de Shannon é calculado em função da riqueza de grupos e da distribuição da abundância relativa dos indivíduos nos grupos. Esse índice, nas três avaliações realizadas, foi maior na regeneração natural e menor na tecnologia plantio em linhas (Tabela 3). A uniformidade de Pielou é um índice que se refere ao padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos, e esse na primeira avaliação, teve valores muito próximos nas tecnologias avaliadas, o que indica que apresentaram um padrão de distribuição semelhante. Na segunda avaliação a uniformidade foi maior na regeneração natural quando comparada com os demais tratamentos e na avaliação de outubro/2013 esse índice apresentou valores maiores na regeneração natural e na nucleação em relação ao plantio em linhas e a mata secundária (Tabela 3).

Segundo Machado et al. (2015, p.101), a variabilidade do índice de uniformidade é resultante dos valores de riqueza e dominância de grupos, sendo que esse pode ser maior quando a riqueza for alta e a dominância de grupos for baixa. O grupo Acari, com maior frequência em todos os tratamentos avaliados, contribuiu na variabilidade desse índice. Na coleta de julho/2013 a regeneração natural apresentou a menor frequência do grupo Acari (55,42%) quando comparada com os demais tratamentos (M: 75,78%; L: 70,12% e N: 66,77%), que apresentaram menores valores para o índice de uniformidade.

Esse padrão se repetiu na terceira coleta, na qual o plantio em linhas e a mata, apesar de apresentarem maior riqueza total, expressaram os menores valores de uniformidade (L: 0,30 e M: 0,33) e as maiores frequências do grupo Acari (PL: 80,63% e M: 75,24%). Esse comportamento foi observado por Drescher et al. (2011), em área de mata nativa, que apesar de registrar maior riqueza apresentou menores valores para os índices de diversidade e uniformidade. Para Menezes et al. (2009, p.1652), a dominância de alguns grupos é frequente devido as diferentes estratégias de vida dos organismos da fauna edáfica.

Através do teste de permutação ANOSIM é possível separar áreas por suas diferenças na composição da comunidade da mesofauna edáfica. Na avaliação realizada em outubro/2012, a ANOSIM (R= 0,29; p= 0,04) apontou diferenças entre a regeneração natural e o plantio em linhas e a ordenação dos dados pode ser visualizada na MDS (Figura 4A).

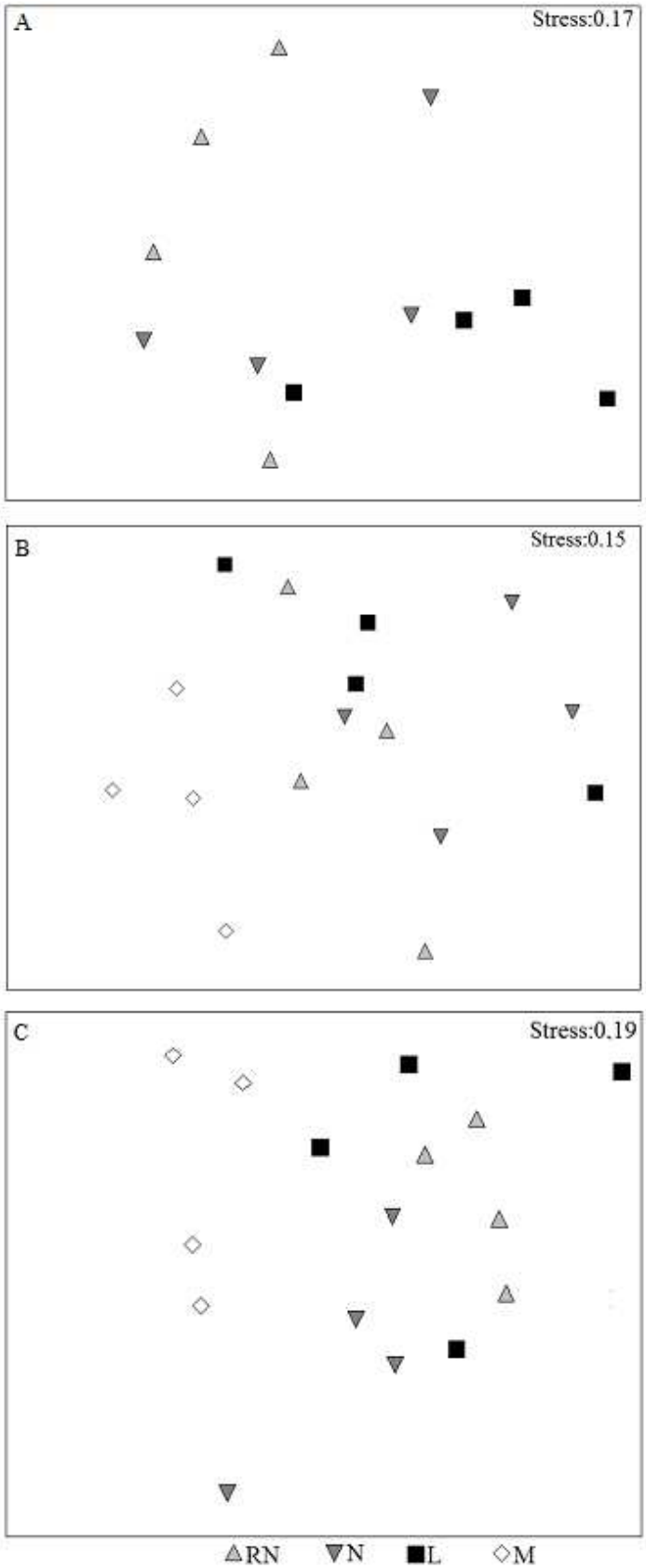


Figura 4 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da mesofauna edáfica (serapilheira+solo) nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.

Os grupos Protura (12,89%), Hemiptera (12,21%) e Araneae (10,13%) foram os que mais contribuíram pela dissimilaridade entre essas duas tecnologias (RNxL). A frequência dos grupos Araneae e Hemiptera foi menor na tecnologia plantio em linhas quando comparada com a regeneração natural (Araneae: RN: 0,56 % e L: 0,15%; Hemiptera: RN: 8,26% e L: 1,21%) e a frequência do grupo Protura foi maior na tecnologia plantio em linhas (RN: 0,25% e L: 1,03%).

Em relação à coleta de julho/2013, a ANOSIM (R=0,36, p=0,01) não apontou diferenças significativas na composição da mesofauna entre as tecnologias, porém diferenciou as tecnologias da mata (Figura 4B). O Simper mostrou que os grupos Isoptera, Hemiptera e Hymenoptera foram os principais responsáveis pela diferenciação da comunidade da mesofauna presente na regeneração natural em relação à mata (RNxM) (Figura 5A), os quais apresentaram maior frequência na regeneração natural quando comparada com a mata. Os grupos Hymenoptera, Coleoptera e Chilopoda foram responsáveis pela diferenciação da tecnologia nucleação da mata (NxM), e esses tiveram menor frequência na tecnologia nucleação quando comparada com a mata. Os grupos Hymenoptera, Hemiptera e Collembola contribuíram para a diferenciação da tecnologia plantio em linhas da mata (LxM), sendo que a mata teve maior número de organismos desses grupos.

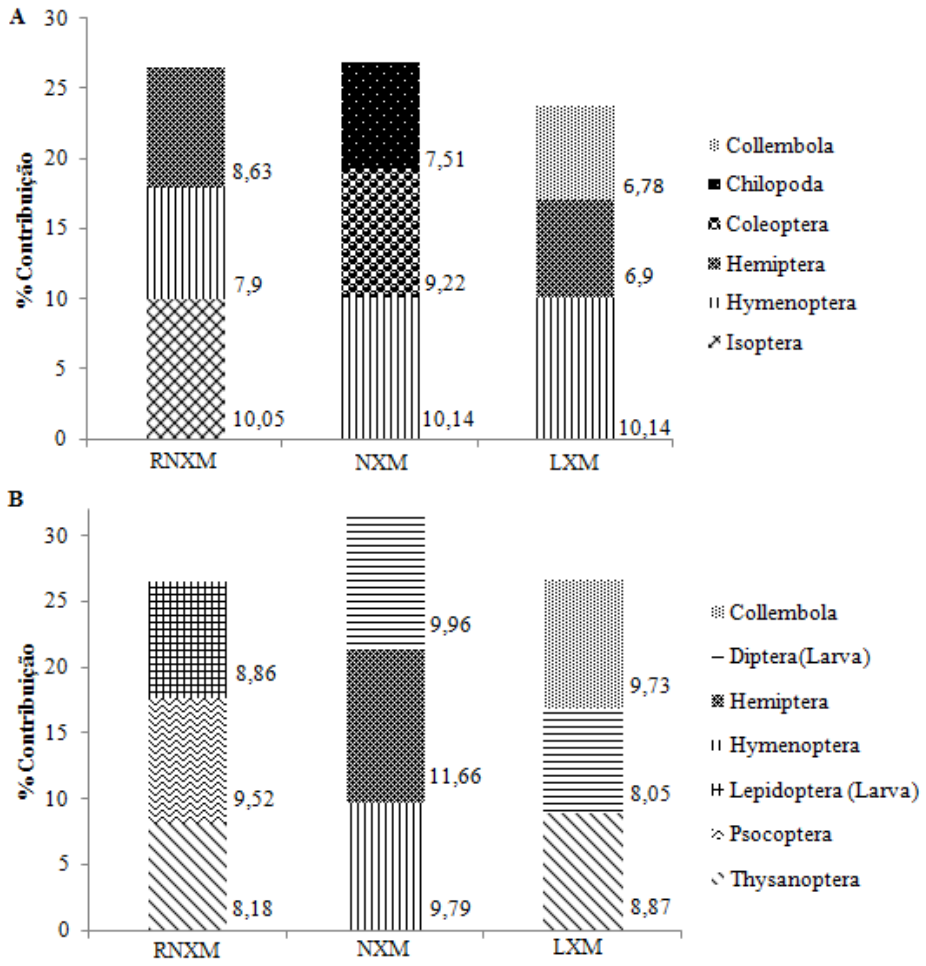


Figura 5 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da mesofauna edáfica (serapilheira-solo), calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração natural *versus* Mata (RNxM); Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM). Dois vizinhos, PR.

Para os dados de outubro/2013, a ANOSIM (R= 0,39, p=0,02) mostrou que as tecnologias não se diferenciaram, havendo novamente apenas diferenças entre as tecnologias e a mata (Figura 4C). Os grupos taxonômicos Psocoptera, Lepidoptera (larva) e Thysanoptera foram os que mais contribuíram para separação da regeneração natural da Mata (RNxM), sendo que a frequência desses organismos foi menor na mata. Os grupos Hemiptera, Diptera (larva) e Hymenoptera foram os que contribuíram para separação da nucleação da mata (NxM), sendo que a ordem Diptera (larva) foi mais frequente na mata e os grupos Hemíptera e Hymenoptera apresentaram maior frequência na nucleação. Os grupos Thysanoptera, Diptera (larva) e Collembola contribuíram para separação do Plantio em linhas da mata (LxM) (Figura 5B) e nesse caso as ordens Diptera (larva) e Collembola foram mais frequentes na mata.

Através da ACP foi possível correlacionar os tratamentos avaliados com a ocorrência dos grupos de artrópodes. Na avaliação de outubro/2012, a ACP explicou 58,2% da variabilidade total dos dados da comunidade da mesofauna edáfica, sendo que a componente principal 1 (CP1) explicou 32,4% da variabilidade e a componente principal 2 (CP2) explicou 25,8%. Na Figura 6A pode-se verificar que houve separação da tecnologia regeneração natural da tecnologia plantio em linhas e a tecnologia nucleação não se separou integralmente das demais tecnologias devido a uma de suas repetições. Esta parcela experimental da nucleação apresentou maior número de organismos do grupo Thysanoptera como ocorreu no tratamento plantio em linhas e alta frequência do grupo Hemiptera como ocorreu na regeneração natural.

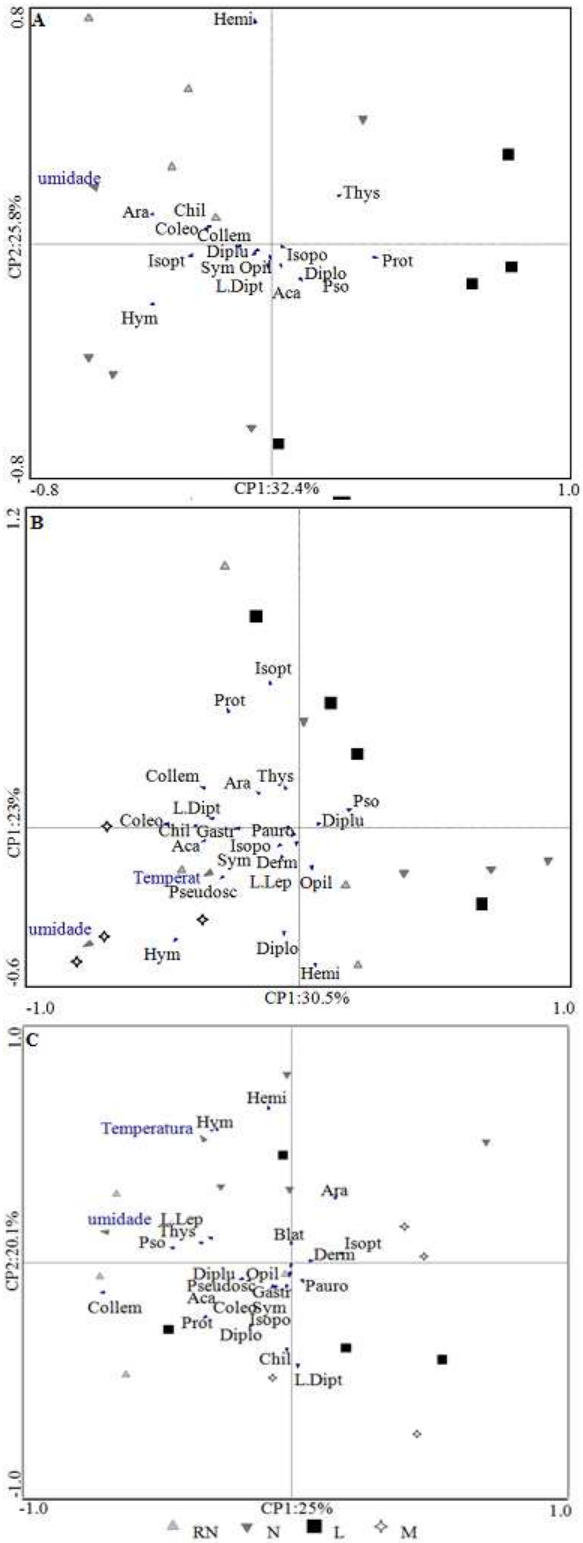


Figura 6 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de mesofauna edáfica coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos, PR. Aca: Ácaro; Ara: Araneae; Blat: Blattodea; Collem: Collembola; Chil: Chilopoda; Coleo: Coleoptera; Derm: Dermaptera; Diplo: Diplopoda; Diplu: Diplura; Gastr: Gastropoda; Hemi: Hemiptera; Hym: Hymenoptera; Isopo: Isopoda; Isopt: Isoptera; L.Lep: Larva de Lepidoptera; L.Dipt: Larva de Diptera; Opil: Opilionida; Pauro: Pauropoda; Prot: Protura; Pseudosc: Pseudoscorpião; Pso: Psocoptera; Sym: Symphyla; Thys: Thysanoptera.

A regeneração natural apresentou maior valor médio de umidade do solo (25,90%) e por isso aparece associada a esta variável na ACP. A tecnologia nucleação apresentou valor intermediário de umidade (24,48%), no entanto, somente a regeneração natural se diferenciou estatisticamente da tecnologia plantio em linhas (23,13%) em relação a essa variável. A regeneração natural se apresentou associada aos grupos Araneae, Collembola, Chilopoda, Coleoptera, Hemiptera, Isoptera e Symphyla. A tecnologia plantio em linhas teve maior associação com os grupos Psocoptera, Protura, Thysanoptera, Isopoda, Diplopoda e Acari. A nucleação apresentou maior frequência de indivíduos do grupo Hymenoptera e valores intermediários entre a regeneração natural e a tecnologia plantio em linhas dos grupos Acari, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Diplura, Isoptera e Psocoptera (Figura 6A).

Diante dos dados desta primeira avaliação das tecnologias (outubro/2012), é possível perceber que as maiores diferenças ocorreram entre a regeneração natural e a tecnologia plantio em linhas, estando a tecnologia nucleação em uma condição intermediária. O fato da regeneração natural não ter sofrido qualquer intervenção antrópica desde a instalação dos tratamentos em 2010, pode ter favorecido tais resultados diante das demais tecnologias que foram submetidas inicialmente a tratos culturais, como o revolvimento do solo para implantação das espécies arbóreas e o controle químico/físico de plantas espontâneas. Essa intervenção foi ainda maior na tecnologia plantio em linhas, na qual essas foram realizadas na área total de cada parcela para implantação de setenta espécies arbóreas diferentes. Já na tecnologia nucleação essas intervenções foram realizadas apenas nos núcleos de biodiversidade instalados na área de estudo.

Assim, a regeneração natural formou uma cobertura relativamente mais densa, favorecendo um microclima mais favorável aos invertebrados do solo, principalmente em relação a maior retenção de umidade do solo e disponibilidade de alimento. Modificações na umidade do solo podem causar alterações na distribuição e abundância de organismos tanto no sentido de ocupação vertical como horizontal do solo e associada à diversidade de substratos orgânicos pode influenciar a presença ou ausência de grupos taxonômicos (NUNES et al., 2012, p.33). Em estudo realizado para avaliar a eficácia de diferentes técnicas de reabilitação de áreas mineradas, utilizando as formigas como bioindicadoras, verificou-se que a área submetida à regeneração natural apresentou maior número de espécies (RIBAS et al., 2012).

Em julho/2013, a ACP explicou 53,5% da variabilidade total dos dados, sendo que a CP1 explicou 30,5% da variabilidade e a CP2 explicou 23%. Nessa avaliação, como na

ANOSIM, não houve separação entre as tecnologias de restauração, havendo apenas separação das tecnologias da área de mata secundária (Figura 6B). A mata secundária se apresentou associada a maiores valores de umidade (56,38%) e com os grupos taxonômicos Acari, Chilopoda, Gastropoda, Hymenoptera, Isopoda, Lepidoptera (Larvas), Pauropoda, Pseudoscorpiones e Symphyla. Nesta segunda avaliação das tecnologias de restauração, a regeneração natural, apesar de não ter se diferenciado das demais tecnologias em termos de composição da mesofauna edáfica pela ANOSIM e ACP, não diferiu da mata em relação à riqueza média de grupos taxonômicos e apresentou maiores valores para os índices de diversidade e uniformidade quando comparada com as demais tecnologias e até mesmo com a mata. A regeneração natural também apresentou maior teor de umidade (35,83%) quando comparada com as demais tecnologias (N: 31,45% e L: 28,70%) (Tabela 3).

Na coleta de outubro/2013 a CP1 explicou 25% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 20,1%, totalizando 45,1% de explicação por essas duas componentes. Nessa avaliação, ao contrário da ANOSIM, a ACP não separou claramente as tecnologias da área de mata secundária. A separação das parcelas experimentais da regeneração natural e da nucleação da área de mata foi mais evidente quando comparada com a tecnologia plantio em linhas, que apresentou duas parcelas experimentais associadas às amostras da mata (Figura 6C). A tecnologia regeneração natural teve a maior média de umidade do solo (31,83%), estando associada a esta variável na ACP e a mata apresentou menores valores para temperatura do solo em relação as tecnologias (20,34ºC). Os grupos taxonômicos Collembola, Lepidoptera (larvas), Psocoptera e Thysanoptera estiveram associados à regeneração natural e os grupos Blattodea, Hemiptera e Hymenoptera a tecnologia nucleação. A área de mata secundária apresentou-se associada aos grupos Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Diptera (larvas) e Pauropoda.

Nesta terceira avaliação, a nucleação apresentou menor riqueza média e total, porém, junto com a regeneração natural apresentou maiores valores para os índices de diversidade e uniformidade. Assim, nessas duas últimas avaliações realizadas das tecnologias de restauração, as diferenças se deram mais em relação aos índices de diversidade e uniformidade, que foram menores no plantio em linhas, não havendo diferenças na composição da comunidade da mesofauna edáfica. As comunidades biológicas do solo podem sofrer variação ao longo de escalas de tempo, estimulada por mudanças na umidade e temperatura do solo, bem como na oferta de recursos em função do crescimento das plantas (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014, p.507). Assim, as tecnologias de restauração

devem ser avaliadas ao longo do tempo, a fim de identificar qual delas proporcionará melhores condições para que a biodiversidade edáfica seja estimulada, além de que, segundo Majer, Brennan e Moir (2007), estudos de invertebrados fornece informações importantes sobre funcionamento do ecossistema em áreas restauradas.

A mata secundária utilizada neste estudo como referência das condições do solo, está em processo de regeneração há aproximadamente 30 anos, o que confere ao ambiente maior estabilidade quando comparada as tecnologias de restauração que foram implantadas em 2010. Maiores valores de atividades de grupos, riqueza média, além da maior presença de grupos predadores em área de floresta em estádio sucessional avançado, foram relatados por Machado et al. (2015), em estudo de avaliação da diversidade da comunidade da fauna edáfica em diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica. Para os autores, a presença de grupos com diferentes funções está associada à heterogeneidade da distribuição dos recursos vegetais, consequência da maior diversidade de espécies e da complexidade estrutural da vegetação.

3.4 CONCLUSÕES

- Os grupos Acari, Collembola, Hymenoptera e Psocoptera foram os mais frequentes nas tecnologias de restauração e na área de mata, nas três avaliações;
- As tecnologias avaliadas não diferiram, após três anos em processo de restauração, em relação à abundância total de organismos e composição da comunidade da mesofauna edáfica;
- O índice diversidade de Shannon, nas três avaliações, seguiu um gradiente de impacto antrópico (RN>N>L), sendo superior na Regeneração natural, que não sofreu intervenções técnicas e apresentou maior teor de umidade no solo, e inferior na tecnologia plantio em linhas, que foi submetida ao controle mecânico e químico de plantas espontâneas em área total;
- A regeneração natural apresentou maior valor para o índice de uniformidade de Pielou nas três épocas de coleta, sendo que a ordem Acari foi o principal responsável pelas variações nesse índice entre os tratamentos avaliados;

- A mata secundária apresentou dissimilaridades em relação à composição da comunidade da fauna edáfica quando comparadas as tecnologias de restauração florestal, apresentando maior abundância de saprófagos e predadores, como os grupos taxonômicos Araneae, Chilopoda, Dermaptera, Gastropoda, Pauropoda, Pseudoscorpiones e Symphyla;

- Diante dos resultados obtidos em relação à mesofauna edáfica, nos três primeiros anos de restauração, recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação em relação às demais tecnologias avaliadas.

4 MESOFAUNA DA SERAPILHEIRA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

RESUMO

A serapilheira sobre o solo abriga uma grande diversidade de organismos que são afetados por vários fatores. O objetivo desse estudo foi caracterizar e comparar a abundância, riqueza, diversidade e a composição da mesofauna da serapilheira em áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal. Foram conduzidos os seguintes tratamentos: a) regeneração natural; b) plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade e c) nucleação. Uma área adjacente à área experimental, de mata secundária, foi inclusa no estudo como referencial. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis subamostras por parcela. As amostras de serapilheira foram coletadas em outubro/2012, julho e outubro/2013 com auxílio de um cilindro de metal e a mesofauna foi extraída utilizando Funis de Berlese-Tüllgren modificados. Nas três avaliações realizadas foram contalizados 5676 organismos. Os grupos Acari, Collembola, Hymenoptera e Psocoptera foram os mais frequentes nas tecnologias de restauração florestal e na área de mata nativa. Após três anos em processo de restauração, as áreas submetidas às tecnologias não se diferenciaram em relação à riqueza média de grupos taxonômicos, abundância total de organismos e composição da comunidade da mesofauna presente na serapilheira. Nas três avaliações realizadas, o índice de diversidade de Shannon foi superior na tecnologia regeneração natural, menor na tecnologia plantio em linhas e intermediário na nucleação, indicando que o grau de interferência antrópica nessas áreas pode ter influenciado na diversidade de organismos na serapilheira. O índice de uniformidade de Pielou mostrou que as tecnologias tiveram um padrão de distribuição dos organismos similar, não havendo dominância de grupos taxonômicos na mesofauna da serapilheira. A mata secundária, em relação às tecnologias de restauração florestal, apresentou maior abundância de saprófagos e predadores, como os grupos taxonômicos Chilopoda, Pauropoda, Protura e Symphyla. Diante dos resultados apresentados recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação em relação às demais avaliadas.

Palavras-chave: Riqueza. Diversidade. Nucleação. Restauração ecológica. Fauna epígea.

ABSTRACT

Litter is the home of a great diversity of organisms that are affected by several factors. The goal of this study was to characterize and compare the abundance, richness, diversity and composition of litter mesofauna in areas under different forest restoration technologies. The treatments evaluated were: a) natural regeneration; b) high diversity tree plantations and c) nucleation. An area of secondary forest was included in the study as reference of soil conditions. The experimental design was in randomized block with four replications and six sub-samples per plot. Litter samples were collected in October/2012, July and October/2013 with the aid of a metal cylinder and the mesofauna extracted by modified Berlese-Tüllgren funnel. In the three evaluations realized were counted 5676 organisms. The groups Acari, Collembola, Psocoptera and Hymenoptera were the most frequent in the evaluated technologies and in secondary forest area. After three years in restoration process, the areas subject to restoration technologies did not differ in relation the mean richness, total abundance of organisms and mesofauna community composition present in the litter. In the three evaluations realized, the Shannon diversity index was higher in the natural regeneration technology, lower in the tree planting technology and intermediate in nucleation, indicating that the degree of human interference in these areas may have influenced the diversity of litter organisms. The Pielou uniformity index showed that the technologies presented a similar pattern of distribution of organisms, indicating no dominance of taxonomic groups in the litter mesofauna. The Pielou uniformity index showed that the technologies presented a similar pattern of distribution of organisms, indicating no dominance of taxonomic groups in the litter mesofauna. The secondary forest in relation to forest restoration technologies, presented greater abundance of saprophages and predators such as taxonomic groups Chilopoda, Pauropoda, Protura and Symphyla. Before the results obtained, we recommended natural regeneration by to have lowest cost of implementation in relation to other evaluated technology.

Keywords: Richness. Diversity. Nucleation. Ecology restoration. Epigeous fauna.

4.1 INTRODUÇÃO

A serapilheira abriga uma grande diversidade de organismos, que desempenham diferentes funções e são afetados por vários fatores. Os resíduos vegetais servem de alimento e abrigo para a biota, além de contribuir com a manutenção da temperatura e umidade em condições favoráveis para o seu desenvolvimento. A temperatura comanda a atividade metabólica dos organismos edáficos e, em conjunto com a umidade, determina a intensidade e a distribuição dos períodos de maior atividade (LAVELLE; SPAIN, 2001, p.340). O uso do solo com diferentes coberturas vegetais e práticas culturais tendem a afetar diretamente a fauna (GARLET et al., 2013, p.338), e por isso ela tem sido utilizada na avaliação da qualidade de diferentes ecossistemas (BARTZ et al., 2014; CUNHA NETO et al., 2012, MACHADO et al., 2015; VASCONCELLOS et al., 2013).

A restauração de áreas florestais representa um desafio para resgatar a bionfuncionalidade e as interações entre os organismos do sistema (REIS et al., 2014, p.509), o que gera a demanda por tecnologias que consigam restabelecer processos ecológicos necessários para a formação de florestas biologicamente viáveis (BRANCALION et al., 2010). A tecnologia de plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade preconiza a utilização de diferentes grupos sucessionais, combinando espécies pioneiras de rápido crescimento e boa cobertura (plantas de recobrimento) com espécies de várias grupos ecológicos sem estas características (plantas de diversidade) (NAVE; RODRIGUES, 2007; RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011).

A tecnologia de nucleação tem por princípio a criação de núcleos de diversidade, espalhados pela área a ser restaurada, envolvendo o solo, os seres produtores, consumidores e decompositores (REIS et al., 2007). Segundo Reis et al. (2014, p. 513), o objetivo das técnicas nucleadoras é formar micro-habitats que favoreçam o desencadeamento de “eventualidades” para a regeneração natural, como a chegada de diferentes formas de vida e a formação de uma rede de interações entre os organismos. Dentre as técnicas nucleadoras estão a transposição de solo, a semeadura direta, os poleiros artificiais, a transposição de galharia, o plantio de mudas em ilhas de alta diversidade e a coleta de sementes com manutenção da variabilidade genética (BECHARA et al, 2007; REIS et al., 2010).

A recuperação de uma área florestal também pode ser realizada através da regeneração natural, que pode ser conduzida através do isolamento da área contra fatores de

perturbação, no entanto, o sucesso desse procedimento vai depender de diversos fatores, como as condições físicas e químicas do solo, presença de banco de sementes no solo, competição com gramíneas e/ou espécies exóticas, distância de fontes de propágulos, dentre outros (CHAMI et al., 2011; HOLL et al., 2000; HOLL; AIDE, 2011; MARCUZZO et al., 2014). As interações entre a fauna da serapilheira e as diferentes tecnologias de restauração florestal são poucas conhecidas. Com isso, o objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar a abundância, riqueza, diversidade e a composição da mesofauna da serapilheira em áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Área Experimental

Ver item 3.2.1.

4.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Ver item 3.2.2.

4.2.3 Coleta e extração da mesofauna da serapilheira

Para a elaboração desse capítulo foram considerados apenas os organismos extraídos das amostras de serapilheira (Ver item 3.2.3).

4.2.4 Dados obtidos e análise estatística

Ver item 3.2.4.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram contabilizados 5676 organismos, sendo 2020 na amostragem de outubro/2012, 2685 em julho/2013 e 971 em outubro/2013, distribuídos em 17 grupos taxonômicos: Acari, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Diptera (larva), Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera (larva), Pauropoda, Protura, Psocoptera, Symphyla e Thysanoptera. Os grupos Acari, Psocoptera, Collembola e Hymenoptera foram os mais expressivos nas três avaliações realizadas (Figuras 7A-7C), no entanto as tecnologias de restauração não se diferenciaram em relação à abundância média desses grupos (Tabela 4).

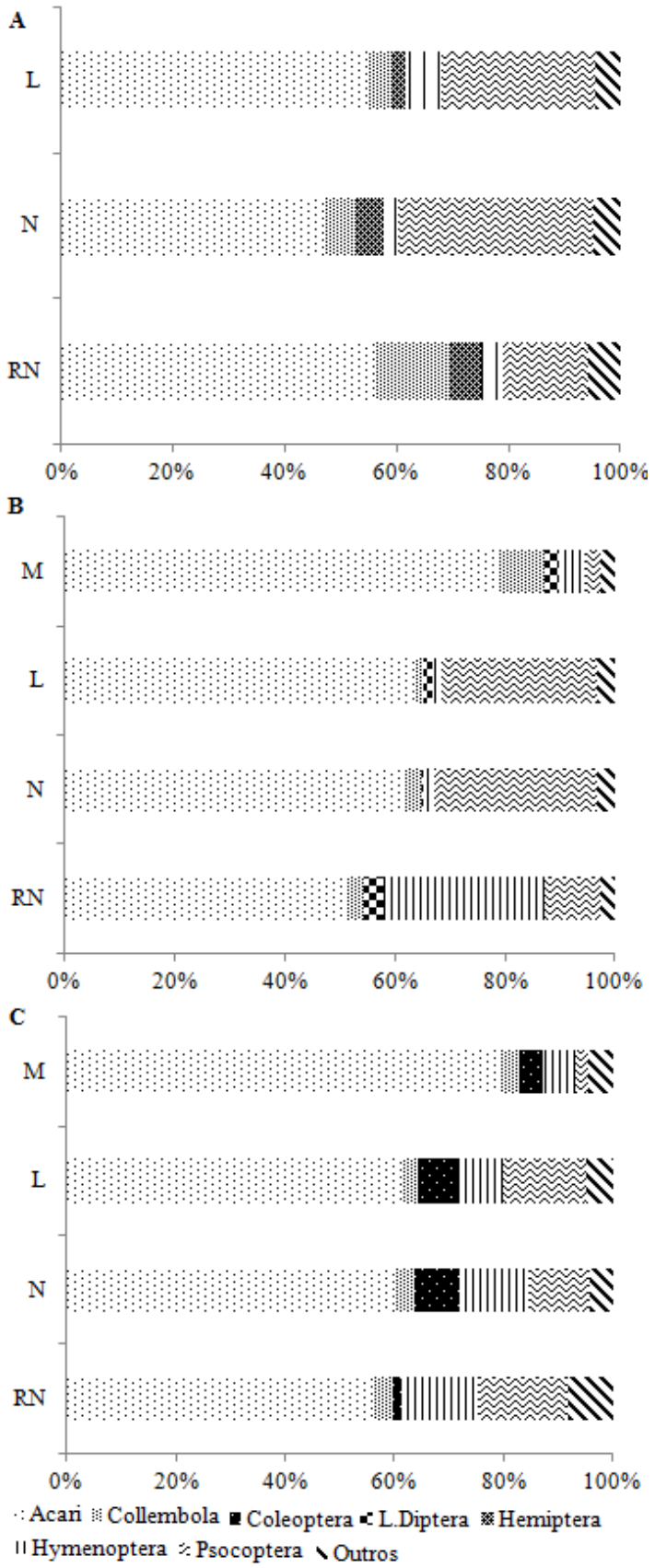


Figura 7 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da mesofauna da serapilheira nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes.

Tabela 4 – Umidade do solo, temperatura do solo, abundância média de organismos por grupo taxonômico, abundância total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') referente à mesofauna da serapilheira nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em linha em outubro/2012, julho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.

Mesofauna da Serapilheira - Outubro/2012				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	
Umidade (%)	25,90a	24,48ab	23,13b	
Ácari	94,00^{ns}	78,25	94,00	
Psocoptera	25,75^{ns}	58,00	47,25	
Collembola[1]	21,5^{ns}	8,75	7,00	
Hymenoptera	6,25^{ns}	4,00	11,00	
Larva Diptera	1,25^{ns}	3,50	3,75	
Outros[1,3]	18,00^{ns}	13,75	9,00	
Riqueza média	8,75^{ns}	6,75	7,50	
Abundância total[2]	166,75^{ns}	166,25	172,00	
Riqueza total	12	11	10	
H'	1,43	1,35	1,29	
J'	0,58	0,56	0,56	
Mesofauna da Serapilheira - Julho/2013				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Umidade (%)	35,83a*	31,45b*	28,70b*	56,38
Temperatura (ºC)	17,31^{ns}	17,27	17,75	19,44
Ácari	78,50^{ns}*	60,25*	58,75*	258,50
Hymenoptera[4]	45,25^{ns}	1,75	1,50	15,00
Psocoptera	15,75^{ns}	29,00*	26,00*	10,25
Collembola[1]	5,00^{ns}	2,75*	1,25*	26,75
Larva Diptera[1]	5,75b	0,50a*	1,50ab*	8,00
Outros[5]	4,00^{ns}	3,25	3,25	8,75
Riqueza média	6,25^{ns}	6,75	6,25	9,75
Abundância total[2]	154,25^{ns}	97,50*	92,25*	327,25
Riqueza total	8	11	10	16
H'	1,29	1,03	1,00	0,88
J'	0,62	0,43	0,44	0,32
Mesofauna da Serapilheira - Outubro/2013				
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Umidade (%)	31.83a*	24.89b	23.83b*	27.95
Temperatura (ºC)	25,21^{ns}*	26,69*	25,94*	20,34
Ácari[1]	23,00^{ns}*	23,75*	27,00	93,25
Psocoptera	6,75^{ns}	4,50	6,75	2,75
Hymenoptera	5,75^{ns}	5,00	3,50	7,25
Coleoptera	0,75^{ns}	3,25	3,25	5,00
Outros[6]	5,00^{ns}	3,25	3,50	9,50
Riqueza média	6,25^{ns}	6,25	5,75	7,25
Abundância total[2]	41,25^{ns}*	39,75*	44,00*	117,75
Riqueza total	10	9	8	11
H'	1,42	1,34	1,27	0,89
J'	0,61	0,61	0,61	0,37

[1]Dados transformados log (x+1); [2]Soma de todos os grupos taxonômicos; [3]Soma de Araneae, Coleoptera, Diplopoda, Hemiptera, Protura, Symphyla e Thysanoptera; [4]Dados transformados √(x+1); [5]Soma de Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Diplopoda, Gastropoda, Hemiptera, Larva Lepidoptera, Pauropoda, Protura, Symphyla e Thysanoptera; [6]Soma de Araneae, Chilopoda, Collembola, Gastropoda, Hemiptera, Isoptera, Larva Diptera, Larva Lepidoptera, Pauropoda, Protura e Thysanoptera; Médias nas linhas seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%, seguidas de ^{ns} não significativo entre as tecnologias e as seguidas * diferem significativamente da mata pelo teste de Dunnett a 5%.

Na coleta de outubro/2012 foram identificados 12 grupos taxonômicos na regeneração natural, 11 na nucleação e 10 na tecnologia plantio de árvores em linha, sendo que estas não diferiram em termos de abundância total de organismos e riqueza média de grupos (Tabela 4). O índice de diversidade de Shannon, que utiliza a riqueza e a abundância relativa de organismos nos diferentes grupos taxonômicos (Moço et al., 2005, p.558), foi menor na tecnologia plantio em linhas (1,29) que apresentou menor riqueza total e as menores abundâncias relativas dos grupos Araneae, Collembola, Coleoptera, Diplopoda e Hemiptera, não sendo registrados os grupos Protura e Symphyla (Tabela 4). A regeneração natural apresentou valor superior para esse índice (1,43) e maior riqueza total de grupos, bem como maior abundância relativa dos grupos Acari, Araneae, Collembola, Diplopoda, Hemiptera, Protura, sendo o grupo Symphyla registrado exclusivamente nesta tecnologia. A nucleação apresentou valores intermediários para o índice de diversidade (1,35), para riqueza total e para abundância relativa dos grupos Araneae, Collembola, Diplopoda, Diptera, Hemiptera e Protura.

Já o índice de uniformidade, que é proporcional a diversidade e inversamente proporcional a dominância (HARADA et al., 2013, p. 188), apresentou valores muito próximos nas diferentes tecnologias avaliadas (Tabela 4), o que significa que as mesmas tiveram um padrão distribuição de organismos nos grupos semelhante. Em termos de umidade do solo (%), houve diferenças entre a regeneração natural (25,90%) e a tecnologia plantio em linhas (23,13%), e a nucleação, por sua vez, não se diferenciou das demais tecnologias (24,48%) (Tabela 4). O menor teor de umidade na tecnologia plantio em linhas pode ter ocorrido devido ao controle químico e mecânico de plantas espontâneas, realizado entre as espécies florestais implantadas, que favoreceu a aceleração da decomposição do material vegetal sob o solo, e consequentemente uma maior variação na umidade, bem como a redução da disponibilidade de alimento para os organismos presentes na serapilheira.

O fato da regeneração natural não ter sofrido tais intervenções e a nucleação ter passado por controle de plantas espontâneas apenas nos núcleos e não em área total, como ocorreu na tecnologia plantio em linhas, pode ter influenciado na diversidade de organismos. Estudos relatam a influência da umidade da serapilheira e do solo (GONGALSKY; PERSSON; POKARZHEVSKII, 2008; MORENO et al., 2008; TSIAFOULI et al., 2005), e ainda, da disponibilidade de alimento na diversidade de organismos (FERNANDES et al., 2011; MOÇO et al., 2010; YANG; WARREN; ZOU, 2007).

Na segunda coleta, realizada em julho de 2013, foram registrados 16 grupos taxonômicos na mata secundária, 11 na nucleação, 10 no plantio em linhas e 8 na regeneração natural. Nessa avaliação, as tecnologias novamente não se diferenciaram em relação à riqueza média de grupos e abundância total de organismos. Os grupos Chilopoda, Pauropoda, Protura e Symphyla foram observados exclusivamente na mata, bem como uma maior abundância média do grupo Acari. Os grupos Collembola e Diptera (larva) também foram mais abundantes na mata quando comparada com as tecnologias nucleação e plantio em linhas, não se diferenciando da regeneração natural e o mesmo ocorreu considerando a abundância total de organismos (Tabela 4).

O índice de diversidade de Shannon, nesta segunda avaliação, foi maior na regeneração natural (1,29) e menor na mata secundária (0,88), e as tecnologias nucleação (1,03) e plantio em linhas (1,00) registraram valores intermediários. O mesmo ocorreu com o índice de uniformidade de Pielou, sendo menor na mata (0,32), maior na regeneração natural (0,62) e apresentando valores intermediários na nucleação (0,43) e no plantio em linhas (0,44). A dominância do grupo Acari influenciou fortemente os resultados desses índices. A mata que apresentou a menor uniformidade apresentou a maior frequência desse grupo (78,99%), seguida do plantio em linhas (63,68%) e da nucleação (61,79%), tendo a regeneração natural a menor frequência (50,89%) desse grupo e a maior uniformidade. A regeneração natural apesar de ter a menor riqueza total dentre as tecnologias avaliadas, apresentou a maior frequência de grupos como Collembola, Coleoptera, Diptera (larvas) e Hymenoptera conferindo um maior valor para o índice de diversidade.

Menores índices de diversidade e uniformidade, apesar de maior valor de riqueza total, em área de mata, também foram observados por Drescher et al. (2011) e Marques et al. (2014). A mata apresentou maior teor de umidade (56.38%) quando comparada com as tecnologias e a regeneração natural apresentou o maior valor para essa variável (35,83%) em relação à nucleação (31,45%) e ao plantio em linhas (28,70%). Os tratamentos não se diferenciaram em relação à temperatura do solo (Tabela 4). Maior teor de umidade, aliado a maior diversidade de alimento, na área de mata secundária pode ter favorecido a maior riqueza de grupos taxonômicos, como a presença dos grupos Chilopoda, Pauropoda, Protura e Symphyla que não ocorreram nas tecnologias nessa avaliação. Ribas et al., (2012) utilizando espécies de formigas como bioindicadoras do sucesso de técnicas de reabilitação de áreas degradadas, verificaram uma relação positiva entre ambientes mais complexos e heterogêneos com maior número de espécies.

Na terceira avaliação, outubro/2013, foram identificados 11 grupos taxonômicos na mata, 10 na regeneração natural, 9 na nucleação e 8 no plantio em linhas, sendo que as tecnologias, como ocorreu nas avaliações anteriores, não se diferenciaram em relação à riqueza média de grupos e abundância total de organismos. Os grupos Chilopoda, Gastropoda e Pauropoda foram registrados exclusivamente na mata, Isoptera na nucleação e os grupos Lepidoptera (larvas) e Protura na regeneração natural. O grupo Acari foi mais abundante na mata quando comparada com a regeneração natural e a nucleação, não se diferenciando do plantio em linhas (Tabela 4). A mata também apresentou maior abundância total de organismos quando comparada as tecnologias, não se diferenciando em relação à riqueza média de grupos.

O mesmo comportamento observado na segunda avaliação (julho/2013), em relação aos índices de diversidade e uniformidade, se repetiu nesta terceira avaliação, sendo que o menor valor para os índices de diversidade e uniformidade foram observados na mata, a qual apresentou uma alta frequência do grupo Acari (79,19%) quando comparada as demais tecnologias (RN: 55,75%; N: 59,74% e PL: 61,36%), o que favoreceu a maior desuniformidade na distribuição dos organismos nos grupos, ou seja, um menor valor de uniformidade (Tabela 4). Aliado a isto, a menor abundância relativa de alguns grupos, como Hemiptera, Hymenoptera e Psocoptera, culminou com menor valor para o índice de diversidade. Entre as tecnologias avaliadas, o plantio em linhas apresentou a menor riqueza total e o menor valor para o índice de diversidade, no entanto, as tecnologias apresentaram valores iguais para o índice de uniformidade, indicando que apresentaram um padrão de distribuição dos organismos nos grupos muito semelhante.

Em relação à umidade do solo, a regeneração natural apresentou maior valor quando comparadas com as demais tecnologias e com a mata secundária (Tabela 4) e em termos de temperatura do solo a mata registrou o menor valor (20,34ºC) quando comparada as tecnologias, sendo que estas não se diferenciaram entre si. A influência da dominância do grupo Acari nos índices de diversidade e uniformidade também foi relatada por outros autores (CUNHA NETO et al., 2012; VERGÍLIO et al., 2013), e por ser um grupo abundante e diverso, formado por uma gama de espécies saprófagas, predadoras e fitófagas, tem sido utilizado como bioindicador em diversos estudos de uso do solo (ACCATTOLI; MARTÍNEZ, 2012; BEDANO; RUF, 2007; MINOR; CIANCIOLO, 2007).

A ocorrência dos grupos taxonômicos Chilopoda e Pauropoda somente na área de mata secundária, nas avaliações de julho e outubro/2013, pode ser indicativa de um ambiente

com uma estrutura trófica mais complexa e equilibrada. Em processos de conversão de uso do solo, a presença de grupos saprófagos e predadores está associada a mudanças no ambiente, dentre elas a melhoria na qualidade de recursos alimentares (SALAMON et al., 2008; SALMON; FRIZZERA; CAMARET, 2008). Estudo realizado por Albrecht et al. (2007), apontou que a diversidade e abundância de interações tróficas foram favorecidas pelo incremento da diversidade de plantas em áreas após processo de restauração.

A ordenação dos dados de outubro/2012 na MDS (Figura 8A), corroborado pelo ANOSIM (R= -0,07; p= 0,68), mostra que não houve separação entre as tecnologias avaliadas em termos de composição da mesofauna da serapilheira. Na coleta de julho/2013, a ANOSIM apontou diferenças significativas na composição da mesofauna da mata em relação às tecnologias nucleação e plantio em linhas (R=0,43; p=0,01), e não mostrou diferenças entre a mata e a regeneração natural, bem como entre as tecnologias (Figura 8B). O Simper mostrou que os grupos Collembola, Diptera (Larvas) e Hymenoptera, os quais apresentaram maior frequência na mata, foram os principais responsáveis pela diferenciação da comunidade da mesofauna presente na mata em relação às tecnologias nucleação (NxM) e plantio em linhas (LxM) (Figura 9A).

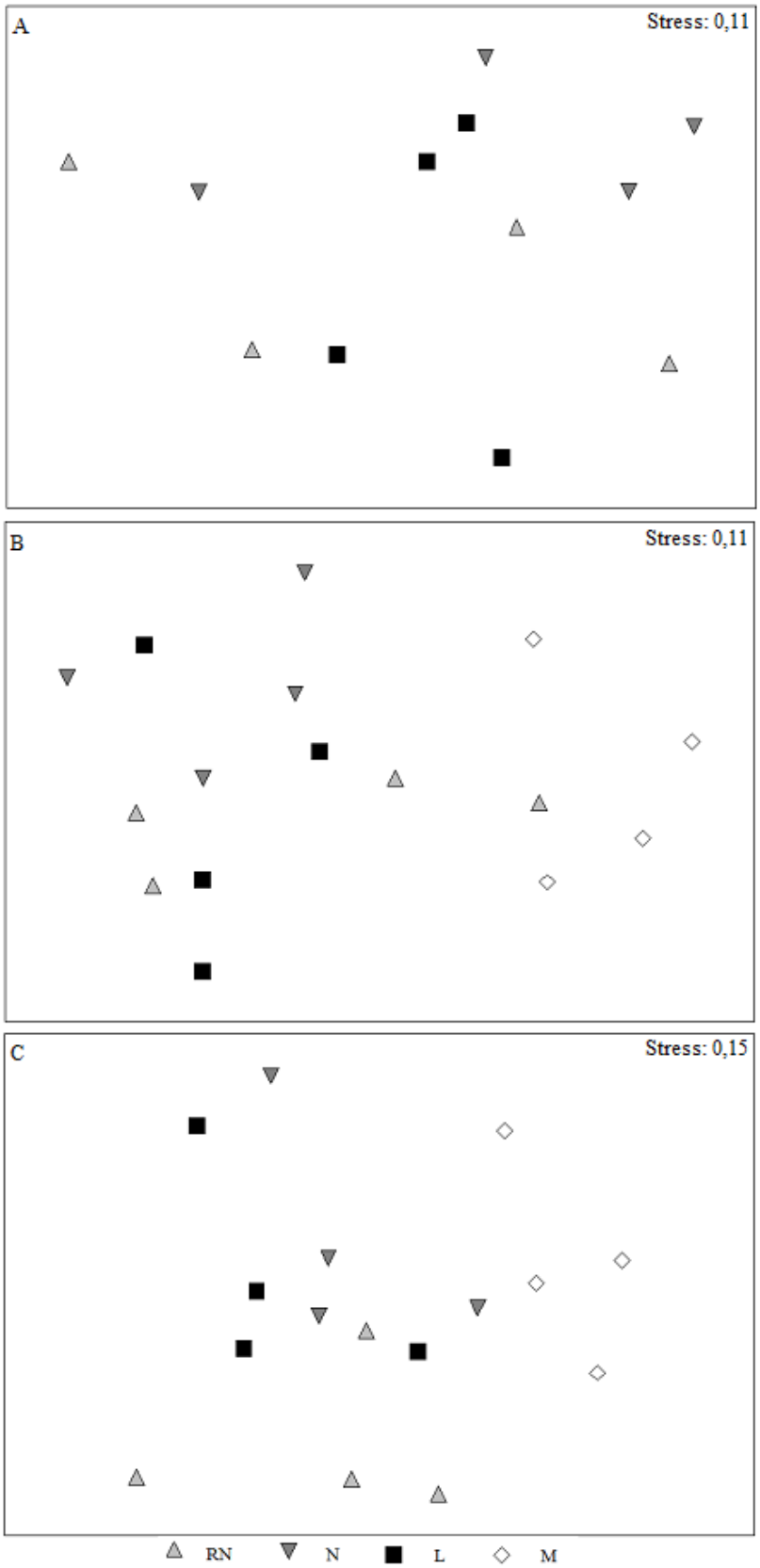


Figura 8 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da mesofauna da serapilheira nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: outubro/2012, B: julho/2013 e C: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.

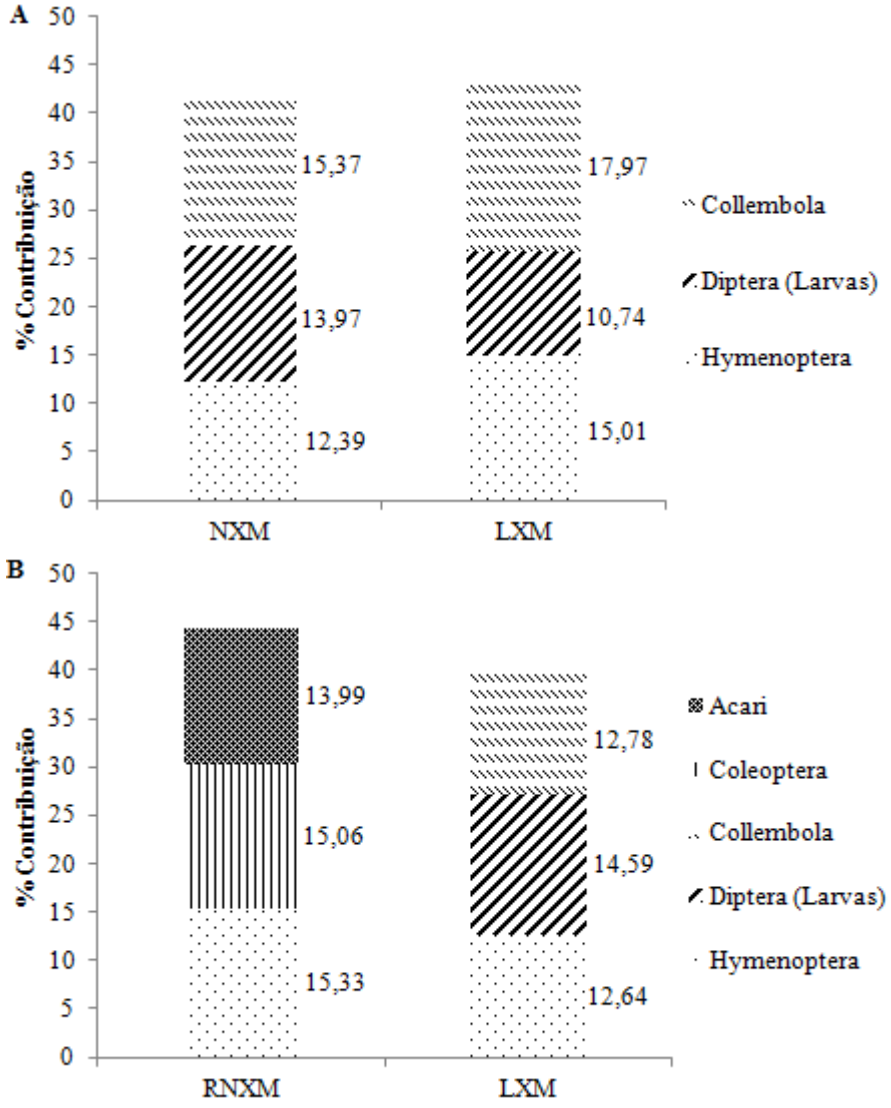


Figura 9 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da mesofauna da serapilheira, calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM); Regeneração Natural *versus* Mata (RNxM). Dois vizinhos, PR.

Para os dados de outubro/2013 a ANOSIM (R= 0,25; p=0,01) mostrou diferenças estatísticas na composição da mesofauna entre a Regeneração natural e Plantio em linhas em relação à mata, e não apontou diferenças entre as tecnologias e entre a nucleação e a mata. Na Figura 8C verifica-se que as amostras da mata na MDS ficaram próximas das amostras da nucleação. Os grupos taxonômicos Hymenoptera, Coleoptera e Acari foram os principais responsáveis pela separação da regeneração natural da mata (RNxM) e os grupos Hymenoptera, Diptera e Collembola pela diferenciação do plantio em linhas da Mata (LxM)

(Figura 9B). Esses grupos, com exceção do grupo Hymenoptera, foram mais frequentes na mata quando comparada as respectivas tecnologias.

Na avaliação de outubro/2012, a Análise das Componentes Principais (ACP), explicou 71,3% da variabilidade total dos dados da comunidade da mesofauna da serapilheira, sendo que a componente principal 1 (CP1) explicou 50% da variabilidade e a componente principal 2 (CP2) explicou 21,3%. Assim como na ANOSIM, a ACP não separou as tecnologias de restauração (Figura 10A).

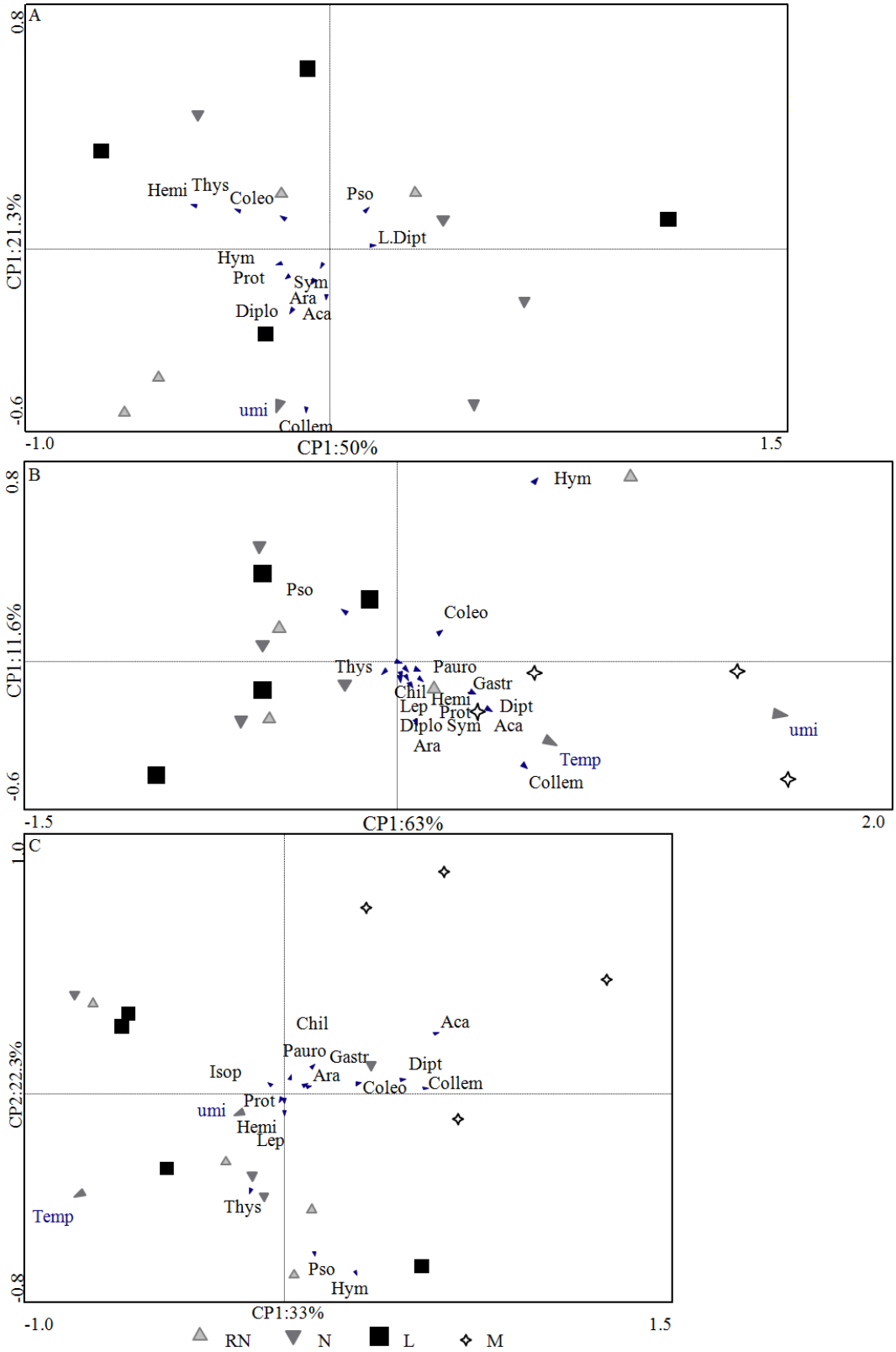


Figura 10 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de mesofauna da serapilheira coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: outubro/2012, B:julho/2013 e C: outubro/2013. Dois vizinhos, PR. Aca: Acari, Ara: Araneae, Chil: Chilopoda, Coleo: Coleoptera, Collem: Collembola, Diplo: Diplopoda, Dipt: Diptera (larva), Gastr: Gastropoda, Hemi: Hemiptera, Hym: Hymenoptera, Isop: Isoptera, Lep: Lepidoptera (larva), Pauro: Pauropoda, Prot: Protura, Pso: Psocoptera, Sym: Symphyla, Thys:Thysanoptera, Temp: Temperatura e Umi: Umidade.

Em julho/2013, a ACP explicou 74,6% da variabilidade total dos dados, sendo que a CP1 explicou 63% da variabilidade e a CP2 explicou 11,6%. Na Figura 10B pode-se verificar que a mata se separa das tecnologias nucleação e plantio em linhas, porém o mesmo não acontece com a regeneração natural. A mata secundária apresentou maiores valores de umidade (56,38%) e temperatura (19,44ºC) e por isso se apresenta associada a estas variáveis, e ainda, verifica-se associação com maior abundância dos grupos taxonômicos Acari, Araneae, Collembola, Chilopoda, Diptera (larvas), Gastropoda, Hemiptera, Lepidoptera (larvas), Pauropoda, Protura e Symphyla.

A regeneração natural, dentre as tecnologias avaliadas, apresentou o maior teor de umidade (35,83%) e as maiores abundâncias, seguida da mata, dos grupos Acari, Collembola, Diplopoda e Diptera, e assim como na mata, a menor abundância do grupo Psocoptera, o que conferiu a essa tecnologia semelhanças na composição da comunidade da mesofauna com a área de mata secundária. A associação da mata secundária com maior número de organismos saprófagos e predadores indica que ambientes em estádios sucessionais mais avançados favorecem a melhoria da cadeia alimentar da comunidade. A maior diversidade da vegetação resulta em uma camada de serapilheira mais heterogênea, o que influência na presença de determinados grupos de organismos (MENEZES et al., 2009; MOÇO et al., 2005).

Na coleta de outubro/2013 a CP1 explicou 33% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 22,3%, totalizando 55,3% de explicação por estas duas componentes (Figura 10C). Nesta avaliação a mata praticamente se separou das demais tecnologias em um dos quadrantes da ACP, com exceção de uma das parcelas da tecnologia nucleação. A mata se apresenta associada aos grupos Acari, Araneae, Collembola, Chilopoda, Coleoptera, Diptera (larvas), Gastropoda e Pauropoda. A mata teve menor valor de temperatura do solo (20,34ºC) quando comparada as tecnologias (RN: 25,21ºC; N: 26,69ºC e L: 25,94ºC), e por isso essa variável se apresenta no lado oposto da mata na ACP. As semelhanças entre a nucleação e a mata estão nas maiores abundâncias do grupo Araneae, Collembola, Coleoptera e na menor abundância do grupo Psocoptera.

4.4 CONCLUSÕES

- Os grupos Acari, Collembola, Hymenoptera e Psocoptera foram os mais frequentes nas tecnologias de restauração florestal e na área de mata nativa, nas três épocas de coleta;

- Após três anos em processo de restauração, as áreas submetidas às tecnologias não se diferenciaram em relação à riqueza média de grupos taxonômicos, abundância total de organismos e composição da comunidade da mesofauna presente na serapilheira, com isso recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação em relação às demais avaliadas;

- Nas três avaliações realizadas, o índice de diversidade de Shannon foi superior na tecnologia regeneração natural, menor na tecnologia plantio em linhas e intermediário na nucleação, indicando que o grau de interferência antrópica nessas áreas pode ter influenciado na diversidade de organismos na serapilheira;

- O índice de uniformidade de Pielou mostrou que as tecnologias tiveram um padrão de distribuição dos organismos similar, não havendo dominância de grupos taxonômicos na mesofauna da serapilheira;

- A mata secundária, em relação às tecnologias de restauração florestal, apresentou maior abundância de saprófagos e predadores, como os grupos taxonômicos Chilopoda, Pauropoda, Protura e Symphyla;

5 MACROFAUNA EDÁFICA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

RESUMO

O monitoramento da macrofauna edáfica nas tecnologias de restauração é necessária para compreender a evolução da biodiversidade e as diferenças na composição das comunidades de organismos em função das mudanças que ocorrerão nos diferentes ecossistemas. As tecnologias de restauração Plantio de árvores em linhas de recobrimento/diversidade e Nucleação buscam restituir o ecossistema estabelecendo uma alta diversidade de espécies e formas de vida. A macrofauna edáfica por ser sensível à modificação da cobertura vegetal, tem sido utilizada como bioindicadora em programas de monitoramento ambiental. O presente estudo objetivou comparar áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração ecológica em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da macrofauna edáfica (serapilheira-solo). Foram conduzidos os seguintes tratamentos: a) regeneração natural; b) plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade e c) nucleação. Uma área adjacente à área experimental, de mata conservada, foi incluída no estudo como referencial das condições do solo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis subamostras por parcela. Foram coletadas amostras de solo para extração da macrofauna, em junho e outubro de 2013, através do método TSBF, que se baseia na retirada de um monólito (25 x 25 x 20 cm) para análise. A macrofauna foi extraída manualmente e identificada em nível de classe/ordem taxonômica. No total, considerando as duas coletas realizadas, foram contabilizados 2259 organismos. Os grupos Coleoptera, Diplopoda, Diptera (larvas), Hymenoptera e Isoptera foram os mais frequentes nos ambientes avaliados. As mudanças ocorridas nas áreas submetidas às tecnologias, após três anos em processo de restauração, não permitiram distingui-las em termos de abundância e riqueza média de organismos da macrofauna edáfica. Na avaliação realizada em junho/2013, a Regeneração natural apresentou maior índice de diversidade de Shannon dentre as tecnologias avaliadas e similaridades na composição da comunidade da macrofauna edáfica com a área de mata nativa, o que conferiu a esta tecnologia maior grau de restauração em relação a essas variáveis. Na avaliação realizada em outubro/2013, três anos em processo de restauração, as tecnologias não se diferenciaram em relação à composição da comunidade da macrofauna edáfica e apresentaram similares com a área de mata nativa em relação a essa variável, o que indica que as tecnologias estão evoluindo na restauração em relação a essa variável. Diante dos dados obtidos em relação à macrofauna edáfica, em ambas as avaliações realizadas, recomenda-se a regeneração natural por ter o menor custo de implantação, seguida da nucleação e da tecnologia plantio em linhas.

Palavras-chave: Restauração ecológica. Qualidade do solo. Fauna do solo. Diversidade. Nucleação.

ABSTRACT

The monitoring of the edaphic macrofauna in restoration technologies is required to understand the evolution of biodiversity and the differences in the organisms communities composition in function of the changes that will occur in the different ecosystems. The tree plantations and nucleation technologies seek to restore the ecosystem by establishing a high diversity of species and life forms. The soil macrofauna by to be sensitive to vegetation modification is used as bioindicator in environmental monitoring programs. This study aimed to compare areas under different ecological restoration technologies in relation to abundance, richness, diversity and composition of edaphic macrofauna community (litter+soil). The treatments evaluated were: a) natural regeneration; b) high diversity tree plantations and c) nucleation. An area of secondary forest was included in the study as reference of soil conditions. The experimental design was in randomized block with four replications and six sub-samples per plot. Soil samples were collected for extraction of macrofauna in June and October 2013, via TSBF method, which is based on the removal of a monolith (25 x 25 x 20 cm) for analysis. The macrofauna was extracted manually and identified taxonomic class/order level. In total, considering the two evaluation realized, were accounted 2259 organisms. The groups Coleoptera, Diplopoda, Diptera (larvae), Hymenoptera and Isoptera were the most frequent in the evaluated environments. After three years in restoration process, the evaluated technologies did not differ in relation to the total abundance and average richness of organisms. In the evaluation conducted in June/2013, the natural regeneration presented higher Shannon diversity index among the evaluated technologies and similarities in the community composition of soil macrofauna with the area of native forest, which gave this technology a greater degree of restoration in relation the these variables. In the evaluation conducted in October / 2013, after three years in restoration process, the technologies did not differ in relation to the composition of the soil macrofauna community and presented similarities with the area of native forest in relation to this variable, which indicates that the technologies are evolving in the restoration in relation to community composition. Before the results obtained in relation to soil macrofauna, at both evaluations, we recommend the natural regeneration by have the lowest cost of deployment, followed by nucleation and technology tree planting.

Keywords: Ecological restoration. Soil quality. Soil fauna. Biodiversity. Nucleation.

5.1 INTRODUÇÃO

A restauração florestal tem por propósito restituir florestas com a capacidade de se autoperpetuar, ou seja, que sejam biologicamente viáveis e não dependam constantemente de intervenções antrópicas (BRANCALION et al., 2010, p.456). Com isso, intensificou-se a demanda por técnicas e estratégias inovadoras de restauração florestal, que envolvam conhecimentos multidisciplinares de base ecológica sólida (LEAL FILHO et al., 2013, p.588).

A tecnologia plantio de árvores em linha de recobrimento e diversidade preconiza a implantação de uma alta diversidade de espécies conjungando espécies pioneiras de rápido crescimento e boa cobertura (plantas de recobrimento) com espécies secundárias iniciais e tardias (plantas de diversidade). A inserção de diferentes grupos ecológicos de espécies foi uma mudança importante para o sucesso da restauração (RODRIGUES et al., 2009, p. 1244; RODRIGUES et al., 2011), envolvendo a complexidade dos processos sucessionais naturais. As técnicas nucleadoras têm por objetivo a criação de micro-habitats a fim de favorecer a instalação de diferentes formas de vida e a formação de uma rede de interações entre os organismos, sendo que quanto maior for a diversidade de núcleos, maior será a eficiência das técnicas (REIS et al., 2010; 2014).

Outra técnica utilizada para recuperação de áreas florestais é o isolamento da área a ser recuperada, a fim de permitir que a regeneração natural ocorra, no entanto, esse processo pode encontrar vários impedimentos, como a disponibilidade de sementes no solo ou raízes para colonização do local, solos pobres e compactados, competição com espécies invasoras, histórico negativo de uso do solo, distância de remanescentes de vegetação nativa, dentre outros (CURY; CARVALHO JR, 2011; FERREIRA et al., 2010; HOLL et al., 2000; HOLL; AIDE, 2011).

A fauna edáfica responde a mudanças no solo e por isso os diferentes ecossistemas influenciam a diversidade e a composição das comunidades (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015). Com isso, esse trabalho objetivou comparar áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração em relação à abundância, riqueza, diversidade e composição da comunidade da macrofauna edáfica (serapilheira+solo).

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Área Experimental

A área experimental está localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, Paraná/Brasil, cujas coordenadas geográficas são 25º41’40,47”S e 53º06’12,82” O, a uma altitude entre 495 - 504 m. O clima da região é definido como Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, com temperaturas médias nos meses mais quentes acima de 22ºC e temperaturas médias nos meses mais frios variando entre -3ºC a 18ºC (ALVARES et al., 2013, p. 713), ocorrendo em média uma geada a cada dois anos. As amostras para extração da macrofauna edáfica foram coletadas em dois períodos diferentes: junho/2013 e outubro/2013 nos quais a temperatura e pluviosidade média foram, respectivamente, 15,5 ºC e 58 mm e 20,4 ºC e 228 mm. O solo está classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico (BHERING et al., 2008) (Tabela 1) e o histórico de uso da área experimental, antes da instalação das tecnologias de restauração, é constituído por períodos intercalados entre pastagem e culturas anuais (milho/soja/trigo), sendo esses predominantes na região.

5.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Ver item 3.2.2.

5.2.3 Coleta e extração da macrofauna edáfica

A coleta de amostras (serapilheira-solo) para extração da macrofauna foi realizada em duas épocas diferentes: junho/2013 e outubro/2013. Como o objetivo do estudo foi comparar as tecnologias e não as épocas, os pontos amostrais nas parcelas experimentais não

foram os mesmos nas diferentes épocas de coleta. Em cada parcela foram retiradas seis subamostras, sendo duas retiradas na região superior, duas na região mediana e duas na região inferior da parcela. No tratamento plantio de árvores em linha cada ponto amostral ficou localizado entre quatro espécies diferentes e no tratamento nucleação ficou alocado entre duas técnicas. A localização dos pontos amostrais na parcela em cada tratamento está ilustrada nos Apêndices F, G e H.

Uma área de mata adjacente à área experimental foi incluída no estudo como referencial das condições do solo. Foi utilizado para coleta da macrofauna o método recomendado pelo programa "Tropical Soil Biology and Fertility" (TSBF) descrito por Anderson e Ingram (1993). Em cada ponto amostral foi coletado um monólito de solo de 25 x 25 cm de lado e 20 cm de profundidade, com auxílio de marcador constituído de chapas de ferro galvanizadas. Os sacos plásticos com as amostras foram armazenados em refrigerador até o término da triagem (Apêndice J). Os organismos visíveis a olho nu foram separados manualmente da serapilheira e do solo, e identificados em nível de classe/ordem taxonômica, com auxílio de lupa de 40 aumentos. Após a triagem, foram colocados em frascos etiquetados e com álcool etílico a 75%.

Após a extração da macrofauna da serapilheira, foi determinada a porcentagem de massa seca (MS). Para determinação da MS, a serapilheira foi acondicionada em sacos de papel para posterior secagem em estufa de circulação de ar forçada (65º C) por 48 horas. Em todas as amostragens, em cada ponto amostral, foi coletado solo para determinação da umidade (%). Estas amostras foram coletadas em latas de alumínio numeradas, com tampa justa, as quais foram seladas com fita adesiva para se evitar perdas de água por evaporação. No laboratório as amostras foram pesadas para obter a massa do solo úmido (gramas) e em seguida foram colocadas na estufa a 105º C até atingir o peso constante. Posteriormente, foram retiradas da estufa e devidamente pesadas em balança de precisão. A umidade (%) foi calculada através da expressão: U%= 100 (massa da amostra úmida – massa da amostra seca)/massa da amostra úmida (EMBRAPA, 1997, p.7).

5.2.4 Dados obtidos e análise estatística

Ver item 3.2.4.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram identificados 22 grupos taxonômicos: Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Diplopoda, Diplura, Diptera (larvas), Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera (larvas), Mantodea, Neuroptera, Opilionida, Orthoptera, Pseudoscorpiones, Psocoptera, Symphyla e Oligochaeta. Nas duas avaliações realizadas, junho e outubro de 2013, os grupos mais frequentes foram Coleoptera, Diplopoda, Diptera (larvas), Hymenoptera e Isoptera (Figura 11A e 11B). Os grupos Diplura e Psocoptera ocorreram apenas na avaliação de junho e os grupos Mantodea, Neuroptera e Pseudoscorpiones foram registrados exclusivamente na coleta de outubro/2013.

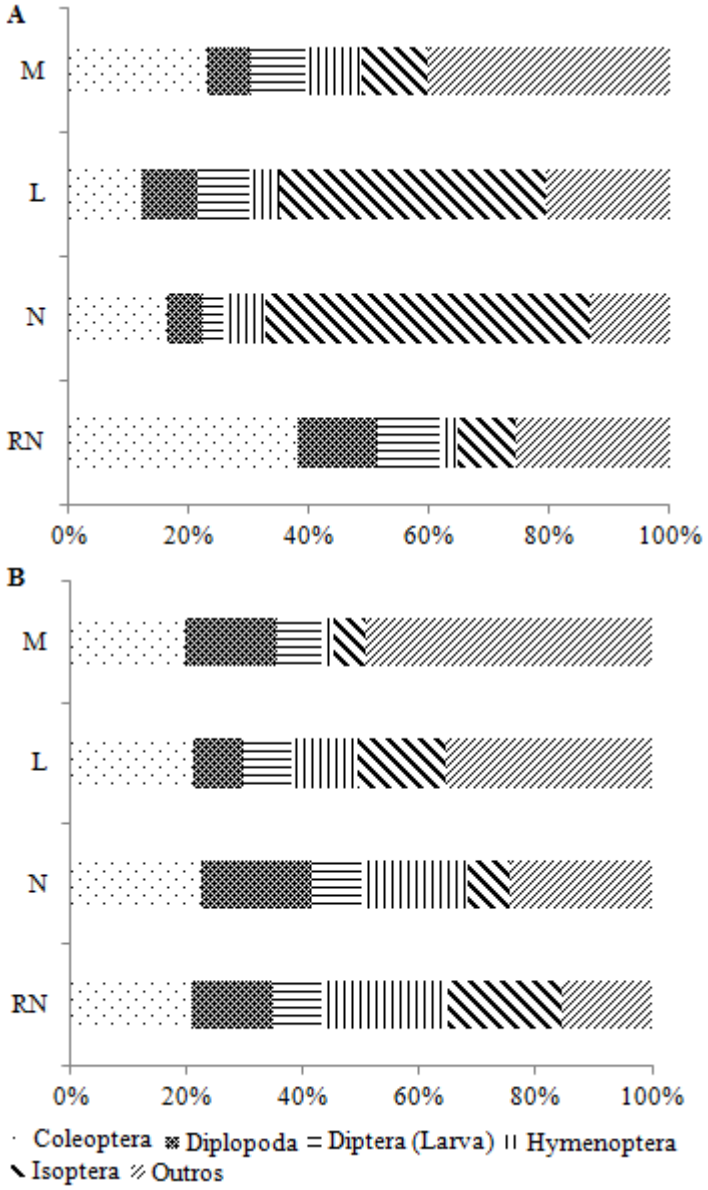


Figura 11 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: julho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes.

Em junho de 2013, foram contabilizados 1495 organismos, sendo que desse total 30,90% encontravam-se na regeneração natural, 26,88% na nucleação, 25,08% na mata secundária e 17,12% no plantio em linhas. Nessa avaliação foram identificados 19 grupos taxonômicos, sendo 17 na área de mata secundária, 16 na regeneração natural, 15 na nucleação e 14 no plantio em linhas. Os grupos Diplura e Psocoptera ocorreram exclusivamente na tecnologia regeneração natural e os Opiliones e Symphyla na área de mata secundária. Esses grupos taxonômicos são formados por organismos herbívoros, fungívoros, saprófagos ou ainda, no caso dos Diplura, Symphyla e Opiliones por predadores

(CAMACHO, 2009; RAFAEL et al., 2012; RESENDE; PINTO-DA-ROCHA; BRAGAGNOLO, 2012). Para Pereira et al. (2013, p.1322) um fragmento florestal deve oferecer diversidade de micro-habitats, com condições microclimáticas e tróficas, a fim de favorecer a diversificação da comunidade de organismos do solo.

Considerando a abundância total e a riqueza média de organismos, não houve diferença estatística entre os tratamentos, no entanto, a regeneração natural apresentou a maior abundância média dos grupos Coleoptera e Diptera (larvas) (Tabela 5), bem como a maior frequência de organismos dos grupos Diplopoda, Diplura, Hemiptera, Isopoda, Psocoptera e Oligochaeta. Na área de mata secundária houve a maior frequência de Araneae, Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Gastropoda, Hymenoptera, Opiliones, Orthoptera e Symphyla. As tecnologias nucleação e plantio em linhas tiveram a maior frequência de Isoptera e Lepidoptera (larva).

A maior frequência de determinados grupos na tecnologia regeneração natural e na mata secundária pode ter sido favorecida pelo maior teor de umidade no solo e maior quantidade de material vegetal sobre o solo. A mata apresentou maiores valores para essas variáveis em relação às tecnologias avaliadas, não se diferenciando dessas quanto à temperatura do solo (Tabela 5). Dentre as tecnologias de restauração, a regeneração natural apresentou maior teor de umidade no solo quando comparada com a tecnologia plantio em linhas, não se diferenciando da nucleação, e também apresentou maior quantidade de material vegetal sobre o solo em relação às demais tecnologias (Tabela 5). O fato da tecnologia regeneração natural não ter sofrido intervenções antrópicas, com exceção do controle de formigas, favoreceu o desenvolvimento vegetal e consequentemente o maior teor de umidade. Estudos apontam a influência da disponibilidade de alimento (LAOSSI et al., 2008; SILESHI; MAFONGOYA, 2007) e da umidade (COLLISON; RIUTTA; SLADE, 2013; LAVELLE; SPAIN, 2001; STALEY, et al., 2007) sobre a comunidade da macrofauna edáfica.

Tabela 5 – Abundância média por grupo taxonômico da macrofauna edáfica, abundância média total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de uniformidade de Pielou (J'), umidade e temperatura do solo e massa seca vegetal sobre o solo nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em junho/2013 e outubro/2013.

	Macrofauna edáfica (serapilheira+solo) Junho/2013			
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Coleoptera	44,00a*	16,50b	7,75b	21,50
Diplopoda[2]	15,25[ns]	6,00	6,00	7,00
Diptera (Larva)	12,00a	3,25b	5,50b	8,50
Hymenoptera	3,25[ns]	7,00	3,25	8,50
Isoptera[2]	11,25 [ns]	54,25	28,25	10,50
Riqueza média	13,00 [ns]	10,50	11,00	14,50
Abundância total[3]	115,50[ns]	100,50	64,00	93,75
Umidade do solo (%)	32,20a*	31,28ab*	28,82b*	41,30
Temperatura do solo (ºC)	15,80 [ns]	17,21	17,90	14,91
Massa Seca vegetal (gramas)	63,84a*	36,30b*	24,26b*	144,63
Riqueza total	16	15	14	17
H'	2,10	1,64	1,96	2,45
J'	0,76	0,61	0,74	0,86
	Macrofauna edáfica (serapilheira+solo) Outubro/2013			
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Coleoptera	14,50 [ns]	7,75	8,25	9,25
Diplopoda	9,75 [ns]	6,50	3,50	7,50
Diptera(Larva) [2]	6,00 [ns]	3,00	3,25	3,50
Hymenoptera[4]	15,00 [ns]	6,25	4,50	1,00
Isoptera[4]	91,25 [ns]	2,50	6,00	2,50
Riqueza	10,75 [ns]	8,75*	8,75*	12,75
Abundância total[2,3]	70,00 [ns]	34,50	39,50	47,00
Umidade do solo (%)	17,02[ns]	17,02	14,73	28,60
Temperatura do solo (ºC)	23,88[ns]	24,63*	26,10*	20,34
Massa Seca vegetal (gramas)	43,00[ns]	25,33*	25,08*	57,17
Riqueza total	17	15	15	18
H'	2,11	2,20	2,35	2,50
J'	0,74	0,81	0,87	0,87

[1]Dados transformados $\sqrt{x}$; [2]Dados transformados log(x); [3]Todos os grupos taxonômicos; [4]Dados transformados log (x+1); Médias nas linhas seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%, e seguidas de ns significa que as tecnologias não diferem estatisticamente e as seguidas de * diferem significativamente da mata pelo teste de Dunnett a 5%.

Na segunda avaliação, realizada em outubro de 2013, dos 764 organismos quantificados, 36.65% ocorreram na regeneração natural, 24.61% na mata secundária, 20.68% no plantio em linhas e 18.06% na nucleação. Foram identificados 18 grupos taxonômicos na mata secundária, 17 grupos taxonômicos na regeneração natural, 15 na nucleação e 15 na tecnologia plantio em linhas. Os Pseudoscorpiones foram observados exclusivamente na regeneração natural e os Neuroptera e Opiliones na Mata. As tecnologias tiveram frequência similar dos grupos Coleoptera e Diptera (larvas) (Figura 11B), e a regeneração natural teve maior frequência de Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera (larvas) e Pseudoscorpiones. Na nucleação houve maior frequência dos grupos Diplopoda, Diptera, Hemiptera e Orthoptera e na tecnologia plantio em linhas os grupos Araneae, Coleoptera, Gastropoda e Mantodea foram

mais frequentes. Na área de mata secundária ocorreu maior frequência de Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Neuroptera, Opilionida, Symphyla e Oligochaeta.

As tecnologias, como ocorreu na primeira avaliação, não diferiram em relação à abundância total de organismos e riqueza média de grupos taxonômicos, sendo que as tecnologias nucleação e plantio em linhas apresentaram menor riqueza média (8,75) em relação a mata secundária (12,75) e a regeneração não diferiu dessa (10,75). As tecnologias também não se diferenciaram em relação às variáveis: umidade do solo, temperatura do solo e MST, no entanto, a mata secundária apresentou menores valores para temperatura do solo e maior quantidade de material vegetal sobre o solo quando comparada as tecnologias nucleação e plantio em linhas, não se diferenciando da regeneração natural (Tabela 5).

Na avaliação de junho, o índice de diversidade de Shannon foi superior na mata secundária, seguida da regeneração natural e da tecnologia plantio em linhas (Tabela 5). Em relação ao índice de uniformidade a mata apresentou a maior uniformidade na distribuição dos organismos nos grupos, e as tecnologias regeneração natural e plantio em linhas apresentaram valores muito próximos, indicando que apresentaram uma distribuição de organismos nos grupos similar. A tecnologia nucleação apresentou os menores valores para ambos os índices. O grupo Isoptera contribuiu fortemente na variabilidade desses índices nas tecnologias nucleação e plantio em linhas, por apresentaram maior frequência desse grupo (N:53,98% e PL: 44,14%) e por consequência os menores índices de diversidade. O grupo Coleoptera teve maior frequência na regeneração natural (38,09%), seguida pela mata (22,93%), influenciando a variabilidade dos índices nesses tratamentos.

Em outubro/2013, o índice de diversidade de Shannon foi maior na mata, seguida da tecnologia plantio em linhas e da nucleação, e a regeneração apresentou o menor valor para essa variável, bem como para o índice de uniformidade (Tabela 5). Nessa coleta a regeneração natural apresentou a maior frequência dos grupos Hymenoptera (21,43%) e Isoptera (19,64%), o que acarretou menor uniformidade na distribuição dos organismos nos grupos.

Em termos de composição da macrofauna, na avaliação realizada em junho/2013, a ANOSIM (R= 0,32; p= 0,01) diferenciou a regeneração natural e a mata das demais tecnologias, não diferenciando a nucleação da tecnologia plantio em linhas. A ordenação dos dados pode ser visualizada na MDS (Figura 12A). Os principais grupos que contribuíram pela dissimilaridade entre a tecnologia regeneração natural e plantio em linhas (RnxL) foram Coleoptera, Oligochaeta, Hymenoptera e Diplopoda (Figura 13). Esses grupos, com exceção do grupo Hymenoptera, foram mais frequentes na regeneração natural.

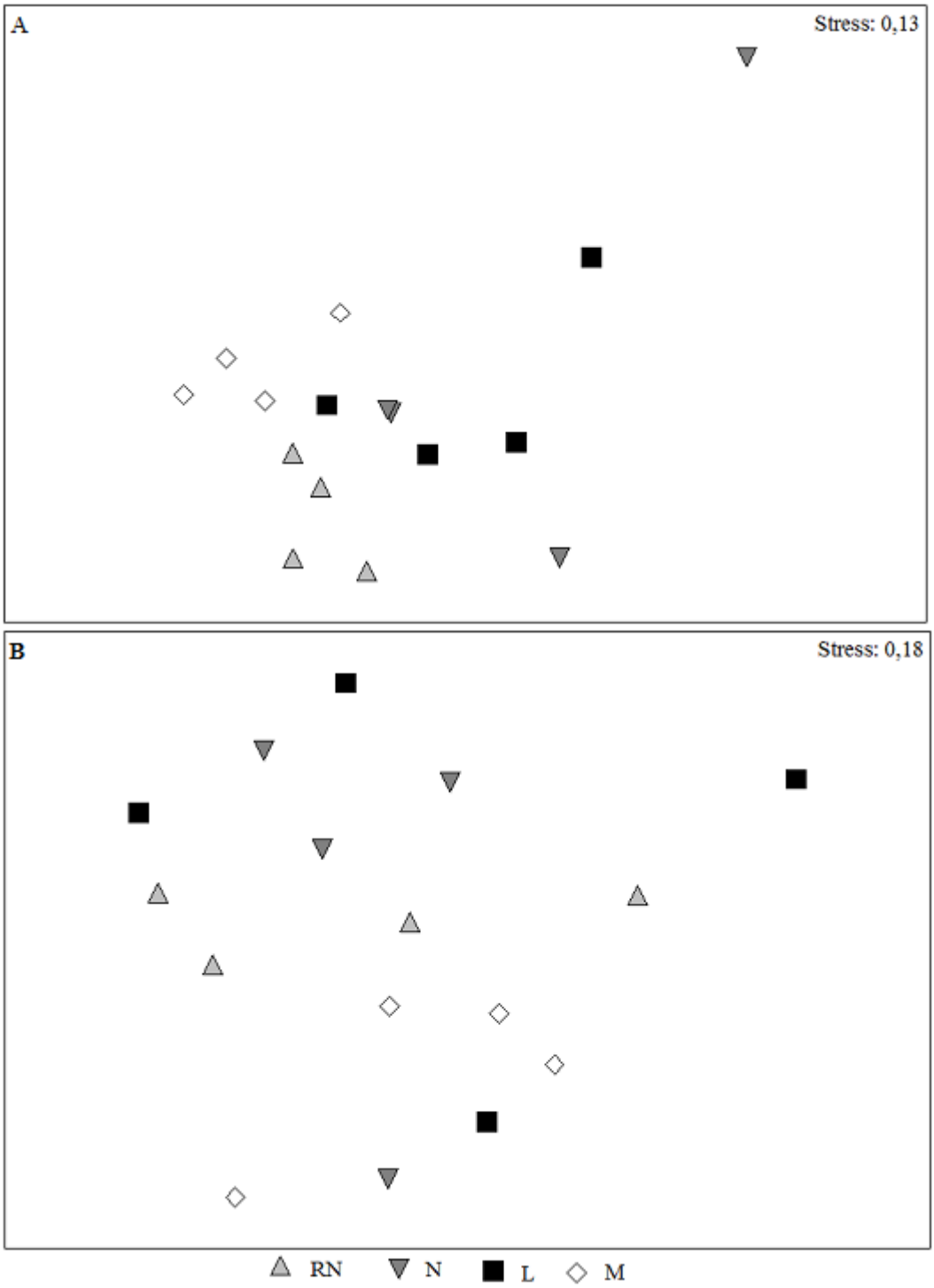


Figura 12 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.

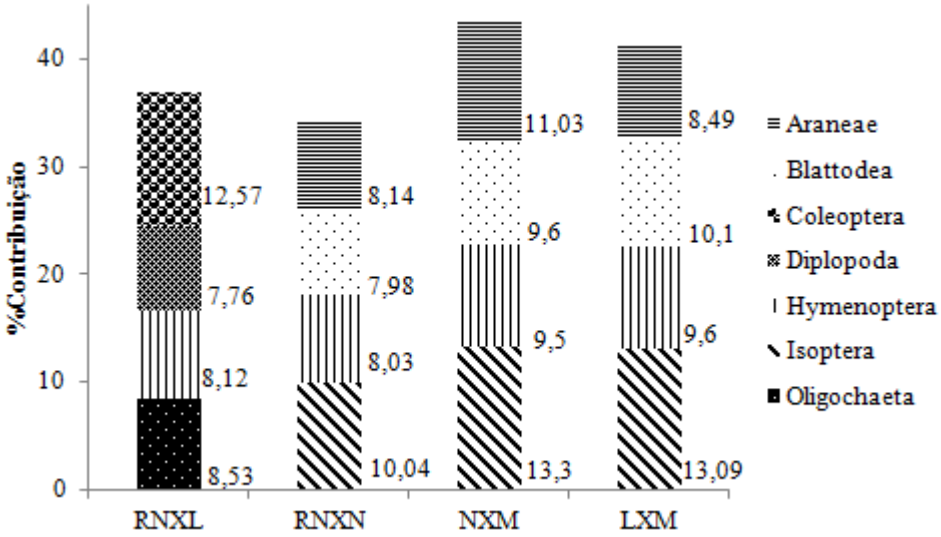


Figura 13 - Porcentagem de contribuição de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica (serapilheira+solo), calculada através da análise SIMPER, para diferenciação dos tratamentos avaliados em junho/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração natural *versus* Plantio em linhas (RNxL); Regeneração natural *versus* Nucleação (RNxN); Nucleação *versus* Mata (NxM); Plantio em linhas *versus* Mata (LxM). Dois vizinhos, PR. Obs: A regeneração natural e a mata não se diferenciaram pela análise de similaridade ANOSIM, portanto não foram submetidos a análise SIMPER.

Os grupos Isoptera, Araneae, Blattodea e Hymenoptera contribuíram pela dissimilaridade entre a regeneração natural e a nucleação (RNxN) e também pela diferenciação da nucleação e do plantio em linhas em relação à mata (NxM; LxM) (Figura 13). Os grupos Araneae e Blattodea foram mais frequentes na regeneração natural quando comparada com a nucleação, que por sua vez apresentou maiores frequências dos grupos Hymenoptera e Isoptera em relação à regeneração natural. A mata, quando comparada com as tecnologias nucleação e plantio em linhas, apresentou maiores frequências dos grupos Araneae, Blattodea e Hymenoptera. Em relação à coleta de outubro/2013 a ANOSIM (R= 0,018; p=0,37) não mostrou diferenças estatísticas na composição da macrofauna entre as tecnologias e entre as tecnologias e a mata (Figura 12B).

A ACP, na coleta de junho/2013, explicou 54,4% da variabilidade dos dados, dos quais 30,5% foi explicada pela CP1 e 23,9% pela CP2. Assim como a ANOSIM, a ACP separou a mata e a regeneração natural das demais tecnologias (Figura 14A), sendo que essas se apresentam associadas a maiores abundâncias dos diferentes grupos taxonômicos. A mata secundária e a regeneração natural também se apresentam associadas à umidade do solo e a massa seca vegetal por apresentarem maiores valores para essas variáveis, bem como menores valores para temperatura do solo.

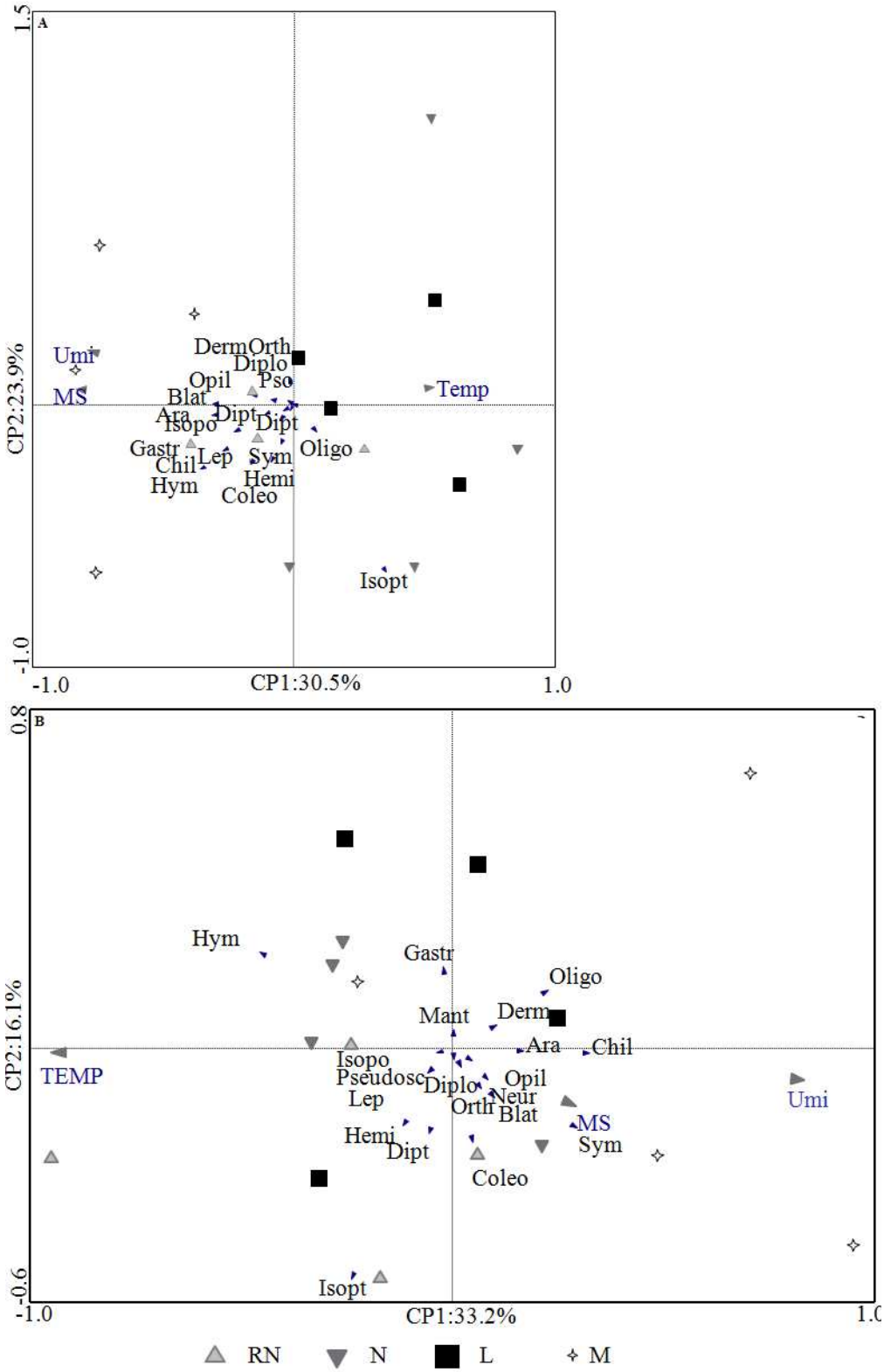


Figura 14 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras da macrofauna edáfica (serapilheira+solo) nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos, PR. Ara: Araneae, Blat: Blattodea, Chil: Chilopoda, Coleo: Coleoptera, Derm: Dermaptera, Diplo: Diplopoda, Diplu: Diplura, Dipt: Diptera (larvas), Gastr: Gastropoda, Hemi: Hemiptera, Hym: Hymenoptera, Isopo: Isopoda, Isopt: Isoptera, Lep: Lepidoptera (larvas), Mant: Mantodea, Neur: Neuroptera, Opil: Opilionida, Orth: Orthoptera, Pseudsc: Pseudoscorpiones, Pso: Psocoptera, Sym: Symphyla, Oligo: Oligochaeta, MS: massa seca vegetal ; umi: umidade (%) e temp: temperatura (ºC).

Estudos realizados na mesma área experimental dessa pesquisa, utilizando a mesma época e pontos amostrais, relatam que as tecnologias avaliadas não diferenciaram em relação aos teores de matéria orgânica na camada de 0-10 cm, no entanto, na camada de 10-20 cm a nucleação (37,7 $g.Kg^{-1}$) apresentou maior valor para essa variável em relação à tecnologia plantio em linhas (30,3 $g.Kg^{-1}$), não se diferenciando da regeneração natural (33,3 $g.Kg^{-1}$) (CANDIOTTO et al., 2014a). A regeneração natural apresentou maior relação C/N, na camada de 0-5 cm, quando comparada à tecnologia nucleação, não se diferenciando da tecnologia plantio em linhas. Nas demais camadas não houve diferenças entre as tecnologias em relação a essa variável (CANDIOTTO et al., 2014b). As tecnologias também não diferenciaram em relação ao pH do solo (PISKE et al., 2014).

Na coleta de outubro/2013 a CP1 explicou 33,2% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 16,1%, totalizando 49,3% de explicação por essas duas componentes. Nessa avaliação, assim como na ANOSIM, não houve separação entre as tecnologias e dessas da mata secundária. (Figura 14B). As tecnologias não se diferenciaram em relação à umidade do solo, temperatura do solo e massa seca vegetal, no entanto, as tecnologias nucleação e plantio em linhas apresentaram maiores valores de temperatura e menores quantidades de massa seca vegetal em relação à mata.

Em relação a essa época de coleta, Balin et al. (2015) relatam que o carbono orgânico total foi superior na regeneração natural, na camada de 0-10 cm, quando comparada com a tecnologia plantio em linhas, porém não houve diferenças entre as tecnologias para a camada de 10-20. Em relação às variáveis físicas do solo, Balin et al. (2014) mencionam que a porosidade total foi superior, na camada 0-5 cm, nas tecnologias nucleação e plantio em linhas quando comparadas com a regeneração natural e na camada de 5-20 cm houve diferenças apenas entre a regeneração natural e a nucleação. As tecnologias diferiram em relação à densidade do solo somente na camada de 5-10, na qual a nucleação apresentou menor valor quando comparada as demais tecnologias.

Essas variáveis físicas e químicas do solo devem ser monitoradas ao longo do tempo nas diferentes tecnologias de restauração, e devem ser correlacionadas, nos próximos estudos com a fauna edáfica, a fim de entender melhor os padrões de diversidade e composição das comunidades nas diferentes tecnologias de restauração e a evolução dessas em relação à área de mata secundária. Espera-se que ao longo do tempo as propriedades físicas e químicas do solo, nas áreas submetidas às diferentes tecnologias de restauração, sofram alterações mais

significativas e consequentemente poderá haver alterações na composição e na diversidade da comunidade edáfica.

5.4 CONCLUSÕES

- Os grupos Coleoptera, Diplopoda, Diptera (larvas), Hymenoptera e Isoptera foram os mais frequentes nos ambientes avaliados;
- As mudanças ocorridas nas áreas submetidas às tecnologias, após três anos em processo de restauração, não permitiram distingui-las em termos de abundância e riqueza média de organismos da macrofauna edáfica;
- Na avaliação realizada em junho/2013, a Regeneração natural apresentou maior índice de diversidade de Shannon dentre as tecnologias avaliadas e similaridades na composição da comunidade da macrofauna edáfica com a área de mata nativa, o que conferiu a esta tecnologia maior grau de restauração em relação a essas variáveis;
- Na avaliação realizada em outubro/2013, três anos em processo de restauração, as tecnologias não se diferenciaram em relação à composição da comunidade da macrofauna edáfica e apresentaram similares com a área de mata nativa em relação a essa variável, o que indica que as tecnologias estão evoluindo na restauração em relação a essa variável.
- Diante dos dados obtidos em relação à macrofauna edáfica, em ambas as avaliações realizadas, recomenda-se a regeneração natural por ter o menor custo de implantação, seguida da nucleação e da tecnologia plantio em linhas.

6 MACROFAUNA DA SERAPILHEIRA SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar a abundância, riqueza, diversidade e a composição da macrofauna presente na serapilheira em áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal. Foram conduzidos os seguintes tratamentos: a) regeneração natural; b) plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade e c) nucleação. Uma área de mata secundária, adjacente à área experimental, foi inclusa no estudo como referencial das condições de um ambiente em estágio mais avançado de recuperação. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis subamostras por parcela. Foram coletadas amostras de serapilheira para extração da macrofauna, em junho e outubro de 2013, através de um marcador de 25 x 25 cm de lado. A macrofauna foi extraída manualmente e identificada em nível de classe/ordem taxonômica. Considerando as duas coletas realizadas, foram contabilizados 359 organismos. Na primeira avaliação, em junho/2013, os grupos taxonômicos mais frequentes foram Coleoptera, Blattodea e Araneae e na avaliação de outubro/2013 os grupos Coleoptera, Hymenoptera, Araneae e Hemiptera foram os mais predominantes. Na avaliação de junho/2013, as tecnologias de restauração não se diferenciaram em relação à composição da comunidade da macrofauna da serapilheira, porém a regeneração natural apresentou maior riqueza de grupos taxonômicos e índice de diversidade de Shannon quando comparada com as demais tecnologias. Na avaliação de outubro/2013, após três anos em processo de restauração, as tecnologias não se diferenciaram em relação à composição da comunidade, riqueza média de grupos e abundância média de organismos. Diante dos resultados obtidos, em ambas as avaliações realizadas, em relação a macrofauna presente na serapilheira, recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia com menor custo de implantação, seguida da nucleação e do plantio em linhas.

Palavras-chave: Riqueza. Diversidade. Fauna da serapilheira. Nucleação. Regeneração natural.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize and compare the abundance, richness, diversity and composition of the macrofauna present in litter in areas under different technologies of forest restoration. The treatments evaluated were: a) passive restoration; b) high diversity tree plantations and c) nucleation. An area of secondary forest, adjacent to the experimental area, was included in the study as reference the conditions of an environment more advanced stage of recovery. The experimental design was in randomized block with four replications and six sub-samples per plot. Litter samples were collected for extraction of macrofauna in June and October 2013, using a marker of 25 x 25 cm. The macrofauna was extracted manually and identified taxonomic class/order level. Considering the two assessments conducted were accounted 359 organisms. In the first evaluation, in June/2013, the most frequent groups were Coleoptera, Araneae and Blattodea and in the evaluation October/2013 the groups Coleoptera, Hymenoptera, Araneae and Hemiptera were the most predominant. In the evaluation of June / 2013, the restoration technologies did not differ in relation to the composition of the litter macrofauna community, but natural regeneration showed greater wealth of taxonomic groups and Shannon diversity index when compared with other technologies. In collect October/2013, after three years in restoration process, technologies did not differ statistically in relation to community composition, mean richness and abundance of organisms. Based on the results obtained, in both assessments realized, in relation to macrofauna present in the litter, we recommended the technology natural regeneration by have lower cost of deployment, followed by nucleation and tree planting.

Keywords: Richness. Biodiversity. Litter fauna. Nucleation. Natural regeneration.

6.1 INTRODUÇÃO

A macrofauna invertebrada exerce papel importante na ciclagem de nutrientes e na estruturação do solo, pois realiza a fragmentação e redistribuição de materiais orgânicos e a mistura de partículas minerais com orgânicas (BARETTA et al., 2011, p.144). Os organismos epigeicos compreendem uma comunidade de artrópodes saprófagos e predadores, como os microartrópodes, miriápodes, isópodes e aracnídeos, algumas minhocas pigmentadas e outros grupos de invertebrados, como os gastrópodes (LAVELLE et al., 1992, p.163). A qualidade e a quantidade de alimento disponível sobre o solo, bem como a temperatura e a umidade, podem influenciar a abundância e a diversidade desses grupos de organismos (LAVELLE e SPAIN, 2001; MOÇO et al., 2010; GARCÍA-PALACIOS et al., 2013).

A diversidade biológica é alvo importante em programas de restauração ecológica de áreas florestais (BRANCALION et al., 2010, p.456), bem como a restituição de processos ecológicos (NAVE e RODRIGUES, 2007, p.2). Pesquisadores enfatizam que reconstruir ecossistemas artificialmente é um desafio para estimular processos de sucessão secundária, semelhantes aos processos naturais, a fim de formar comunidades biologicamente diversificadas e estáveis no tempo e no espaço (REIS; TRES; SCARIOT, 2007; REIS et al., 2003).

A tecnologia nucleação visa a formação de micro-habitats em núcleos, espalhados pela área a ser restaurada, utilizando componentes bióticos e abióticos (solo, micro e macrobiota), sendo que cada técnica nucleadora possui efeito funcionais e particularidades, que em conjunto, impulsionam a sucessão natural e a biodiversidade sobre o ambiente degradado (REIS et al., 2014). O conjunto de técnicas nucleadoras é formado pela transposição de solo, semeadura direta, poleiros artificiais, transposição de galharia, plantio de mudas em ilhas de alta diversidade e a coleta de sementes com manutenção da variabilidade genética (REIS et al., 2010; MARCUZZO et al., 2013; FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2013).

A tecnologia plantio de árvores em linha de recobrimento e diversidade prioriza recobrir rapidamente o solo, utilizando espécies de diferentes grupos sucessionais, a fim de tornar o ambiente mais atrativo a fauna e favorável ao desenvolvimento de outras espécies vegetais (CURY; CARVALHO JUNIOR, 2011, p.36). Nesse sistema são implantadas espécies pioneiras de rápido crescimento e boa cobertura (plantas de recobrimento) em

conjunto com espécies secundárias iniciais, tardias e climax (plantas de diversidade) (RODRIGUES et al., 2009, p.1245; RODRIGUES et al., 2011).

Outra forma de se recuperar uma área florestal é o isolamento do local para que se regenere naturalmente, sem que haja grandes intervenções antrópicas, no entanto, o sucesso desta técnica vai depender de vários fatores, dentre eles as condições físicas e químicas do solo, presença banco de sementes no solo, competição com gramíneas e/ou espécies exóticas, distância de fontes de propágulos, dentre outros (CURY; CARVALHO JR, 2011; CHAMI et al., 2011; HOLL et al.,2000; HOLL; AIDE, 2011; MARCUZZO et al., 2014). Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar a diversidade e a composição da macrofauna da serapilheira em áreas submetidas às seguintes tecnologias de restauração florestal: Regeneração natural, Nucleação e Plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Área Experimental

Ver item 5.2.1.

6.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Ver item 3.2.2.

6.2.4 Dados obtidos e análise estatística

Ver item 3.2.4.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram contabilizados 359 organismos distribuídos em 16 grupos taxonômicos: Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Diplopoda, Diptera (larva), Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera (larva), Opilionida, Orthoptera e Mantodea. Na primeira avaliação, realizada em junho de 2013, foram registrados 204 indivíduos, sendo 11 grupos taxonômicos na regeneração natural, 9 na nucleação, 8 no plantio em linhas e 14 na mata secundária. A tecnologia regeneração natural apresentou maior frequência dos grupos Blattodea, Hemiptera e Isopoda. Os grupos Coleoptera, Diplopoda e Isoptera foram mais frequentes na tecnologia nucleação e a tecnologia plantio em linhas teve a maior frequência dos grupos Araneae, Dermaptera, Gastropoda, Lepidoptera (larvas) e Orthoptera. Já a mata secundária teve a maior frequência de Chilopoda, Diptera (larvas), Hymenoptera e Opilionida (Figura 15A). Observou-se que o grupo Opilionida ocorreu exclusivamente na mata secundária e o grupo Isoptera na nucleação.

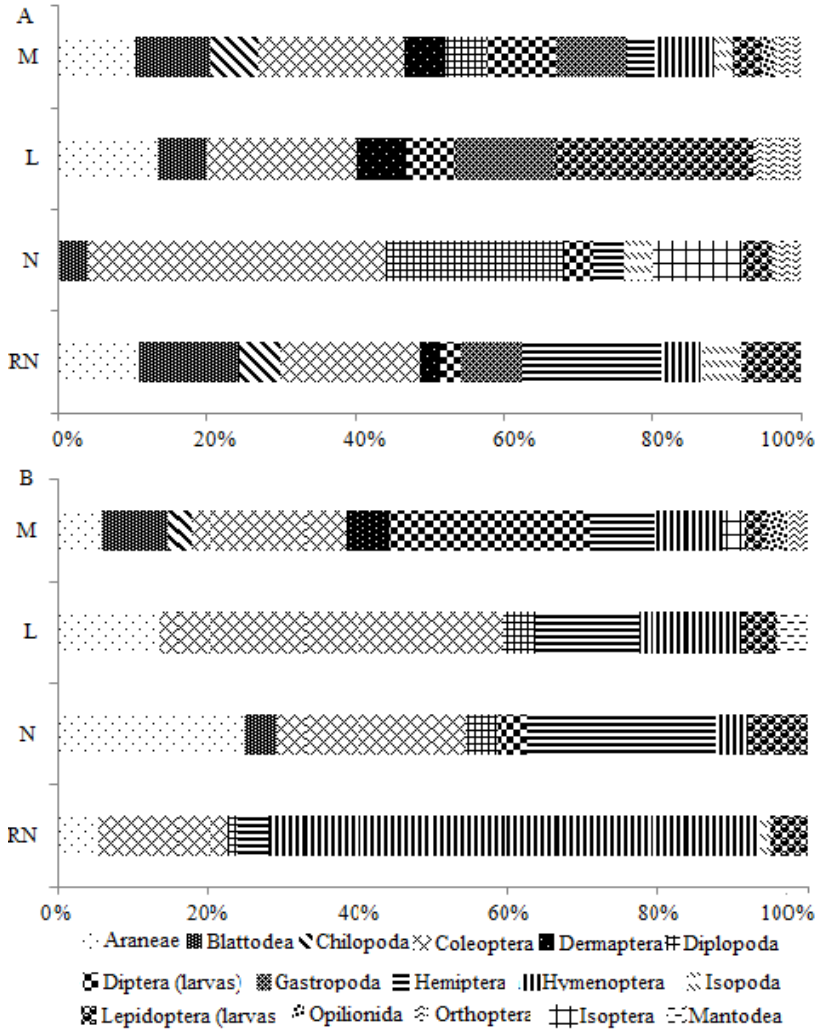


Figura 15 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna da serapilheira nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata (M) em A: junho/2013 e em B: outubro/2013. Dois vizinhos/PR. Obs: Outros: soma dos grupos menos frequentes.

Nesta primeira avaliação a riqueza média de grupos foi estatisticamente superior na regeneração natural (5,75) quando comparada com as demais tecnologias (N: 3,50 e L: 2,25) e a abundância média de organismos, da mesma forma, foi maior na regeneração natural (9,25) quando comparada com o plantio em linhas (3,75), não se diferenciando da nucleação (6,25). Em relação a essas variáveis a mata secundária apresentou maiores valores quando comparada com as tecnologias (Tabela 6). A regeneração natural apresentou maior teor de umidade no solo, quando comparada à tecnologia plantio em linhas, não se diferenciando da nucleação, e também apresentou maior quantidade de massa vegetal sobre o solo em relação às demais tecnologias (Tabela 6).

Tabela 6 – Riqueza média e total de grupos da macrofauna da serapilheira, abundância média total, índice de diversidade de Shannon (H'), índice de uniformidade de Pielou (J'), umidade do solo, temperatura do solo e massa seca vegetal sobre o solo nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em junho/2013 e outubro/2013. Dois Vizinhos/PR.

	Macrofauna Coletada em Junho/2013			
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Riqueza	5,75a*	3,50b*	2,25b*	11,25
Abundância total[1]	9,25a*	6,25ab*	3,75b*	31,75
Umidade do solo (%)	24,25a*	23,68ab*	22,33b*	28,54
Temperatura do solo (ºC)	15,80ns	17,21	17,90	14,91
Massa seca vegetal (gramas)	63,84a*	36,30b*	24,26b*	144,63
Riqueza total	11	9	8	14
H'	2,22	1,73	1,93	2,46
J'	0,92	0,79	0,93	0,93
	Macrofauna Coletada em Outubro/2013			
Grupos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata
Riqueza	4,25ns	4,25	3,00	5,75
Abundância total[1]	18,75ns	6,00	5,50	8,50
Umidade do solo (%)	13,73ns	13,60	12,19*	21,21
Temperatura do solo (ºC)	23,88ns	24,63*	26,10*	20,34
Massa seca vegetal (gramas)	43,00ns	25,33*	25,08*	57,17
Riqueza total	7	8	7	12
H'	1,14	1,78	1,59	2,17
J'	0,58	0,85	0,82	0,87

[1]Dados transformados log x; Médias nas linhas seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%, as seguidas de ns não houve diferenças estatísticas entre as tecnologias e as seguidas de * diferem significativamente da mata pelo teste de Dunnett a 5%.

Estudos mostram a influência da umidade (KARDOL et al., 2011; MORÓN-RÍOS et al., 2010; STALEY et al., 2007) e da quantidade de serapilheira na comunidade de invertebrados (LAOSSI et al., 2008; YANG; WARREN; ZOU, 2007). O maior teor de umidade e a maior disponibilidade de biomassa vegetal sobre o solo pode ter favorecido a maior riqueza total e média, bem como a maior abundância de organismos na serapilheira da tecnologia regeneração natural e o mesmo ocorreu com a mata que apresentou maior teor de umidade, quantidade de material vegetal sobre o solo, riqueza e abundância de organismos em relação às tecnologias avaliadas.

O índice de diversidade de Shannon, que considera a porcentagem de contribuição de cada grupo taxonômico na abundância total de organismos (MANHÃES et al., 2013), foi superior na mata secundária (2,46), seguida da regeneração natural (2,22) e da tecnologia plantio em linhas (1,93), e a tecnologia nucleação apresentou o menor valor (1,73). O índice de uniformidade de Pielou se refere ao padrão de distribuição dos organismos entre os grupos, sendo diretamente proporcional a diversidade e inversamente proporcional a dominância de grupos (HARADA et al., 2013; MARQUES et al., 2014). Essa variável apresentou menor valor na tecnologia nucleação (0,79) e os demais tratamentos apresentaram valores muito

próximos (M: 0,93; RN: 0,92; PL: 0,93), indicando que esses tiveram uma distribuição similar dos organismos, não havendo dominância de grupos.

Além da menor abundância relativa de organismos nos diferentes grupos, em comparação com as demais tecnologias, a tecnologia nucleação apresentou 40% dos organismos da serapilheira concentrada em um único grupo taxonômico, a ordem Coleoptera, ocasionando uma redução nos índices de diversidade e uniformidade. No entanto, a ordem Coleoptera é o maior grupo e mais diverso de organismos do reino animal, os quais podem ser fitófagos, saprófagos, micófagos, predadores ou até mesmo parasitas (RAFAEL et al., 2012), sendo considerado um bom indicador de qualidade ambiental (FAGUNDES et al., 2011; YANAHAN; TAYLOR, 2014). A caracterização desse grupo em grau taxonômico mais detalhado ampliaria a discussão em relação a diversidade de organismos na tecnologia nucleação.

Na segunda avaliação, em outubro/2013, foram registrados 155 organismos, sendo 7 grupos taxonômicos na regeneração natural, 8 na nucleação, 7 no plantio em linhas e 12 na mata secundária. A regeneração natural teve a maior frequência dos grupos Hymenoptera e Isopoda e a tecnologia nucleação apresentou a maior frequência dos grupos Araneae, Hemiptera e Lepidoptera (larva). Na tecnologia plantio em linhas houve a maior frequência dos grupos Coleoptera, Diplopoda e Mantodea e na mata secundária ocorreu a maior frequência dos grupos Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Diptera (larva), Isoptera, Opilionida e Orthoptera (Figura 15B). Nessa avaliação os grupos Chilopoda, Dermaptera, Isoptera, Opilionida e Orthoptera foram registrados exclusivamente na área de mata secundária.

Nessa avaliação os tratamentos não diferiram estatisticamente em relação à riqueza média de grupos e abundância média de organismos (Tabela 6). O índice de diversidade de Shannon foi superior na mata secundária (2,17), seguida da nucleação (1,78) e do plantio em linhas (1,59) e a regeneração natural apresentou o menor valor para essa variável (1,14). Em relação ao índice de uniformidade de Pielou a mata secundária, a nucleação e o plantio em linhas apresentaram valores próximos (M: 0,87; N: 0,85 e L: 0,82) e a regeneração natural apresentou o menor valor (0,58). A menor riqueza total de grupos taxonômicos, aliada a alta abundância relativa do grupo Hymenoptera (65,33%), favoreceram o menor valor desses índices na regeneração natural.

As tecnologias de restauração não se diferenciaram em relação às variáveis ambientais umidade do solo (%), temperatura do solo (ºC) e massa seca vegetal (gramas), no entanto, as tecnologias nucleação e plantio em linhas tiveram maiores temperaturas do solo e

menor quantidade de material vegetal sobre o solo em relação à mata, e a regeneração natural não se diferenciou dessa em relação a essas variáveis.

Em termos de composição da macrofauna da serapilheira, na avaliação realizada em junho/2013, a ANOSIM (R= 0,25; p= 0,01) diferenciou a regeneração natural e a nucleação da mata secundária, porém não mostrou diferenças entre a mata secundária e a tecnologia plantio de árvores em linha. A ANOSIM não apontou diferenças entre as tecnologias. Os principais grupos taxonômicos que contribuíram pela dissimilaridade entre regeneração natural e mata secundária (RNxM) foram Diptera (Larva; 11,15%), Coleoptera (9,78%) e Diplopoda (9,14%). E os grupos Gastropoda (11,04%), Diptera (Larva: 10,30%) e Araneae (8,96%) foram responsáveis pela dissimilaridade entre a nucleação e a mata secundária (NxM). Esses grupos tiverem menor abundância na regeneração natural e na nucleação quando comparadas com a mata secundária.

As semelhanças entre a tecnologia plantio em linhas e a mata estão nas maiores abundâncias relativas dos grupos Araneae, Dermaptera, Diptera e Gastropoda. Em relação à coleta de outubro/2013, a ANOSIM (R= 0,16; p=0,04) apontou diferenças estatísticas na composição da macrofauna apenas entre a regeneração natural e a mata secundária, não diferenciando as demais tecnologias da mata. A ANOSIM não mostrou diferenças entre as tecnologias. Os grupos taxonômicos Diptera (larva 22,53%), Hymenoptera (15,91%) e Hemiptera (9,41%) foram os que mais contribuíram para separação da regeneração natural da mata. Esses grupos, com exceção do grupo Hymenoptera que teve 65% de frequência na regeneração natural, foram mais abundantes na mata secundária. As semelhanças entre a mata secundária e as tecnologias nucleação e plantio em linhas foram as maiores abundâncias relativas dos grupos Araneae, Blattodea, Coleoptera e Hemiptera.

Na avaliação de junho/2013, a ACP explicou 66,9% da variabilidade total dos dados, sendo que a CP1 explicou 52,9% e a CP2 explicou 14% da variabilidade, separando a mata secundária das demais tecnologias (Figura 16A). As tecnologias de restauração não se distinguiram e a mata se apresenta associada a maior abundância total dos diferentes grupos taxonômicos registrados nesta coleta, com exceção do grupo Isoptera que foi identificado apenas na tecnologia nucleação. A mata secundária também se apresenta associada a maiores valores de umidade do solo (41,30%) e massa seca (144,63 g) e a menor valor de temperatura do solo (14,91ºC).

Na coleta de outubro/2013 a CP1 explicou 47,7% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 18,6%, totalizando 66,3% de explicação por essas duas componentes. Nessa

avaliação a mata também se separou das demais tecnologias, no entanto, as tecnologias não se diferenciaram (Figura 16B). A mata se apresentou associada aos grupos Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Diptera, Isoptera, Opilionida e Orthoptera que apresentaram maior abundância total nessa área, e ainda, associada a maiores valores de umidade do solo e massa vegetal seca e a menor temperatura média do solo (20,34ºC).

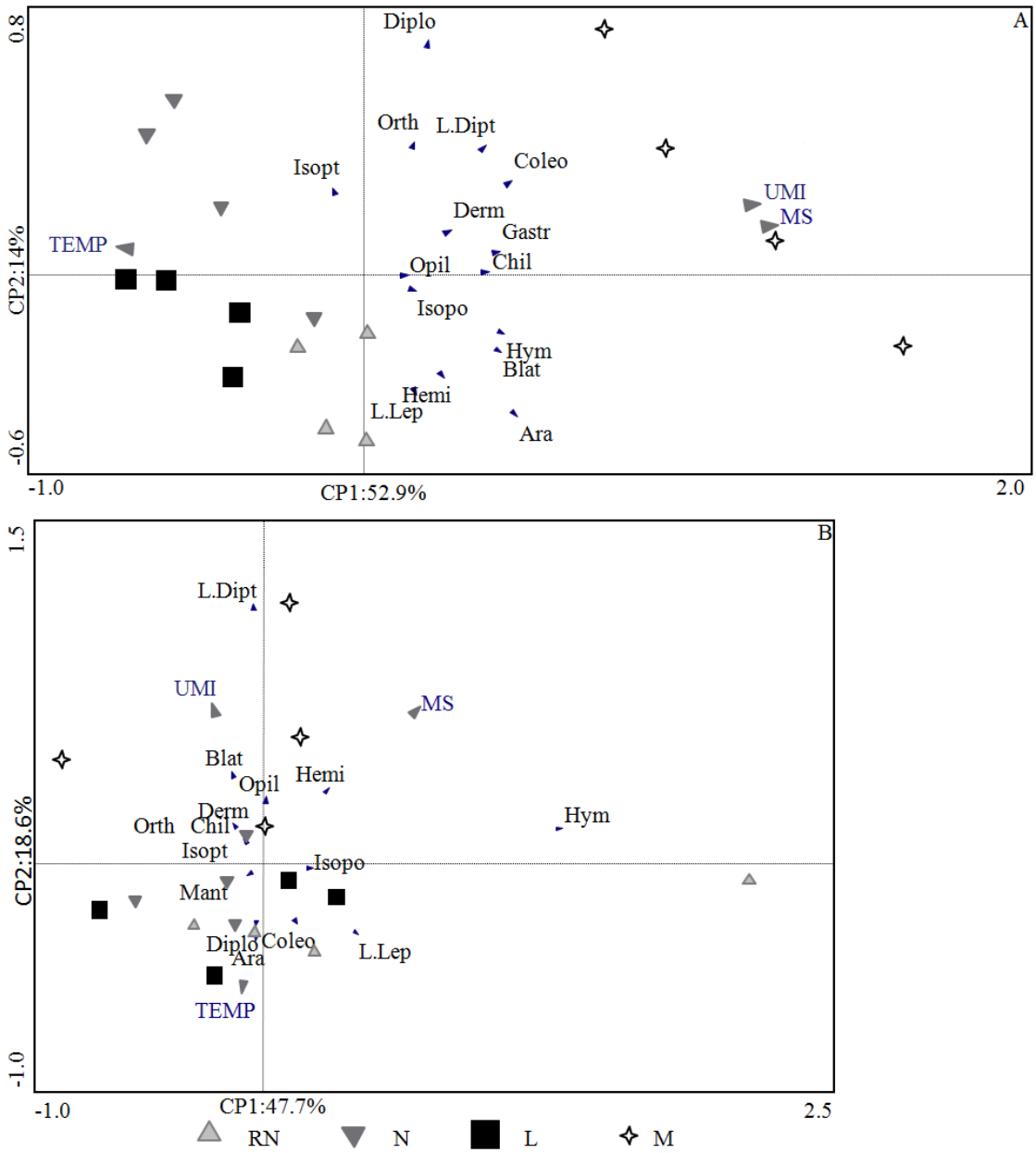


Figura 16 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de macrofauna da serapilheira coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em A: junho/2013 e B: outubro/2013. Dois vizinhos, PR. Ara: Araneae, Blat: Blattodea, Chil: Chilopoda, Coleo: Coleoptera, Derm: Dermaptera, Diplo: Diplopoda, L.Dipt: Diptera (larva), Gastr: Gastropoda, Hemi: Hemiptera, Hym: Hymenoptera, Isopo: Isopoda, Isopt: Isoptera, L.Lep: Lepidoptera (larva), Opil: Opilionida, Orth: Orthoptera, Mant: Mantodea, Temp: Temperatura do solo, Umi: Umidade do solo e MS: massa seca vegetal sobre o solo.

A composição de espécies vegetais da serapilheira pode influenciar a diversidade de organismos da macrofauna (WARDLE et al., 2006). Em estudo realizado por Szanser et al. (2011), verificaram que a maior riqueza de espécies na serapilheira favoreceu maior proporção de predadores na comunidade da macrofauna. A maior quantidade de material vegetal sobre o solo na área de mata secundária favoreceu o maior teor de umidade, bem como menores valores de temperatura no solo, e esse conjunto atrelado a outros fatores, como a diversidade de espécies florestais, favoreceu a maior riqueza e abundância de organismos nos diferentes grupos taxonômicos e consequentemente maior índice de diversidade em ambas as coletas realizadas.

Maior riqueza e abundância de organismos da macrofauna em área de mata quando comparada com outros sistemas de uso do solo também foram observados em outros estudos (AQUINO et al., 2008; MARQUES et al., 2014; SILVA et al., 2006).

6.4 CONCLUSÕES

- Na avaliação de junho/2013 os grupos taxonômicos mais frequentes foram Coleoptera, Blattodea e Araneae e na avaliação de outubro/2013 os grupos Coleoptera, Hymenoptera, Araneae e Hemiptera foram os mais frequentes;
- Na avaliação de junho/2013, as tecnologias de restauração não se diferenciaram em relação à composição da comunidade da macrofauna da serapilheira, porém a regeneração natural apresentou maior riqueza de grupos taxonômicos e índice de diversidade de Shannon quando comparada com as demais tecnologias;
- Na avaliação de outubro/2013, após três anos em processo de restauração, as tecnologias não se diferenciaram em relação à composição da comunidade, riqueza média de grupos e abundância média de organismos.
- Diante dos resultados obtidos, em ambas as avaliações realizadas, em relação a macrofauna presente na serapilheira, recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia com menor custo de implantação, seguida da nucleação e do plantio em linhas.

7 MORFOTIPOS DE COLÊMBOLOS (HEXAPODA: COLLEMBOLA) SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi caracterizar e comparar a abundância, riqueza, diversidade de morfotipos de colêmbolos em áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal aos três anos de idade. Foram conduzidos os seguintes tratamentos: a) regeneração natural; b) plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade e c) nucleação. Uma área adjacente de mata secundária foi incluída no estudo como referencial. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis subamostras por parcela. As amostras de solo foram coletadas em outubro/2013 com o auxílio de um cilindro de metal. Os colêmbolos foram extraídos utilizando Funis de Berlese-Tüllgren modificados e posteriormente classificados em morfotipos. Foram contabilizados 613 colêmbolos e a frequência de morfotipos epigeicos e eu-edáficos seguiu um gradiente de impacto antrópico, sendo que os colêmbolos epigeicos foram mais frequentes no Plantio em linhas, seguida da nucleação e da regeneração natural e os organismos eu-edáficos seguiram a ordem inversa (RN>N>L). A área de mata nativa secundária apresentou maior diversidade de morfotipos de colêmbolos e melhor distribuição desses organismos nos diferentes morfotipos identificados, se diferenciando das tecnologias de restauração em relação à composição da comunidade de colêmbolos. As tecnologias, após três anos em processo de restauração, não se diferenciaram em relação à abundância, riqueza e composição da comunidade de colêmbolos por diferentes morfotipos, e diante desses resultados recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação, seguida da nucleação e do plantio em linha.

Palavras-chave: Características morfológicas. Organismos epigeicos. Organismos eu-edáficos. Organismos semi-edáficos.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize and compare the abundance, richness, diversity of morphotypes of springtails in areas under different technologies of forest restoration. The treatments evaluated were: a) natural regeneration; b) high diversity tree plantations and c) nucleation. An area of secondary forest was included in the study as reference of soil conditions. The experimental design was in randomized block with four replications and six sub-samples per plot. The soil samples were collected in October/2013 with the aid of a metal cylinder. The springtails were extracted by modified Berlese-Tüllgren funnel and classified using morphotypes. In total were accounted 613 springtails and the frequency of morphotypes epigeicos and I-edaphic followed a human impact gradient, and the epigeicos springtails were more frequent in tree planting, followed by nucleation and natural regeneration and the I-edaphic organisms followed the order reverse (NR> N> L). The area of secondary native forest showed greater diversity of springtails morphotypes and better distribution of these organisms in different morphotypes identified, differentiating of the restoration technologies in relation the springtails community composition. The restoration technologies, after three years in restoration process, did not differ in relation to the abundance, richness and composition of Collembola community for different morphotypes. Based on these results, we recommended the natural regeneration technology by to have lower cost of deployment, followed by nucleation and tree planting.

Keywords: Morphological characteristics. Epigeicos organisms. Eu-edaphic organisms. Semi-edaphic organisms.

7.1 INTRODUÇÃO

A restauração de áreas de preservação permanente, reserva legal e de outras áreas protegidas, demanda por técnicas que garantam a obtenção de florestas biológica e ecologicamente viáveis. A diversidade biológica é considerada variável-chave para a formação de florestas viáveis e alvo importante das ações de restauração (BRANCALION, et al., 2010, p.456). As técnicas que não levam em conta os processos ecológicos geram florestas com baixa diversidade de espécies, formas de vida e capacidade de regeneração (REIS et al., 2014; ZAHAWI et al., 2013).

A tecnologia de restauração "plantio de árvores em linhas de recobrimento e diversidade" utiliza plantas de crescimento rápido e boa cobertura (plantas recobrimento) em conjunto com plantas de diversidade, as quais pertencem a diferentes grupos ecológicos (espécies secundárias e tardias), favorecendo o desenvolvimento de uma maior diversidade funcional na área (NAVE e RODRIGUES, 2007; RODRIGUES et al., 2009). A tecnologia nucleação consiste na instalação de pequenos núcleos de diversidade espalhados pela área a ser restaurada, utilizando elementos naturais disponíveis localmente, criando sítios de atratividade, como abrigo, alimentação e local de reprodução (BECHARA et al., 2007; REIS et al., 2010; LEAL FILHO et al., 2013). Dentre as técnicas nucleadoras estão a transposição de solo e chuva de sementes, semeadura direta, poleiros artificiais, transposição de galharia e o plantio de mudas em ilhas (REIS et al., 2007; REIS et al., 2010).

Outra técnica utilizada para recuperação de áreas florestais é o isolamento do local para que se recupere naturalmente, no entanto, esse processo pode encontrar vários impedimentos, como a disponibilidade de sementes no solo ou raízes para colonização do local, solos pobres e compactados, competição com espécies invasoras, histórico negativo de uso do solo, distância de remanescentes de vegetação nativa, dentre outros (FERREIRA et al., 2010; HOLL et al., 2000; HOLL; AIDE, 2011; VIANI; DURIGAN; MELO, 2010).

Com o objetivo de monitorar e avaliar diferentes ecossistemas, bioindicadores estão sendo adotados. Para Harrington et al. (2010, p.2783) um indicador tem características simples, mensuráveis e quantificáveis para responder à uma condição ambiental ou variação dessa, em função de mudanças nos processos ecológicos, bem como em elementos da biodiversidade do ecossistema. Os colêmbolos, organismos artrópodes, edáficos, de cerca de

2-0,4 mm, estão sendo enquadrados nessa função (BARETTA et al., 2008; CARVALHO, 2012; FIERA, 2009; REIS et al., 2014).

Novos métodos estão sendo propostos para avaliação da qualidade do solo, utilizando características eco-morfológicas de colêmbolos (CARVALHO, 2012; PARISI et al., 2001; PARISI et al., 2005). A utilização de características morfológicas, ligadas as funções dos organismos no ambiente, tem se mostrado uma ferramenta eficiente no monitoramento da biodiversidade, pois podem captar informações importantes não expressas em estudos puramente taxonômicos (VANDEWALLE et al., 2010).

Há uma grande carência de conhecimento científico sobre a restauração ecológica de florestas (BRANCALION et al., 2010, p.464), bem como da sua relação com a biodiversidade edáfica. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar e comparar a abundância, riqueza, diversidade de morfotipos de colêmbolos em áreas submetidas a diferentes tecnologias de restauração florestal.

7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

7.2.1 Área Experimental

A área experimental está localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, Paraná/Brasil, cujas coordenadas geográficas são 25º41’40,47”S e 53º06’12,82” O, a uma altitude entre 495 - 504 m. O clima da região é definido como Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, com temperaturas médias nos meses mais quentes acima de 22ºC e temperaturas médias nos meses mais frios variando entre -3ºC a 18ºC (ALVARES et al., 2013, p. 713), ocorrendo em média uma geada a cada dois anos. As amostras para extração dos colêmbolos foram coletadas em outubro de 2013, cuja temperatura e pluviosidade média foram respectivamente 20,4 ºC e 228 mm. O solo está classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico (BHERING et al., 2008) e histórico de uso da área experimental, antes da instalação das tecnologias de restauração, é constituído por períodos entre pastagem e culturas anuais (milho/soja/trigo), sendo esses predominantes na região.

7.2.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Ver item 3.2.2.

7.2.3 Coleta e extração dos Colêmbolos

A coleta de amostras (serapilhera-solo) para extração dos colêmbolos foi realizada em outubro/2013, quando a área tinha três anos de restauração. Em cada parcela foram retiradas seis subamostras, sendo duas retiradas na região superior, duas na região mediana e duas na região inferior da parcela. No tratamento plantio de árvores em linha cada ponto amostral ficou localizado entre quatro espécies diferentes e no tratamento nucleação ficou alocado entre duas técnicas. A localização dos pontos amostrais na parcela em cada tratamento está ilustrada nos Apêndices F, G e H.

Uma área de mata secundária adjacente à área experimental, foi inclusa no estudo como referencial. As amostras foram coletadas com auxílio de um cilindro de metal de 6 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram levadas para os funis de Berlese-Tüllgren modificados, com tela de malha de 2 mm e lâmpadas de 40 W (Apêndice I). As amostras permaneceram em processo de extração por sete dias e ao passarem pelo funil a mesofauna caiu em frascos com solução de formol a 4%. Os colêmbolos foram morfotipados com auxílio de lupa de aumento de 40 vezes e foram armazenados em frascos com álcool etílico 75%.

Em todas as amostragens, em cada ponto amostral, foi coletado solo para determinação da umidade (%) e medida a temperatura do solo (ºC). Estas amostras foram coletadas em latas de alumínio com tampa e no laboratório as amostras foram pesadas para obter a massa do solo úmido (gramas) e em seguida foram colocadas na estufa a 105 ºC até atingir o peso constante. Posteriormente, foram retiradas da estufa e devidamente pesadas em balança de precisão para obtenção da massa do solo seco. A umidade (%) foi calculada através da expressão: U%= 100 (massa da amostra úmida – massa da amostra seca)/massa da

amostra seca (EMBRAPA, 1997, p.7). A temperatura do solo no ponto amostral foi medida com termômetro digital tipo espeto.

7.2.4 Classificação dos colêmbolos em Morfotipos

Com auxílio de uma lupa com aumento de 40 vezes, os colêmbolos foram classificados em morfotipos de acordo com Carvalho (2012), metodologia adaptada de Parisi et al., (2005). Cada colêmbolo recebeu um valor de IEM (índice ecomorfológico), considerando uma combinação de cinco características morfológicas relacionadas com a sua adaptação ao solo (Apêndice K): presença/ausência de ocelos (0-presente; 4-ausente), o tamanho antenas (0-maior que o tamanho do corpo; 2-maior que a metade do tamanho do corpo; 4- menor que metade do tamanho do corpo), o desenvolvimento da furca (0-bem desenvolvida; 2-reduzida; 4-ausente), a presença/ausência de escamas e pêlos (0-presentes; 4-ausente), e pigmentação (0-presente com padrões; 2-presente sem padrões; 4-ausente).

Nessa metodologia os colêmbolos mais adaptados ao solo e com menor capacidade de dispersão (eu-edáficos) recebem uma pontuação mais elevada, enquanto aqueles mais adaptados a viver na superfície do solo e com maior capacidade de dispersão (epígeos) recebem uma pontuação mais baixa. O IEM foi formado pela soma das pontuações de cada característica, que pode variar de 0 (morfotipo 00000) a 20 (morfotipo 44444), e para cada combinação diferente de características foi atribuído um morfotipo (Apêndice L). Os colêmbolos com IEM entre 2 e 8 foram considerados epigeicos e identificados como Ep1, Ep2, etc. Os organismos com IEM entre 10 e 12 foram classificados como semi-edáficos (SemiEd1, SemiEd2, etc.) e os com EMI entre 14 e 20 foram considerados eu-edáficos (Ed1, Ed2, etc.)

7.2.5 Dados obtidos e análise estatística

Para a análise estatística dos dados, os organismos das seis subamostras por parcela experimental foram somados e posteriormente foi realizada a média das quatro repetições, e

obtido a abundância média e a riqueza média de morfotipos de colêmbolos. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Lilliefors e Kolmogorov-Smirnov e aos testes de homogeneidade de variância de Hartley, Cochran e Bartlett. Os dados que não atenderam os pressupostos matemáticos foram transformados e posteriormente submetidos à Análise de Variância (ANOVA). As médias das tecnologias de restauração foram comparadas entre si por meio do teste de Tukey (p=0,05), e cada tecnologia foi comparada com os dados obtidos na mata pelo teste de Dunnett. Estas análises foram realizadas através do programa estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

A abundância total dos principais morfotipos de colêmbolos foi transformada para frequência relativa, o que representa a contribuição de cada grupo de organismos dentro dos diferentes tratamentos. E baseado na riqueza total de morfotipos foram obtidos os índice de diversidade de Shannon (H) e índice de uniformidade de Pielou (J). O índice de diversidade de Shannon (SHANNON, 1948) foi obtido pela expressão $H = -\sum pilog_e pi$, onde: pi=ni/N, sendo ni= número de indivíduos da espécie i (classe ou ordem taxonômica), N= número total de indivíduos da amostra. A fórmula para cálculo do índice de uniformidade de Pielou (PIELOU, 1966) deriva do índice de Shannon: $J = H / \log R$, sendo R o número de grupos taxonômicos identificados. Esses índices foram gerados com o auxílio do programa Primer 5.2.6© (PRIMER-E LTD, 2001).

Através do programa estatístico CANOCO versão 4.5 e utilizando a abundância total de cada morfotipo de colêmbolos por parcela experimental, foi realizada uma Análise de Correspondência Destendenciada para obtenção do comprimento do gradiente e como esse foi menor que 3 (resposta linear) realizou-se a seguir uma Análise de Componentes Principais (ACP) (TER BRAAK; SMILAUER, 2002). Para essas análises os dados foram transformados por log (x+1) e utilizou-se os blocos experimentais como co-variável, a fim de excluir a influência desses sobre os dados.

Procedeu-se uma ordenação multidimensional não-métrica (MDS), utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis (dados transformados por log (x+1)), para verificar como as tecnologias de restauração ficaram ordenadas no espaço, e uma Análise de Similaridade, através do teste de permutação ANOSIM, para testar a significância das diferenças na composição da comunidade da fauna entre as tecnologias de restauração. Este teste gera uma estatística R que varia entre -1 e 1, sendo que os valores iguais a 1 são obtidos apenas quando todas as repetições dentro dos grupos são similares entre si do que qualquer repetição de grupos diferentes (MAISI; ZALMON, 2008, p.664).

Nos casos em que a ANOSIM detectou diferenças entre as comunidades foi realizada uma Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER) para quantificar a contribuição de cada grupo taxonômico na separação dos tratamentos avaliados. Na análise SIMPER, que leva em consideração a distância Bray Curtis para similaridade entre os tratamentos, as tecnologias foram comparados aos pares (RNxN; RNxL; RNxM; NxL; NxM e LxM). A MDS, ANOSIM e o SIMPER foram realizadas com o auxílio do programa Primer 5.2.6© (PRIMER-E LTD, 2001).

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram contabilizados 613 colêmbolos distribuídos em 16 morfotipos, dos quais 37,5% classificados como epigeicos (87 indivíduos), 25% identificados como semi-edáficos (168 indivíduos) e 37,5% como eu-edáficos (358 indivíduos). Segundo Parisi et al. (2001, p.2), os microartrópodes edáficos apresentam características morfológicas que mostram o seu nível de adaptação ao solo, dentre elas estão: redução ou perda de pigmentação e aparelho visual; corpo com apêndices reduzidos e mais compactos (cabelos, antenas, pernas); redução ou perda de adaptações para voar, saltar ou correr; redução da capacidade de retenção de água. De modo geral, Santos (2008, p.29) relata que os colêmbolos mais adaptados à superfície do solo se caracterizam por apresentarem furca bem desenvolvida, são pigmentados e apresentam aparelho visual evoluído. Os colêmbolos semi-edáficos apresentam furca pequena ou reduzida, aparelho visual não completamente desenvolvido e exibem coloração mais clara ou ausente, e no caso dos colêmbolos mais adaptados ao solo não dispõem de furca e aparelho visual e são completamente brancos (Santos, 2008, p.29).

A maior frequência de colêmbolos epigeicos ocorreu na tecnologia plantio em linhass (42,48%) e na nucleação (12,75%), sendo o morfotipo Ep4 o mais representativo. Nessas duas tecnologias houve o controle mecânico e químico de plantas espontâneas, sendo esses realizados 5 vezes desde 2010, quando foi implantado o experimento, até a data da coleta de colêmbolos. Esse controle era realizado em área total nas parcelas da tecnologia plantio em linhas e na tecnologia nucleação era realizado apenas nas faixas onde foram instaladas as técnicas nucleadoras. Com a realização desse procedimento, as plantas

espontâneas, que cresciam entre as espécies florestais implantadas, foram picadas e dessecadas, favorecendo a sua decomposição por bactérias, fungos e outros microrganismos.

Esse evento pode ter favorecido a abundância de colêmbolos epigeicos nessas tecnologias de restauração, pois além desses organismos serem decompositores (ENDLWEBER; RUESS; SCHEU, 2009; BROWN et al., 2015; PAUL, NONGMEITHEM; JHA, 2011), também apresentam como principais fontes de alimento, microrganismos e fungos associados à matéria orgânica do solo e folhiço (RAFAEL et al., 2012, p.205). Estudos comprovam interações entre as comunidades de colêmbolos e de fungos (A'BEAR; BODDY; JONES, 2013; A'BEAR; JONES; BODDY, 2014).

A frequência de morfotipos semi-edáficos foi semelhante nas tecnologias de restauração e a maior frequência desse grupo ocorreu na mata secundária. O morfotipo semied1 foi o mais frequente nas tecnologias de restauração e na mata secundária o semied1 e semied4 tiveram a maior frequência (Tabela 7). Em relação aos morfotipos Eu-edáficos, esses apresentaram maior frequência na regeneração natural (66,91%), seguida da nucleação (61,76%) e da mata (60,98%), sendo, portanto, a menor frequência desse grupo observada na tecnologia plantio em linhas (31,86%). Dentro desse grupo o morfotipo Ed6 foi o mais frequente na regeneração natural e na nucleação, já a mata apresentou maior uniformidade na distribuição dos organismos, apresentando frequências superiores a 13% em 4 morfotipos diferentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Frequência relativa de cada morfotipo de colêmbolo (%), abundância média total, riqueza média e total, índice de diversidade de Shannon (H') e índice de uniformidade de Pielou (J') nos tratamentos: regeneração natural, nucleação e plantio de árvores em Linha em outubro/2013. Dois Vizinhos/Paraná.

Morfotipos	Regeneração Natural	Nucleação	Plantio em linhas	Mata Secundária
Ep1	0,36	0,98	1,77	0,81
Ep2	1,09	0,98	0,88	0,00
Ep3	1,09	0,00	0,00	0,00
Ep4	3,27	9,80	39,82	4,07
Ep5	0,00	0,98	0,00	0,00
Ep6	1,45	0,00	0,00	0,00
Frequência Ep. Total	7,27	12,75	42,48	4,88
Semied1	14,55	13,73	14,16	11,38
Semied2	5,45	4,90	1,77	1,63
Semied3	0,36	0,98	0,00	0,00
Semied4	5,45	5,88	9,73	21,14
Frequência Semied. Total	25,82	25,49	25,66	34,15
Ed1	10,55	17,65	6,19	17,07
Ed2	0,36	0,98	1,77	13,01
Ed3	1,45	3,92	1,77	14,63
Ed4	4,36	5,88	9,73	1,63
Ed5	6,55	0,98	4,42	1,63
Ed6	43,64	32,35	7,96	13,01
Frequência Ed. Total	66,91	61,76	31,86	60,98
Umidade (%)	31.83a*	24.89b	23.83b*	27.95
Temperatura (ºC)	25,21^{ns}*	26,69*	25,94*	20,34
Abundância média[1]	68,75^{ns}	25,50	28,25	30,75
Riqueza média	9,50^{ns}	7,00	6,00	7,75
Riqueza total	15	14	12	11
H'	1,91	2,05	1,94	2,06
J'	0,70	0,78	0,78	0,85

[1]Dados transformados √x; Médias seguidas de ns não diferem estatisticamente. Ep: Epigeicos; Semied:Semi-edáficos; Ed: Edáficos

A regeneração natural apresentou maior teor de umidade no solo quando comparada as demais tecnologias e a mata secundária (Tabela 7), sendo que esses tratamentos não se diferenciaram entre si em relação a essa variável. E em relação à temperatura do solo, a mata apresentou menor valor quando comparada as tecnologias, e essas não se diferenciaram entre si (Tabela 7). A maior umidade do solo (%) na regeneração natural pode ter favorecido a maior frequência de colêmbolos eu-edáficos, principalmente do morfotipo Ed6, que dentre os morfotipos identificados é considerado o mais adaptado ao solo, por apresentar maior IEM, o qual está relacionado à ausência de ocelos, furca, pêlos/escamas e pigmentação.

Estudo realizado por Verhoef e Van Selm (1983) apontou que as espécies de colêmbolos podem apresentar distribuição e dinâmicas populacionais diferentes, em relação à umidade do solo. Assim como, menores temperaturas do solo, em períodos climáticos quentes, como ocorreram na mata secundária, conferem maior conforto térmico no ambiente para os organismos edáficos. Para Bedano, Cantú e Doucet (2006), melhores condições de

temperatura e umidade do solo, são fatores importantes para regulação da densidade de colêmbolos. A temperatura comanda a atividade metabólica dos organismos edáficos e, em conjunto com a umidade, determina a intensidade e a distribuição dos períodos de maior atividade (LAVELLE e SPAIN, 2001, p.340).

As tecnologias avaliadas, bem como a área de mata secundária, não se diferenciaram em relação à abundância e riqueza média de colêmbolos. O índice de diversidade de Shannon, que leva em consideração a riqueza e a abundância relativa, apresentou valores próximos nos diferentes tratamentos avaliados, sendo que a nucleação e a mata secundária apresentaram maiores valores (Tabela 7). E no caso do índice de uniformidade de Pielou, que é diretamente proporcional à diversidade e inversamente proporcional a dominância de grupos (HARADA et al., 2013), apresentou maior valor na mata, indicando que nesse ambiente houve melhor distribuição dos organismos nos diferentes morfotipos. Dentre as tecnologias, a regeneração natural apresentou o menor valor para essa variável, possivelmente, devido à dominância do morfotipo Ed6 no solo.

Em termos de composição da comunidade de colêmbolos, por diferentes morfotipos, a ANOSIM (R= 0,18; p= 0,03) diferenciou as tecnologias avaliadas da área de mata secundária, porém não apontou diferença estatística entre elas. A ordenação dos dados pode ser visualizada na MDS (Figura 17). Os morfotipos de colêmbolos que mais contribuíram pela dissimilaridade entre a tecnologia regeneração natural e a mata secundária (RNxM) foram Ed6, Ed2 e Ed5 (Figura 18), sendo que o morfotipo Ed2 foi mais abundante na mata. A dissimilaridade total entre a regeneração natural e a mata secundária foi de 48,55%.

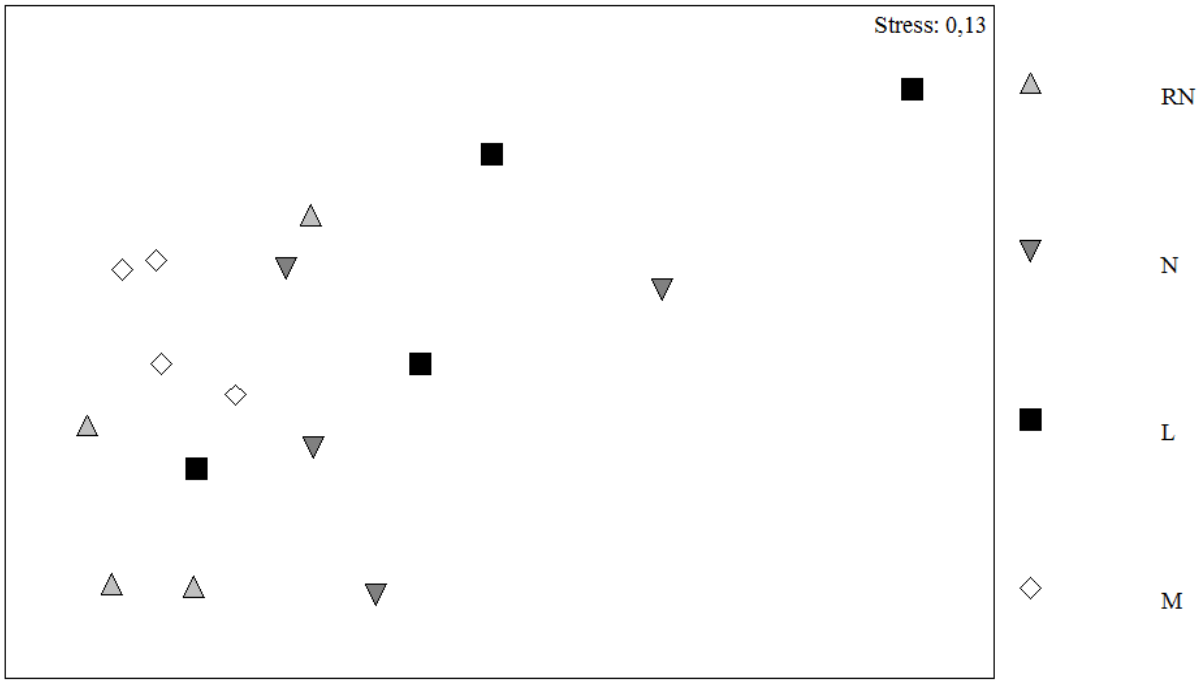


Figura 17 - Ordenação MDS, utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de composição da comunidade de morfotipos de colêmbolos edáficos nas quatro parcelas experimentais das tecnologias de restauração florestal: regeneração natural (RN), nucleação (N) e plantio de árvores em linha (L) e na Mata secundária (M) em outubro/2013. Dois Vizinhos – PR.

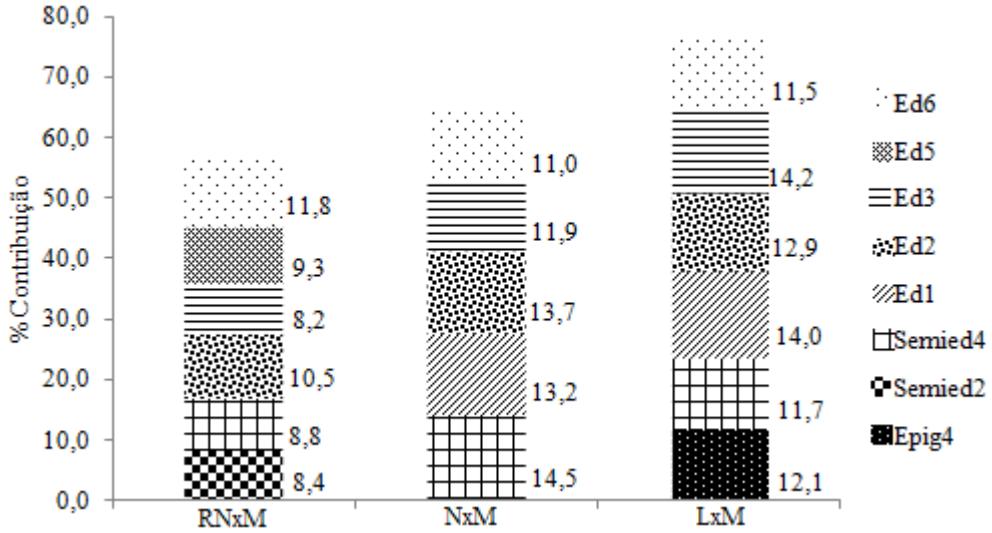


Figura 18 - Porcentagem de contribuição de morfotipos de colêmbolos edáficos, calculada através da análise SIMPER, para diferenciação das tecnologias de restauração da área de mata secundária em outubro/2013. Tratamentos comparados aos pares: Regeneração Natural *versus* Mata (RNxM); Nucleação *versus* Mata (NxM); plantio em linhas *versus* Mata (LxM); Dois vizinhos, PR.

Os morfotipos Semied4, Ed2 e Ed1 foram os que mais contribuíram para diferenciação da tecnologia nucleação da mata secundária (NxM), sendo esses mais abundantes na área de mata. A dissimilaridade total entre a nucleação e a mata secundária foi

de 50,91%. E os morfotipos Ed3, Ed1 e Ed2 foram os que mais contribuíram para diferenciação entre a tecnologia plantio em linhas da mata secundária (LxM), sendo que esses foram mais abundantes na mata (Figura 18). A dissimilaridade total entre a tecnologia plantio em linhas e a mata secundária foi de 57%.

A ACP, explicou através da CP1 40,3% da variabilidade dos dados e pela CP2 21,8%, e como ocorreu na ANOSIM, separou a área de mata secundária das demais tecnologias (Figura 19), no entanto, não houve separação entre as tecnologias de restauração. A variável temperatura do solo ficou disposta no lado oposto as amostras da mata devido esse ambiente apresentar os menores valores para essa variável.

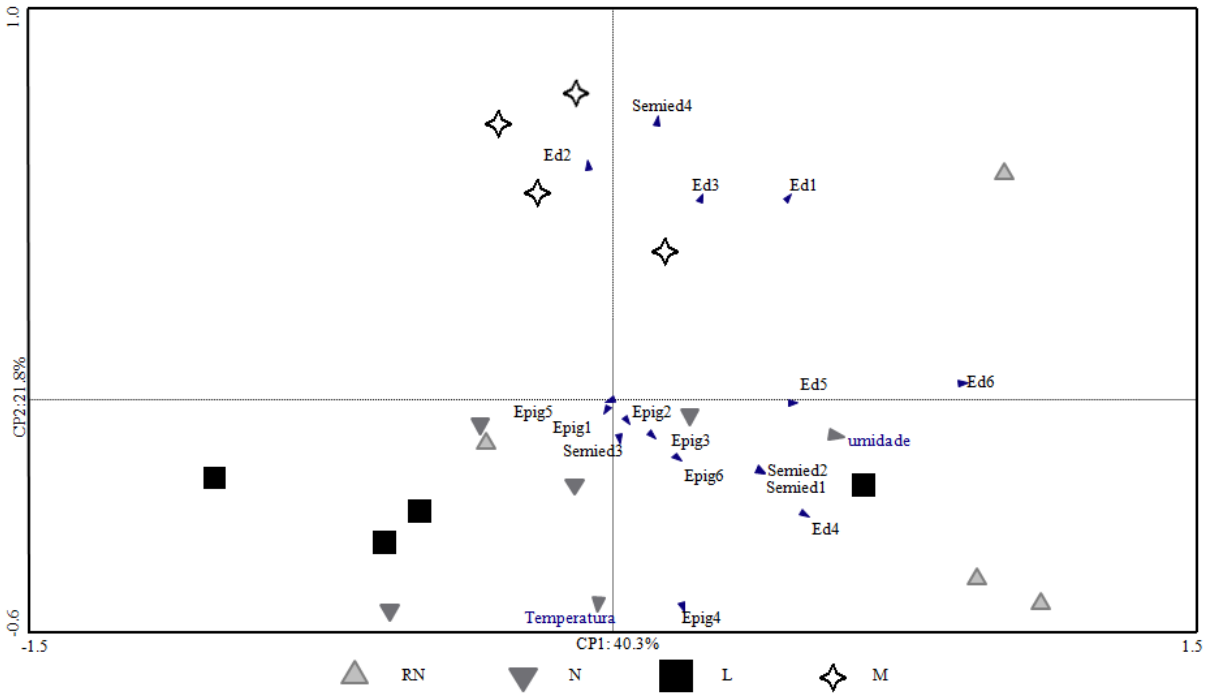


Figura 19 – Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de colêmbolos, classificados em morfotipos, coletadas nas tecnologias regeneração natural (RN), nucleação (N), plantio de árvores em linha (L) e na mata em outubro/2013. Dois vizinhos, PR.

A composição da comunidade de colêmbolos pode ser afetada pela intensificação do uso do solo (PONGE et al., 2003; SOUSA, et al. 2006), bem como por outros fatores, como o pH, pedoclima, aeração, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, riqueza de espécies e grupos funcional de plantas, tipo de húmus e estrutura física do solo (BARETTA et al., 2008; RAFAEL et al., 2012; SABAIS et al., 2011; SALMON et al., 2006; SALMON et al., 2014).

Estudos apontam maior diversidade e densidade de colêmbolos em áreas florestais nativas e sua relação com fatores físicos, químicos e microbiológicos do solo (PAUL; NONGMEAITHEM; JHA, 2011; BARETTA et al., 2008).

Estudos realizados na mesma área experimental desse estudo, utilizando a mesma época, pontos amostrais e profundidade do solo (0-5 cm), relatam que o carbono orgânico total foi superior na regeneração natural quando comparada com a tecnologia plantio em linhas (BALIN et al., 2015), que a regeneração natural apresentou maior relação C/N quando comparada com a nucleação (CANDIOTTO et al., 2014) e que não houve diferenças entre as tecnologias em relação a densidade do solo e ao pH SMP (BALIN et al., 2014; PISKE et al., 2014). Essas variáveis físicas e químicas do solo devem ser monitoradas ao longo do tempo nas diferentes tecnologias de restauração, e devem ser correlacionadas, nos próximos estudos com a fauna edáfica, a fim de entender melhor os padrões de diversidade e composição das comunidades nas diferentes tecnologias de restauração e a evolução dessas em relação à área de mata secundária.

Diferenças na composição da comunidade de colêmbolos entre as tecnologias de restauração e a área de mata secundária, possivelmente seja devido ao estágio mais avançado de regeneração, o que favorece um maior desenvolvimento e diversidade de plantas, acúmulo de material vegetal e matéria orgânica no solo, dentre outros fatores. Segundo SABAIS et al. (2011), a influência positiva da diversidade de plantas na comunidade de colêmbolos é provavelmente em decorrência do aumento de raízes e biomassa microbiana, bem como da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais que servem de recurso para alimentação desses organismos. Esses autores também verificaram, após quatro anos do estabelecimento da comunidade de plantas, relação da diversidade de plantas com grupos de colêmbolos epigeicos, semi-edáficos e eu-edáficos.

7.4 CONCLUSÕES

- A frequência de morfotipos epigeicos e eu-edáficos seguiu um gradiente de impacto antrópico, sendo que os colêmbolos epigeicos foram mais frequentes na tecnologia plantio em linhas, seguida da nucleação e da regeneração natural e os organismos eu-edáficos seguiram a ordem inversa (RN>N>L);

- As tecnologias, após três anos em processo de restauração, não se diferenciaram em relação à abundância, riqueza e composição da comunidade de colêmbolos por diferentes morfotipos, e diante desses resultados recomenda-se a regeneração natural por ser a tecnologia de menor custo de implantação, seguida da nucleação e do plantio em linha;

- A área de mata nativa secundária apresentou maior diversidade de morfotipos de colêmbolos e melhor distribuição desses organismos nos diferentes morfotipos identificados, se diferenciando das tecnologias de restauração em relação à composição da comunidade de colêmbolos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações que podem ser feitas a partir desse estudo são:

- Os pontos amostrais utilizados nas diferentes épocas de coleta, nas parcelas experimentais da tecnologia nucleação, não ficaram localizados nas técnicas nucleadoras e sim entre elas. Com isso, esse trabalho não conseguiu expressar a diversidade da fauna edáfica presente nessas técnicas e sim explorou a interação entre elas;

- A fauna edáfica foi identificada a nível de classe/ordem taxonômica, no entanto, a caracterização desses organismos em grau taxonômico mais detalhado ampliaria a discussão em termos de diversidade e composição da comunidade, principalmente em relação a comparação das tecnologias com a área de mata nativa. Devido a falta de profissionais especializados na identificação dos diferentes grupos taxônomicos, ou até mesmo pela falta de recurso financeiro, recomenda-se a utilização de técnicas de identificação de organismos baseadas na morfologia da espécie (morfoespécie) e/ou no seu hábito alimentar (predadores, saprófagos, etc);

- A fauna presente no solo e na serapilheira deve ser monitorada, ao longo do tempo, nas tecnologias de restauração, bem como variáveis físicas e químicas do solo, a fim de entender as possíveis mudanças na diversidade e composição da comunidade, e as interações entre essas diferentes variáveis.

REFERÊNCIAS

A'BEAR, A. D.; JONES, T. H.; BODDY, L. Potential impacts of climate change on interactions among saprotrophic cord-forming fungal mycelia and grazing soil invertebrates. **Fungal Ecology**, v.10, p.34-43, 2014.

A'BEAR, A.; BODDY, L.; JONES, T. H. Bottom-up determination of soil collembola diversity and population dynamics in response to interative climatic factors. **Oecologia**, v.173, p.1083-1087, 2013.

ACCATTOLI, C.; MARTÍNEZ, A. S. Oribátidos (Acari: Oribatida): indicadores de impacto antrópico en parques urbanos de la plata (Argentina). **Acta Zoológica Mexicana**, v.28, n.3, p.550-565, 2012.

ALBRECHT, M.; DUELLI, P.; SCHMID, B.; MULLER, C. B. Interaction diversity within quantified insect food webs in restored and adjacent intensively managed meadows. **Journal of Animal Ecology**, v.76, p.1015-1025, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ALVES, M. V.; SANTOS, J. C. P.; GOIS, D. T.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.589-598, 2008.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2 ed. Wallingford:CAB International, 1993, 171 p.

AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E.; GUIMARÃES, M. D.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v.44, p.191-197, 2008.

BALIN, N. M.; OLIVEIRA, J. P.; BECHARA, F. C.; CONCEIÇÃO, P. C. Atributos físicos de uma área degradada submetida a técnicas de restauração florestal. In: X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo: Fatos e Mitos em Ciência do Solo, Pelotas. **Anais...**Pelotas, 2014.

BALIN, N.; OLIVEIRA, J. P.; BECHARA, F.; CONCEIÇÃO, P. Estoque de carbono em áreas degradadas submetidas a modelos de restauração florestal. In: IV Reunião Paranaense de Ciência do Solo, Cascavel, PR. **Anais...**Cascavel, 2015.

BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, p.505-511, 2014.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria Angustifolia no Estado de São Paulo**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BARETTA, D.; FERREIRA, C. S.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. Colêmbolos (Hexapoda:Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com Araucaria Angustifolia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2693-2699, 2008.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.7, p.119-170, 2011.

BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; AMARANTE, C. V. T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 41, p. 1675-1679, 2006 a.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; BERTOL, I.; ALVES, M. V.; MANFOI, A. F.; BARETTA, CAROLINA R. D. M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.2, p. 108-117, 2006 b.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, Á. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.2, p.97-106, 2003.

BARROS, Y. J.; MELO, V. D.; SAUTTER, K. D.; BUSCHLE, B.; OLIVEIRA, E. B.; AZEVEDO, J. C.; SOUZA, L.C.P; KUMMER, L. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.34, p.1413-1426, 2010.

BARTZ, M. L.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAENS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, 2014.

BECHARA, F. C.; CAMPOS FILHO, E. M.; BARRETTO, k. D.; GABRIEL, V. D.; ANTUNES, A. Z.; REIS, A. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, p.9-11, 2007.

BECHARA, FERNANDO C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BEDANO, J. C.; CANTÚ, M. P.; DOUCET, M. E. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda:Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). **European Journal of Soil Biology**, v.42, p. 107-119, 2006.

BEDANO, J. C.; RUF, A. Soil predatory mite communities (Acari: Gamasina) in agroecosystems of central Argentina. **Applied Soil Ecology**, v.36, p.22-31, 2007.

BEISIEGEL, BEATRIZ M. Shelter availability and use by mammals and birds in an Atlantic forest area. **Biota Neotropical**, v.6, p. 1-16, 2006.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. **Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada**. 1.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Floresta: Embrapa Solos, 2008.

BOCCHESE, RICARDO A.; OLIVEIRA, ADEMIR K. M.; FAVERO, SILVIO; GARNÉS, SILVIO J. S.; LAURA, VALDEMIR A. Chuva de sementes e estabelecimento de plântulas a partir da utilização de árvores isoladas e poleiros artificiais por aves dispersoras de sementes, em área de Cerrado, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v.16, n.3, p.207-213, 2008.

BRANCALION, P. H.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P. Y.; NAVE, A. G.; GANDARA, F. B.; BARBOSA, L.M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.455-470, 2010.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm. Acesso em: 26 ago. 2014.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R.; FERREIRA, S. D.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, S.; MARTINEZ,G.A.; PASINI,A.; BARTZ, M.L.C.; SAUTTER, K.D.; THOMAZINI, M.J.; BARETTA, D.; SILVA,E.; ANTONIOLLI, Z.I.; DECAENS, T.; LAVELLE, P.M.; SOUSA, J.P.; CARVALHO, F. **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**. In: Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasilia, DF: Embrapa, p.122-154, 2015.

CAMACHO, M. D. **Phylogeny of the Symphyla (Myriapoda).** 149 f. Tese. Universidade de Freie Berlim, 2009.

CANDIOTTO, G.; CONCEIÇÃO, P. C.; BECHARA, F. C.; OLIVEIRA, J. P.; PISKE, D. R. Matéria orgânica do solo de área degradada em processo de recuperação no sudoeste do Paraná. In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Medianeira, Paraná, **Anais...**Medianeira: UTFPR, 2014a.

CANDIOTTO, G.; CONCEIÇÃO, P. C.; BECHARA, F. C.; PISKE, D. R.; HEVERLE, C. T. Relação C/N em solos com diferentes técnicas de recuperação florestal no sudoeste do Paraná - Brasil. In: III Congresso Nacional de Ciências Agrárias, San Lorenzo, **Anais...**San Lorenzo, 2014b.

CARVALHO, F. C. **Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microartrópodes de solo usando uma abordagem funcional**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Coimbra, Portugal, 2012.

CHAMI, L. B.; ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J.; KIELSE, P.; LÚCIO, A. D. Mecanismos de regeneração natural em diferentes ambientes de remanescente de floresta ombrófila mista, São Francisco de Paula, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.2, p. 251-259, 2011.

COLLISON, E.; RIUTTA, T.; SLADE, E. Macrofauna assemblage composition and soil moisture interact to affect soil ecosystem functions. **Acta Oecologia**, v.47, p.30-36, 2013.

CORBIN, J. D.; HOLL, K. D. Applied nucleation as a forest restoration strategy. **Forest Ecology and Management**, p. 37-46, 2012.

CUNHA NETO, F. V.; CORREIA, M. E.; PEREIRA, H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. 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.

CURY, R. T.; CARVALHO JUNIOR, O. **Manual para restauração florestal: florestas de transição**. IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Belém, v.5, 2011, 78 p.

DAMASCENO, A. C. F. **Manual de Restauração de Matas Ciliares**. INGÁ – IICA, v.2, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DRESCHER, M. S.; ROVEDDER, A. P.; ANTONIOLLI, Z. I., ELTZ, F. L.; DRESCHER, G. L. Fauna epigeica em sistemas de produção de Nicotiana tabacum L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.35, p.1499-1507, 2011.

DURIGAN, G.; ENGEL, V. L.; TOREZAN, J. M.; MELO, A. C.; MARQUES, M. C.; 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**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.471-485, 2010.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**, 2.ed. rev e atual, Rio de Janeiro: EMBRAPA , 1997, 212 p.

ENDLWEBER, K.; RUESS, L.; SCHEU, S. Collembola switch diet in presence of plant roots thereby functioning as herbivores. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.1151-1154, 2009.

FAGUNDES, C.; DI MARE, R.; WINK, C.; MANFIO, D. Diversity of the families of Coleoptera captured with pitfall traps in five different environments in Santa Maria, RS; Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, p.1519-6984, 2011.

FERNANDES, M. M.; MAGALHÃES, L. M.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E.; BRITO, R. J.; MOURA, M. R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**, Curitiba, PR, v.41, n.3, p.533-540, 2011.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M.; FERREIRA, D. F. Regeneração natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da usina hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.4, p.651-660, 2010.

FIERA, C. Biodiversity of Collembola in urban soils and their use as bioindicators for pollution. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.8, p.868-873, 2009.

FILHO, N. L.; SANTOS, G. R.; FERREIRA, R. L. Comparando técnicas de nucleação utilizadas na restauração de áreas degradadas na Amazônia brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.587-597, 2013.

GARCÍA-PALACIOS, P.; MAESTRE, F. T.; KATTGE, J.; WALL, D. H. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. **Ecology Letters**, v.16, p.1045-1053, 2013.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J. Caracterização da fauna edáfica em plantios de Eucalyptus spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.3, p.337-344, jul.-set., 2013.

GONGALSKY, K. B.; PERSSON, T.; POKARZHEVSKII, A. D. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. **Applied soil ecology**, v.39, p.84-90, 2008.

HARADA, A. Y.; FARIAS, P. R.; LOPES, L. D.; SILVA, A. G.; BRANDÂO, A. D. Assessment of ant communities in secondary forest in the eastern Amazon. **Comunicata Scientiae**, v.4, n.2, p. 186-194, 2013.

HARRINGTON, R.; ANTON, C.; DAWSON, T. P.; BELLO, FRANCESCO; FELD, C. K.; HASLETT, J.R.; KLUVÁNKOVA-ORAVSKÁ, T.; KONTOGIANNI,A.; LAVOREL,S.; LUCK,G.W.; ROUNSEVELL,M.D.A.; SAMWAYS,M.J.; SETTELE,J.; SKOURTOS,M.; SPANGENBERG,J.H.; VANDEWALLE,M.; ZOBEL,M.; HARRISON,P.A. Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary. **Biodiversity & Conservation**, v.19, p.2773-2790, 2010.

HOLL, K. D.; LOIK, M. E.; LIN, E. H.; SAMUELS, I. A. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, v.8, n.4, p. 339-349, 2000.

HOLL, K.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management** 261, p. 1558-1563, 2011.

JONES, CLIVE G.; LAWTON, JOHN H.; SHACHAK, MOSHE. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v.69, p.373-386, 1994.

KARDOL, P.; REYNOLDS, W. N.; NORBY, R. J.; CLASSEN, A. T. Climate change effects on soil microarthropod abudance and community strusture. **Applied Soil Ecology**, v.47, p.37-44, 2011.

KIBBLEWHITE, M.G.; RITZ, K.; SWIFT, M.J. **Soil health in agricultural systems**. Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B, v. 363, p. 685-701, 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. Faunal Activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 93 -132, 1997.

LAVELLE, P; BIGNELL, D.E.; LEPAGE, M.; VOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, W.; DILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v.33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A. V.; MARTIN, S. **Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. Madison: Soil Science Society of America**, n. 29, p. 157-185, 1992.

LAVELLE, P.; DECAENS, 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, S. 3-15, 2006.

LAVELLE, P.; PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiologia**, v. 33, p. 283-291, 1989.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. **Soil ecology**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001, 678 p.

LEAL FILHO, N.; SANTOS, G. R.; FERREIRA, R. L. Comparando técnicas de nucleação utilizadas na restauração de áreas degradadas na Amazônia brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.587-597, 2013.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E.; DINIZ, A. R.; MENEZES, C. E. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do sul - RJ. **Ciência FLorestal**, Santa Maria, v.25, n.1, p.91-106, 2015.

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

MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; RORATO, D. G.; MACHADO, J. Comparação entre áreas em restauração e área de referência no Rio Grande do sul, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG,v.38, n.6, p.961-972, 2014.

MARCUZZO, S. B.; GANADE, G.; ARAÚJO, M. M.; MUNIZ, M. F. (2013). Comparação da eficácia de técnicas de nucleação para restauração de área degradada no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v.43, n.1, p.39-48, 2013.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1588-1597, 2014.

MASI, B. P.; ZALMON, I. R. Zonação de comunidade bêntica do entremarés em molhes sob diferente hidrodinamismo na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia,** v.25, n.4 , p. 662-673, 2008.

MENEZES, C. E.; CORREIA, M. E., PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. D.; COUTO, W. H.; ANJOS, L.H.C; OLIVEIRA, I.P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.33, p.1647-1656, 2009.

MINOR, M.; CIANCIOLO, J. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. **Applied Soil Ecology**, v.35, p.140-153, 2007.

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

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

MORAIS, J. W.; OLIVEIRA, V. D.; DAMBROS, C. D.; TAPIA-CORAL, S. C.; ACIOLI, A. N. Mesofauna do solo em diferentes sistemas de uso da terra no Alto Rio Solimões, AM. **Neotropical Entomology**, n.39, v.2, p.145-152, 2010.

MORENO, C. E.; GUEVARA, R.; SÁNCHEZ-ROJAS, G.; TÉLLEZ, D.; VERDÚ, J. R. Community level patterns in diverse systems: a case study of litter fauna in a Mexican pine-oak forest using higher taxa surrogates and re-sampling methods. **Acta Oecologica**, v.33, p.73-84, 2008.

MORÓN-RÍOS, A.; RODRÍGUEZ, M. Á.; PÉREZ-CAMACHO, L.; REBOLLO, S. Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil maroinvertebrates of a Mediterranean old-field. **European Journal of Soil Biology**, v.46, p.91-96, 2010.

NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R.. **Combination of species into filling and diversity groups as forest restoration methodology**. In: High Diversity Forest Restoration in Degraded Areas. New York: Nova Science Publishers, p.197-206, 2007.

NUNES, L. A.; SILVA, D. I.; ARAÚJO, A. S.; LEITE, L. F.; CORREIA, M. E. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no estado do Piauí. **Revista Ciência Agrárias**, v.43, n.1, p.30-37, 2012.

PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C. **Evaluation of soil quality and biodiversity in Italy: the biological quality of soil index (QBS) pproach, 2001**. Disponível em:http://www.researchgate.net/publication/228613216_Evaluation_of_soil_quality_and_biodiversity_in_Italy_The_biological_quality_of_soil_index_%28QBS%29_approach

PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C.; MOZZANICA, E. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. **Ecosystems and Environment**, v.105, p.323-333, 2005.

PAUL, D.; NONGMEITHEM, A.; JHA, L. Collembolan density and diversity in a forest and an agroecosystem. **Journal of Soil Science**, v.1, p.64-60, 2011.

PEREIRA, G. H.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H.; AMORIM, T. D.; MENEZES, C. E. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta atlântica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1317-1327, 2013.

PIELOU, E. The measurement of diversity in different types of biological collections. **Journal of Theoretical Biology**, n.13, p.131-144, 1966.

PISKE, D.; CANDIOTTO, G.; CONCEIÇÃO, P. C.; BECHARA, F. C.; OLIVEIRA, J. P. Acidez ativa e potencial do solo de uma área submetida a diferentes técnicas de restauração ecológica. In: XIX Seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR, Medianeira, Paraná, **Anais...**Medianeira: UTFPR, 2014.

PONGE, J. F.; GILLET, S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P.; LAVELLE, P. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. **Soil Biology Biochemistry**, n. 35, p. 813-826, 2003.

PRIMER-ELTD. **Primer 5 for Windows**, Version 5.2.6. Copyright©2001.

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A.; CARVALHO, C. J.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012, 810 p.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; ESPINDOLA, M.; VIEIRA, N. K.; SOUZA, L. L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação com base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, n.1, p.28-36, 2003.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R. Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola**, v.67, n.2, Piracicaba, p.244-250, 2010.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: Concepção Biocêntrica para a Restauração Ecológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.2, p.509-519, abr.- jun., 2014.

REIS, A.; TRES, D. R.; SCARIOT, E. C. Restauração na floresta ombrófila mista através da sucessão natural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.55, p.67-73, 2007.

REIS, ADEMIR; BECHARA, FERNANDO C.; ESPINDOLA, MARINA B.; VIEIRA, NEIDE K.; SOUZA, LEANDRO L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, n.1, p. 28-36; 85-92, 2003.

REIS, ADEMIR; BECHARA, FERNANDO C.; TRES, DEISY R. Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.2, p.244-250, 2010.

REIS, ADEMIR; TRES, DEISY R.; SCARIOT, ELIZIANE C. Restauração na Floresta Ombrófila Mista através da sucessão natural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.55, p. 67-73, 2007.

REIS, F. A. **Collembola diversity in Portuguese forest stands: deriving surrogates for species richness and evaluating the effects of forest type and grazing**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Coimbra, Portugal, 2014 .

RESENDE, L. P.; PINTO-DA-ROCHA, R.; BRAGAGNOLO, C. Diversity of harvestmen (Arachnida, Opiliones) in parque da onça parda, southeastern Brazil. Iheringia, **Série Zoologia**, Porto Alegre, n.102, v.1, p.99-105, 2012.

RIBAS, C. R.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R.; CAMPOS, R. B.; VALENTIM, C. L.; SCHOEREDER, J. H. Ants as indicators of the sucess of rehabilitation efforts in deposits of gold mining tailings. **Restoration Ecology**, v.20, n.6, p.712-720, 2012.

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**, 1605-1613, 2011.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the brazilian atlantic forest. **Biological Conservation**, p.1242-1251, 2009.

ROVEDDER, ANA P. M.; ELTZ, FLÁVIO L. F.; DRESCHER, MARTA S.; SCHENATO, RENATO B.; ANTONIOLLI, ZAIDA I. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, n. 39, p. 1061-1068, 2009.

SABAIS, A. C.; SCHEU, S.; EISENHAUER, N. Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. **Acta Oecologica**, p.195-202, 2011.

SALAMON, J.; ZAITSEV, A.; GARTNER, S.; WOLTERS, V. Soil macrofaunal response to forest conversion from pure coniferous stands into semi-natural montane forests. **Applied Soil Ecology**, v.40, p.491-498, 2008.

SALMON, S.; FRIZZERA, L.; CAMARET, S. Linking forest dynamics to richness and assemblage of soil zoological groups and to soil mineralization processes. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.1612-1623, 2008.

SALMON, S.; MANTEL, J.; FRIZZERA, L.; ZANELLA, A. Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental plases of Normay spruce on an acidic substrate. **Forest Ecology and Management**, v.237, p.47-56, 2006.

SALMON, S.; PONGE, J.; GACHET, S.; DEHARVENG, L.; LEFEBVRE, N.; DELABROSSE, F. Linking species, traits and habitat characteristics of Collembola at European scale. **Soil Biology & Biochemistry**, v.75, p.73-85, 2014.

SANTOS, MELINA M. G.; PILLAR, VALÉRIO D. Influência de Poleiros Naturais e Artificiais na Expansão da Floresta com Araucária sobre os Campos, em São Francisco de Paula, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 594-596, 2007.

SANTOS, P. S. **Utilização de Colêmbolos edáficos (Insecta: Collembola) como indicadores da qualidade do solo, com recurso a características funcionais**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Coimbra. Coimbra, 2008.

SHANNON, C. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v.27, p.379-423, July, 1948.

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

SILVA, LUCIANA G. **Uso e Monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasilia, 2008.

SILVA, R. F.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; SANTI, A. L.; STEFFEN, R. B. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.2, p.130-137, 2013.

SILVA, ROGÉRIO F.; AQUINO, ADRIANA M.; MERCANTE, FÁBIO M.; GUIMARÃES, MARIA F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 41, p. 697-704, 2006.

SIMPSON, E. H. **Measurement of diversity. Nature**, v. 163, 1949. 688 p.

SOUSA, J. P., BOLGER, T., GAMA, M. M., LUKKARI, T., PONGE, J.-F., SIMÓN, C., et al. (2006). Changes in Collembola richness and diversity along a gradient of land-use intensity: A pan European study. **Pedobiologia**, v.50, p.147-156, 2006.

SOUZA, FLAVIANA M.; BATISTA, JOÃO L. F. Restoration of seasonal semideciduous forest in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, n.196, p. 275-285, 2004.

STALEY, J. T., HODGSON, C. J., MORTIMER, S. R., MORECROFT, M. D., MASTERS, G. J., BROWN, V. K., TAYLOR, M.E. Effects of summer rainfall manipulations on the abundance and vertical distribution of herbivorous soil macro-invertebrates. **European Journal of Soil Biology**, v.43, p.189-198, 2007.

STATSOFT. **Statistica** (data analysis software system). Version 7, 2004.

SWIFT, M.J.; BIGNELL, D.; MOREIRA, F.M.S; HUISING, J. **O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais.** In: MOREIRA, F.M.S.; HUISING, J.; BIGNELL, D.E. Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. 1 ed. Lavras: UFLA, v. 1. 368 p, 2010.

SWIFT, MICHAEL J.; HEAL, OLIVER W. ; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford, Blackwell, 1979. 372p.

SZANSER, M.; ILIEVA-MAKULEC, K.; KAJAK, A.; GÓRSKA, E.; KUSINSKA, A.; KISIEL, M.; OLEJNICZAK, I.; RUSSEL, S.; SIEMINIAK, D.; WOJEWODA, D. Impact of litter species diversity on decomposition processes and communities of soil organisms. **Soil Biology & Biochemistry**, p.9-19, 2011.

TER BRAAK, C. J.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Cabici for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5).** New York: Microcomputer Power, 2002. 500 p.

TOMAZI, ALINE L.; ZIMMERMANN, CARLOS E.; LAPS, RUDI R. Poleiros artificiais como modelo de nucleação para restauração de ambientes ciliares: caracterização da chuva de sementes e regeneração natural. **Biotemas**, n. 23, v.3, p. 125-135, 2010.

TRES, DEISY R. **Tendências da restauração ecológica baseada na nucleação**. In: MARIATH, JORGE E. A.; SANTOS, RINALDO P. Os avanços da botânica no início do século XXI: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética. Conferências Plenárias e Simpósios do 57º Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, p. 404-408, 2006.

TRES, DEISY R.; REIS, ADEMIR. Técnicas nucleadoras na restauração de floresta ribeirinha em área de Floresta Ombrófila Mista, Sul do Brasil. **Biotemas**, n. 22, v.4, p. 59-71, 2009.

TRES, DEISY R.; SANT'ANNA, CRISTINA S.; BASSO, SANDRO; LANGA, REINALDO; RIBAS JR., ULISSES; REIS, ADEMIR. Poleiros Artificiais e Transposição de Solo para a Restauração Nucleadora em Áreas Ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 312-314, 2007.

TROGELLO, EMERSON; TROGELLO, ANDERSON G.; SILVEIRA, EDSON R. Avaliação da fauna do solo em diferentes sistemas de cultivo, milho orgânico e milho em plantio direto. **Revista Brasileira Biociências**, n. 6, p. 25-26, 2008.

TSIAFOULI, M. A.; KALLIMAIS, A. S.; KATANA, E.; STAMOU, G. P.; SGARDELIS, S. P. Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. **Applied Soil Ecology**, v.29, p.17-26, 2005.

VANDEWALLE, M., BELLO, F. D., BERG, M. P., BOLGER, T., DOLÉDEC, S., DUBS, F., FELD,C.K.; HARRINGTON,R.; HARRISON,P.A.; LAVOREL,S.; SILVA,P.M.; MORETTI,M.; NIEMELA,J.; SANTOS,P.; SATTLER,T. SOUSA,J.P.; SYKES,M.T.

Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiversity & Conservation**, p.2921-2947, 2010.

VASCONCELLOS, R. L.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. 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.

VERGÍLIO, P. C.; KNOLL, F. D.; MARIANO, D. D.; DINARDI, N. M.; UEDA, M. Y.; CAVASSAN, O. Effect of brushwood transposition on the leaf litter arthropod fauna in a cerrado area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1158-1163, 2013.

VERHOEF, H.; VAN SELM, A. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. **Holarctic Ecology**, v.6, n.4, p. 387-394, 1983.

VIANI, R. A.; DURIGAN, G.; MELO, A. C. A regeneração natural sob plantações florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade?. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.3, p.533-552, 2010.

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 & Biochemistry**, v.38, p.1052-1062, 2006.

WINK, CHARLOTE; GUEDES, JERSON V. C.; FAGUNDES, CAMILA K.; ROVEDDER, ANA PAULA. Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, n.4, p. 60-71, 2005.

YANAHAN, A. D.; TAYLOR, S. J. Vegetative communities as indicators of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity. **Biodiversity Conservation**, v.23, p.1591-1609, 2014.

YANG, X.; WARREN, M.; ZOU, X. Fertilization responses of soil litter fauna and litter quantity, quality, and turnover in low and high elevation forests of Puerto Rico. **Applied soil ecology**, v.37, p.63-71, 2007.

ZAHAWI, R. A.; HOLL, K. D.; COLE, R. J.; REID, J. L. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Journal of Applied Ecology**, n.50, p.88-96, 2013.

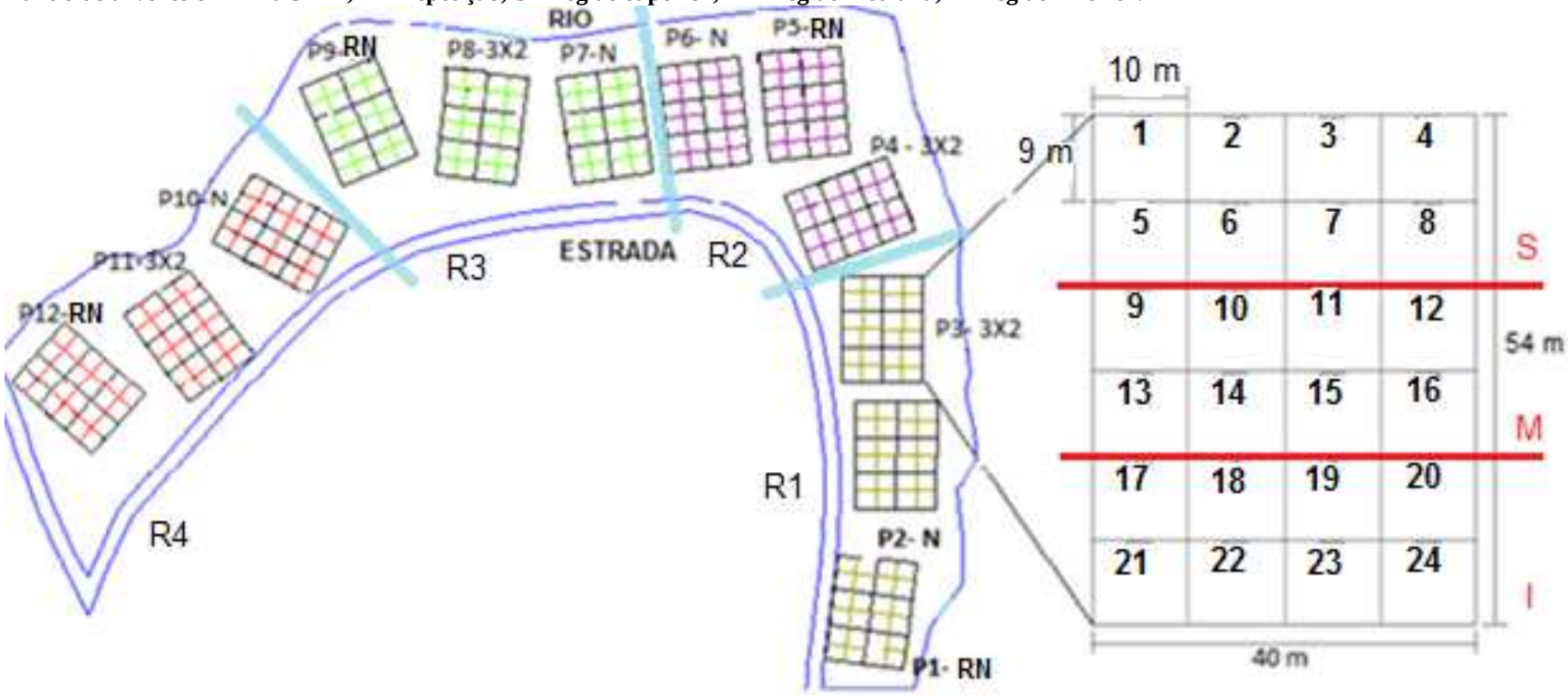
ZEPPELINI, D.; BELLINI, B. C.; CREÃO-DUARTE, A. J.; HERNÁNDEZ, M. I. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of northeastern Brazil. **Biodiversity Conservation**, n.18, p.1161-1170, 2009.

ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A - Croqui da área com o delineamento experimental. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....124
APÊNDICE B - Espécies de plantas utilizadas nos tratamentos: Plantio de árvores em linhas de recobrimento/diversidade e Nucleação.....125
APÊNDICE C - Técnicas de nucleação: A= Grupo de Anderson; B= Cobertura com *Cajanus cajan*; C= Poleiro artificial; D= Abrigo artificial; E= Grupo de Bromélias; F= Coleta de sementes (Chuva de Sementes); G= Coleta do Banco de Sementes.....128
APÊNDICE D – Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento plantio de árvores em linha: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....129
APÊNDICE E - Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento nucleação: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....130
APÊNDICE F - Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento regeneração natural: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....131
APÊNDICE G - Equipamento extrator da mesofauna das amostras (A), com detalhe dos funis de Berlese (B). Laboratório de Controle biológico, UTFPR, Dois Vizinhos.....132
Apêndice H - Coleta das amostras de solo (A), armazenamento refrigerado das amostras (B) e triagem da macrofauna invertebrada do solo (C e D).....133
APÊNDICE I – Identificação de Morfotipos de colêmbolos neste estudo, respectivos scores e características morfológicas.....134
ANEXO A - Croqui da parcela experimental referente ao tratamento plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....136
ANEXO B - Croqui da parcela experimental referente ao tratamento de nucleação. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.....137
ANEXO C – Valores atribuídos a cada característica morfológica de colêmbolo para estabelecimento dos morfotipos.....138

APÊNDICES

APÊNDICE A - Croqui da área com o delineamento experimental. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos. P= Parcela; RN= Regeneração Natural; N= Nucleação; 3x2= Plantio de árvores em linha 3x2m; R= Repetição; S= Região superior; M= Região mediana; I= Região Inferior.



Fonte: Modificado de Bechara (2012, p.13).

Apêndice B – Espécies de plantas utilizadas nos tratamentos: Plantio de árvores em linhas de recobrimento/diversidade e Nucleação (continua)

Nome científico	Nome popular	Código da espécie	Categoria Silvicultural
Croton floribundus Spreng.	capixingui	1	Recobrimento
Mimosa scabrella Benth.	bracatinga	2	Recobrimento
Rapanea ferruginea (Ruiz & Pav.) Mez	capororoca	3	Diversidade
Psidium cf. *cattleyanum* var. coriaceum (Mart. ex O. Berg) Kiaersk.	Araçá	4	Diversidade
Galesia integrifolia (Spreng.) Harms	pau d'alho	5	Diversidade
Myrcianthes pungens (O. Berg) D. Legrand	Guabiju	6	Diversidade
Ilex paraguariensis A. St.-Hil.	erva-mate	7	Diversidade
Vitex megapotamica (Spreng.) Moldenke	Tarumã	8	Diversidade
Trema micrantha (L.) Blume	grandiuva	11	Preenchimento
Annona cacans Warm.	araticum cagão	12	Diversidade
Jaracatia spinosa (Aubli) A. DC.	jaracatiá	15	Diversidade
Croton urucurana Baill.	sangra d'agua	16	Preenchimento
Guazuma ulmifolia Lam.	mutambo	18	Recobrimento
Piptadenia gonoacantha (Mart.) J.F. Macbr.	pau jacaré	19	Recobrimento
Strychnos brasiliensis (Spreng.) Mart.	maria-pula-pula	23	Diversidade
Machaerium stipitatum (DC.) Vogel	Sapuva	24	Diversidade
Prunus sellowii Koehne	pessegueiro-bravo	25	Diversidade
Randia ferox (Cham. & Schltdl.) DC.	limão-de-mico	26	Diversidade
Allophylus edulis (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.	Vacum	27	Diversidade
Cassia leptophylla Vogel	falso-barbatimão	28	Diversidade
Ocotea porosa (Nees & Mart.) Barroso	Imbuia	29	Diversidade
Sloanea monosperma Vell.	sapopema	30	Diversidade
Celtis sp L.	Curupiá	31	Diversidade

APÊNDICE B – Espécies de plantas utilizadas nos tratamentos: Plantio de árvores em linhas de recobrimento/diversidade e Nucleação (continua)

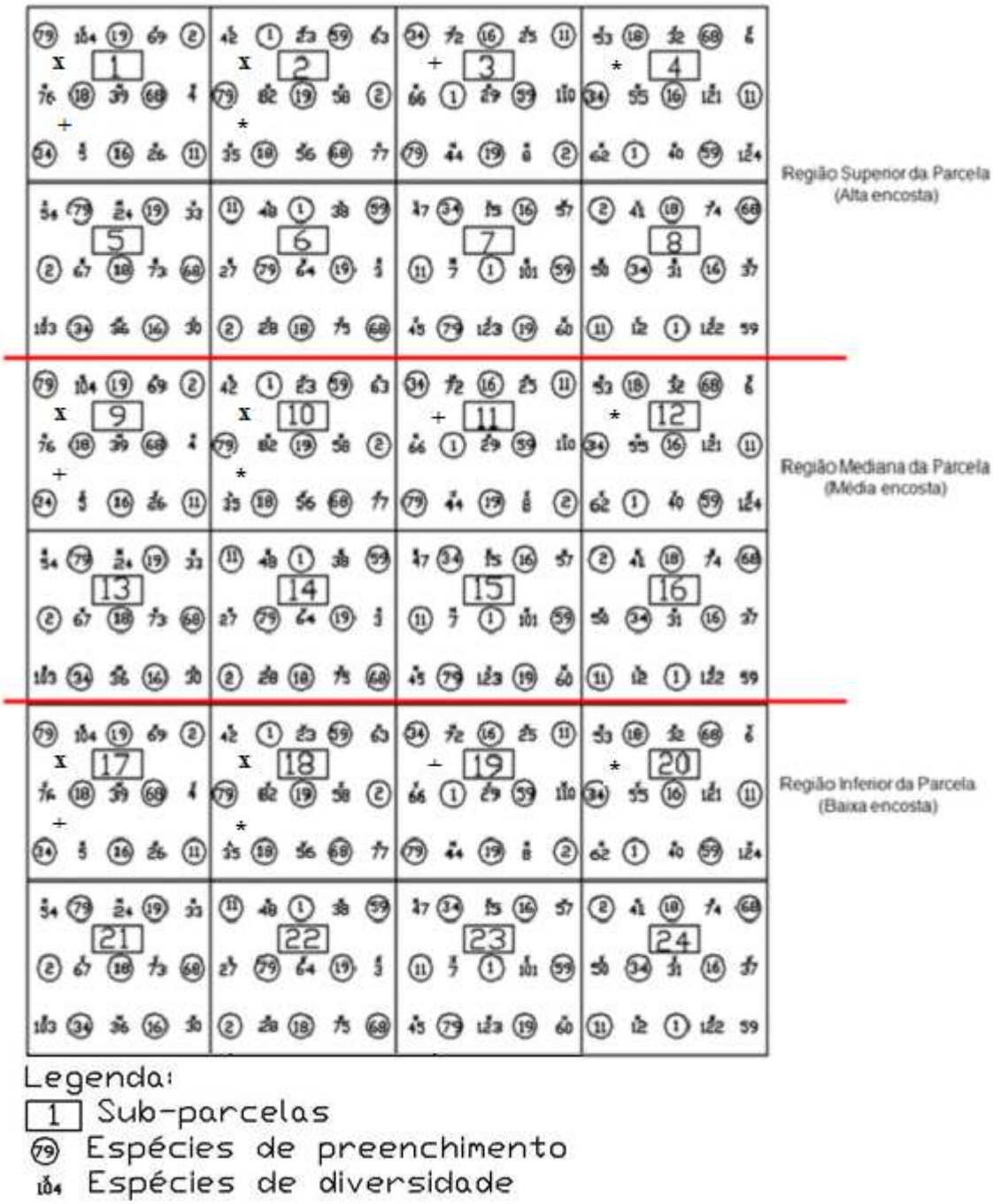
Nome científico	**Nome popular**	**Código da espécie**	**Categoria Silvicultural**
Lafoensia pacari A. St.-Hil.	dedaleiro	32	Diversidade
Rapanea umbellata (Mart.) Mez	capororocão	33	Diversidade
Alchornea triplinervia (Spreng.) Müll. Arg.	Tapiá	34	Recobrimento
Campomanesia xanthocarpa Mart. ex O. Berg	guabiroba	35	Diversidade
Inga uruguensis Hook. & Arn.	ingá de brejo	36	Diversidade
Jacaranda micrantha Cham.	caroba	37	Diversidade
Gochnatia polymorpha (Less.) Cabrera	cambará	38	Diversidade
Cabralea canjerana (Vell.) Mart.	canjarana	39	Diversidade
Ocotea puberula (Rich.) Nees.	canela guaicá	40	Diversidade
Calliandra tweedii Benth.		41	Diversidade
Podocarpus Labill.	pinheiro bravo	42	Diversidade
Capsicodendron dinisii (Schwacke) Occhioni	pimenteira	44	Diversidade
Xylosma sp. G. Forst.	sucará	45	Diversidade
Sebastiania commersoniana (Baill.) L.B. Sm. & Downs	branquilho	47	Diversidade
Cordia americana (L.) Gottschling & J.S. Mill.	guajuvira	48	Diversidade
Sebastiania schottiana (Müll. Arg.) Müll. Arg.	sarandi	50	Diversidade
Campomanesia guazumifolia (Cambess.) O. Berg	sete capotes	53	Diversidade
Cupania vernalis Cambess.	camboatá vermelho	54	Diversidade
Cedrela fissilis Vell.	cedro rosa	55	Diversidade
Ceiba speciosa (A. St.Hil.) Ravenna	paineira	56	Diversidade
Tabebuia chrysotricha (Mart. ex A. DC.) Standl.	ipê amarelo	57	Diversidade
Zanthoxylum rhoifolium Lam.	mamica de porca	58	Diversidade
Schinus terebinthifolius Raddi	aroeira pimenteira	59	Recobrimento
Ficus enormis (Mart. ex Miq.) Mart.	figueira	60	Diversidade

APÊNDICE B – Espécies de plantas utilizadas nos tratamentos: Plantio de árvores em linhas de recobrimento/diversidade e Nucleação (conclusão)

Nome científico	**Nome popular**	**Código da espécie**	**Categoria Silvicultural**
Balfourodendron riedelianum (Engl.) Engl.	pau marfim	62	Diversidade
Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.	canafistula	63	Diversidade
Lonchocarpus Kunth	rabo de bugio	64	Diversidade
Diatenopteryx sorbifolia Radlk.	maria preta	66	Diversidade
Erythrina falcata Benth.	corticeira	67	Diversidade
Bauhinia forficata Link	pata de vaca	68	Recobrimento
Casearia decandra Jacq.	cafezeiro do mato	69	Diversidade
Trichilia clausenni C. DC.	quebra machado	72	Diversidade
Myrceugenia euosma (O. Berg) D. Legrand		73	Diversidade
Eugenia pyriformis Cambess.	uvaia	74	Diversidade
Eugenia uniflora L.	pitanga	75	Diversidade
Eugenia involucrata DC.	cerejeira nativa	76	Diversidade
Myrciaria trunciflora O. Berg	jabuticabeira	77	Diversidade
Solanum bullatum Vell.	fumeiro-bravo	79	Recobrimento
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. ex Steud.	louro pardo	82	Diversidade
Aspidosperma polyneuron Müll. Arg.	peroba rosa	101	Diversidade
Albizia polycephala (Benth.) Killip	angico branco	103	Diversidade
Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze	pinheiro do paraná	104	Diversidade
Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan	angico vermelho	110	Diversidade
*Mimosa bimucronata (*DC.) Kuntze	maricá	120	Recobrimento
Butia capitata (Mart.) Becc.	butiá	121	Diversidade
Maytenus aquifolium Mart.	espinheira santa	122	Diversidade
Ruprechtia laxiflora Meisn.	marmeleiro	123	Diversidade
Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman	jerivá	124	Diversidade
*Enterolobium contortisiliquum (*Vell.) Morong	tamboril	125	Recobrimento

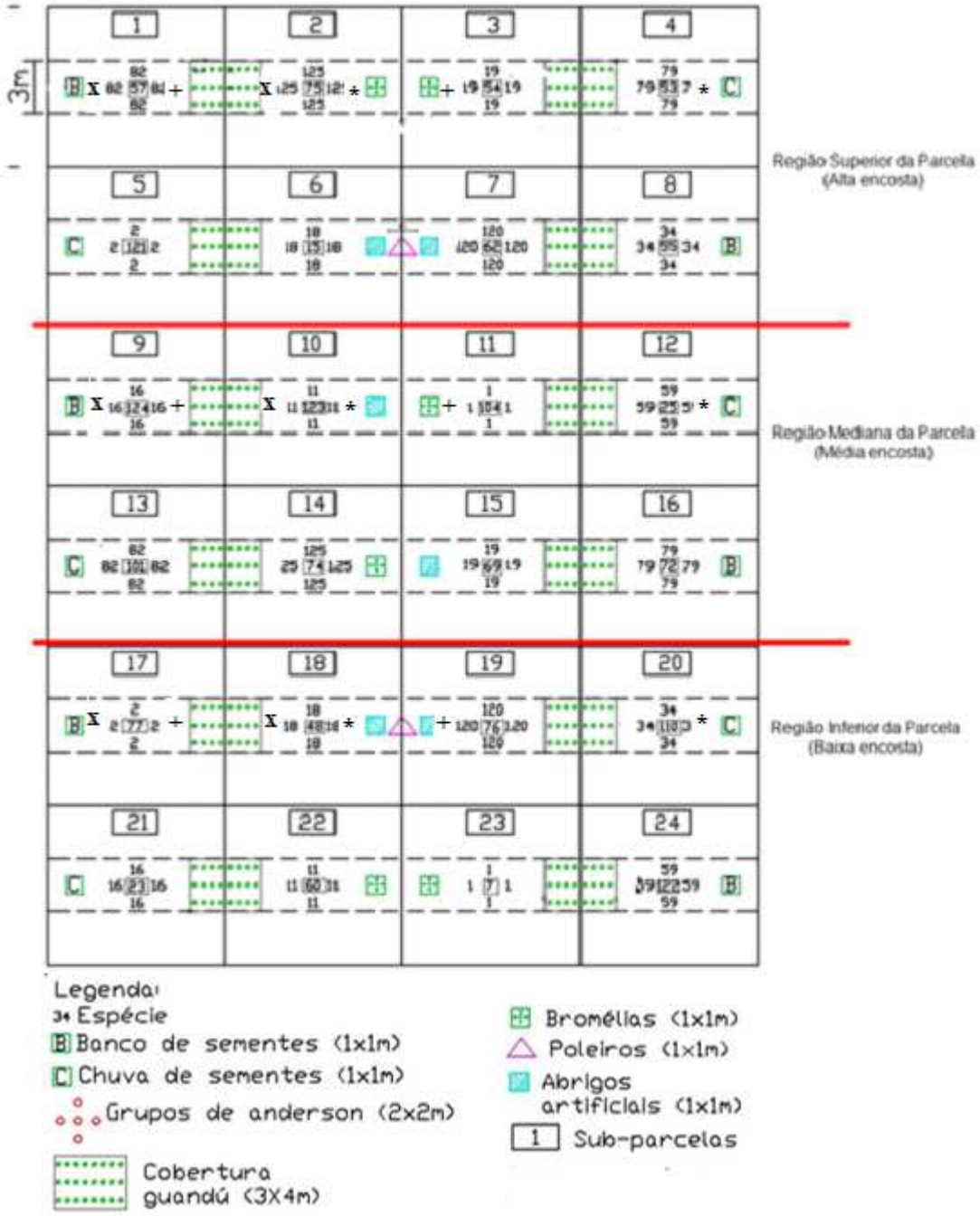
APÊNDICE C - Técnicas de nucleação: A= Grupo de Anderson; B= Cobertura com *Cajanus cajan*; C= Poleiro artificial; D= Abrigo artificial; E= Grupo de Bromélias (*Bromelia antiacantha*); F= Coleta de sementes (Chuva de Sementes); G= Coleta do Banco de Sementes.

APÊNDICE D – Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento plantio de árvores em linha: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



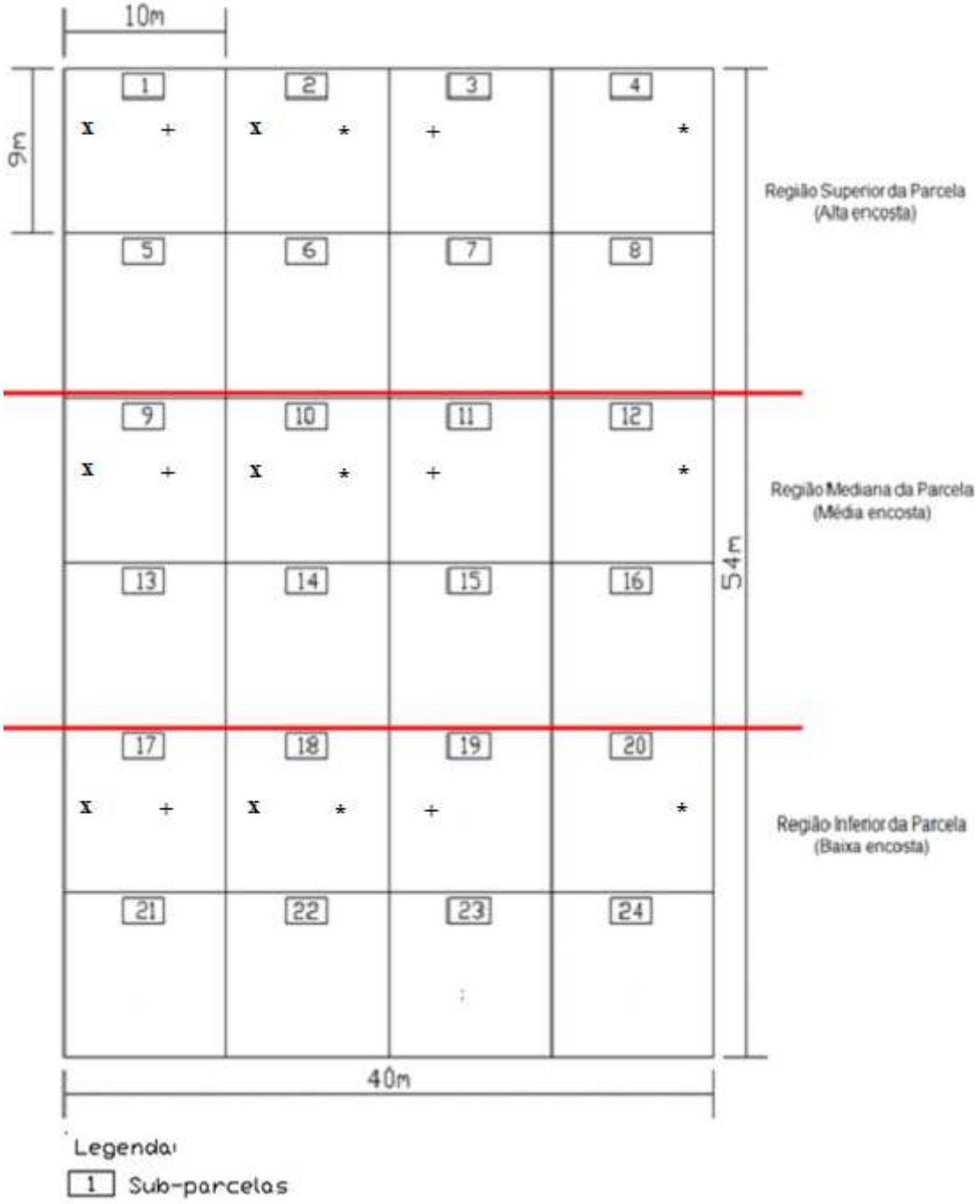
Fonte: Modificado de Bechara (2012, p.16).

APÊNDICE E - Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento nucleação: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



Fonte: Modificado de Bechara (2012, p.24).

APÊNDICE F - Localização dos pontos amostrais na parcela experimental do tratamento regeneração natural: (x) coleta outubro/2012; (+) coleta junho/2013 e (*) coleta outubro/2013. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



Fonte: Modificado de Bechara (2012, p.14).

APÊNDICE G - Equipamento extrator da mesofauna das amostras (A), com detalhe dos funis de Berlese (B). Laboratório de Controle biológico, UTFPR, Dois Vizinhos.

Fonte: Autoria Própria.

APÊNDICE H - Coleta das amostras de solo (A), armazenamento refrigerado das amostras (B) e triagem da macrofauna invertebrada do solo (C e D).

Fonte: Autoria Própria.

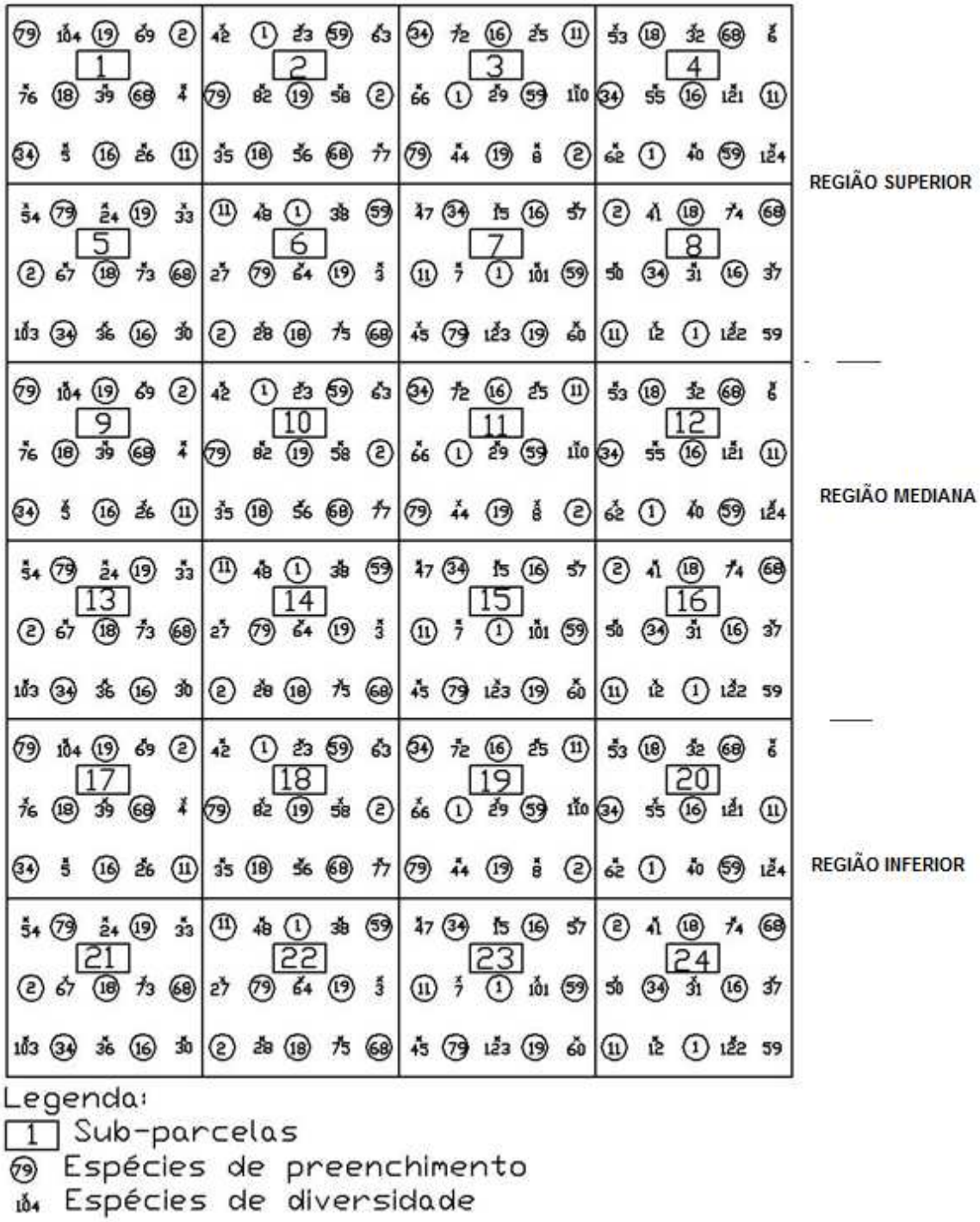
APÊNDICE I – Identificação de Morfotipos de colêmbolos neste estudo, respectivos scores e características morfológicas

Morfotipo		Score	Características Morfológicas
Ep1	02002	4	Ocelos presentes; Comprimento das antenas > metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação presente e sem padrões.
Ep2	04000	4	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação presente e com padrões.
Ep3	04002	6	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação presente e sem padrões.
Ep4	02042	8	Ocelos presentes; Comprimento das antenas > metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação presente e sem padrões.
Ep5	04004	8	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação ausente.
Ep6	04202	8	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente, mas reduzida; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação presente e sem padrões.
SemiEd1	04042	10	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação presente e sem padrões.
SemiEd2	04204	10	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente, mas reduzida; Pêlos/Escamas presentes; Pigmentação ausente.
SemiEd3	04044	12	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.
SemiEd4	04242	12	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente, mas reduzida; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação presente e sem padrões.
Ed1	04244	14	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente, mas reduzida; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.
Ed2	04442	14	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca ausente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação presente e sem padrões.
Ed3	04444	16	Ocelos presentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca ausente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.
Ed4	44044	16	Ocelos ausentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.
Ed5	44244	18	Ocelos ausentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca presente, mas reduzida; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.
Ed6	44444	20	Ocelos ausentes; Comprimento das antenas < metade do comprimento do corpo; Furca ausente; Pêlos/Escamas ausentes; Pigmentação ausente.

Ep: Epigeicos; SemiEd: Semi-edáficos; Ed: Edáficos

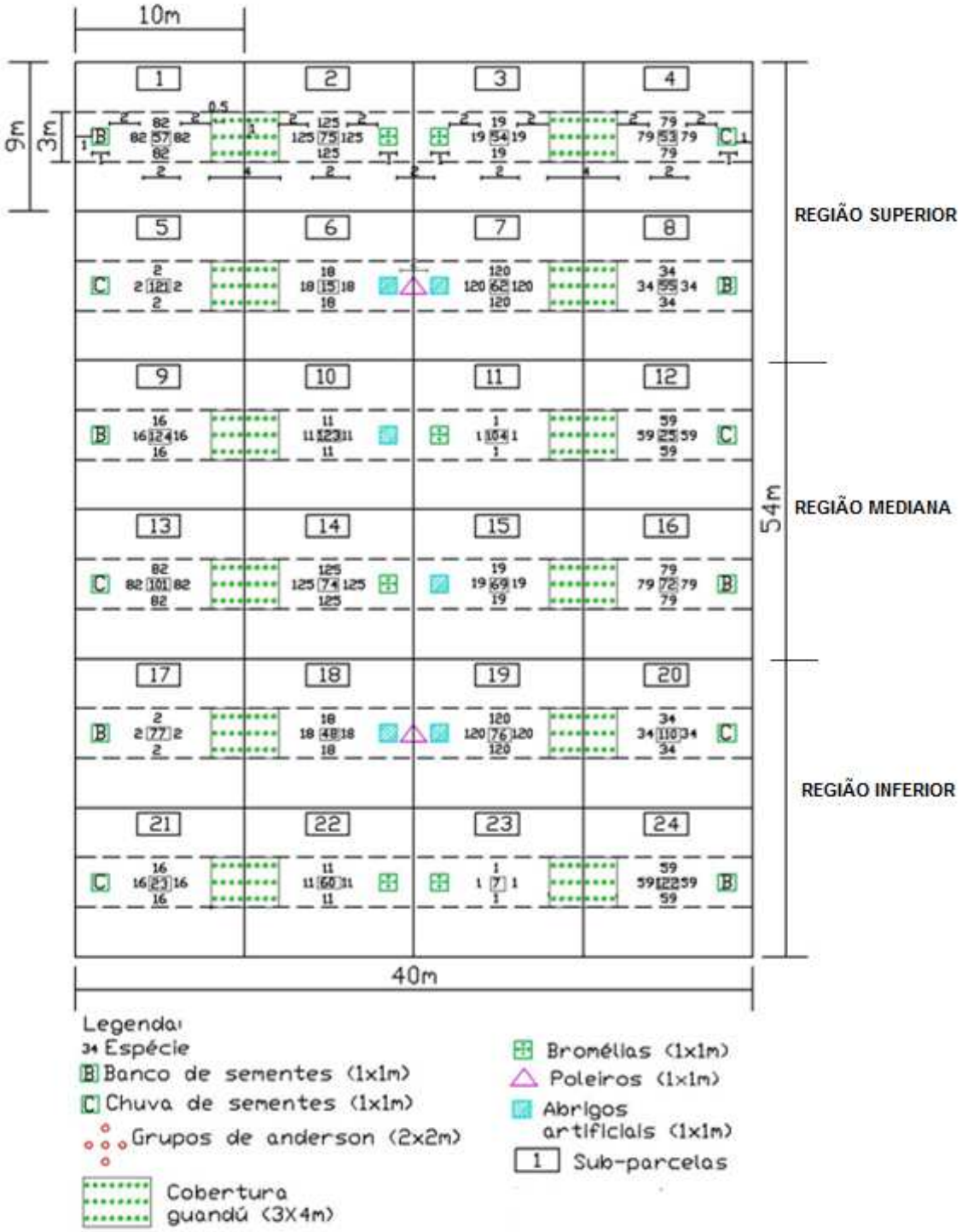
ANEXOS

ANEXO A - Croqui da parcela experimental referente ao tratamento plantio de árvores em área total em linhas de recobrimento e diversidade. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



Fonte: Bechara (2012, p.16)

ANEXO B - Croqui da parcela experimental referente ao tratamento de nucleação. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.



Fonte: Bechara (2012, p.24).

ANEXO C – Valores atribuídos a cada característica morfológica de colêmbolo para estabelecimento dos morfotipos

Características Morfológicas		Valor
Ocelos	Presentes	0
	Ausentes	4
Tamanho das antenas	Comprimento da antena > comprimento do corpo	0
	Comprimento da antena >0.5 x comprimento do corpo	2
	Comprimento da antena <0.5 x comprimento do corpo	4
Furca	Presente	0
	Presente, mas reduzida	2
	Ausente	4
Pêlos/Escamas	Presentes	0
	Ausentes	4
Pigmentação	Presente e com padrões	0
	Presente, sem padrões	2
	Ausente	4

Fonte: Carvalho (2012, p.18)