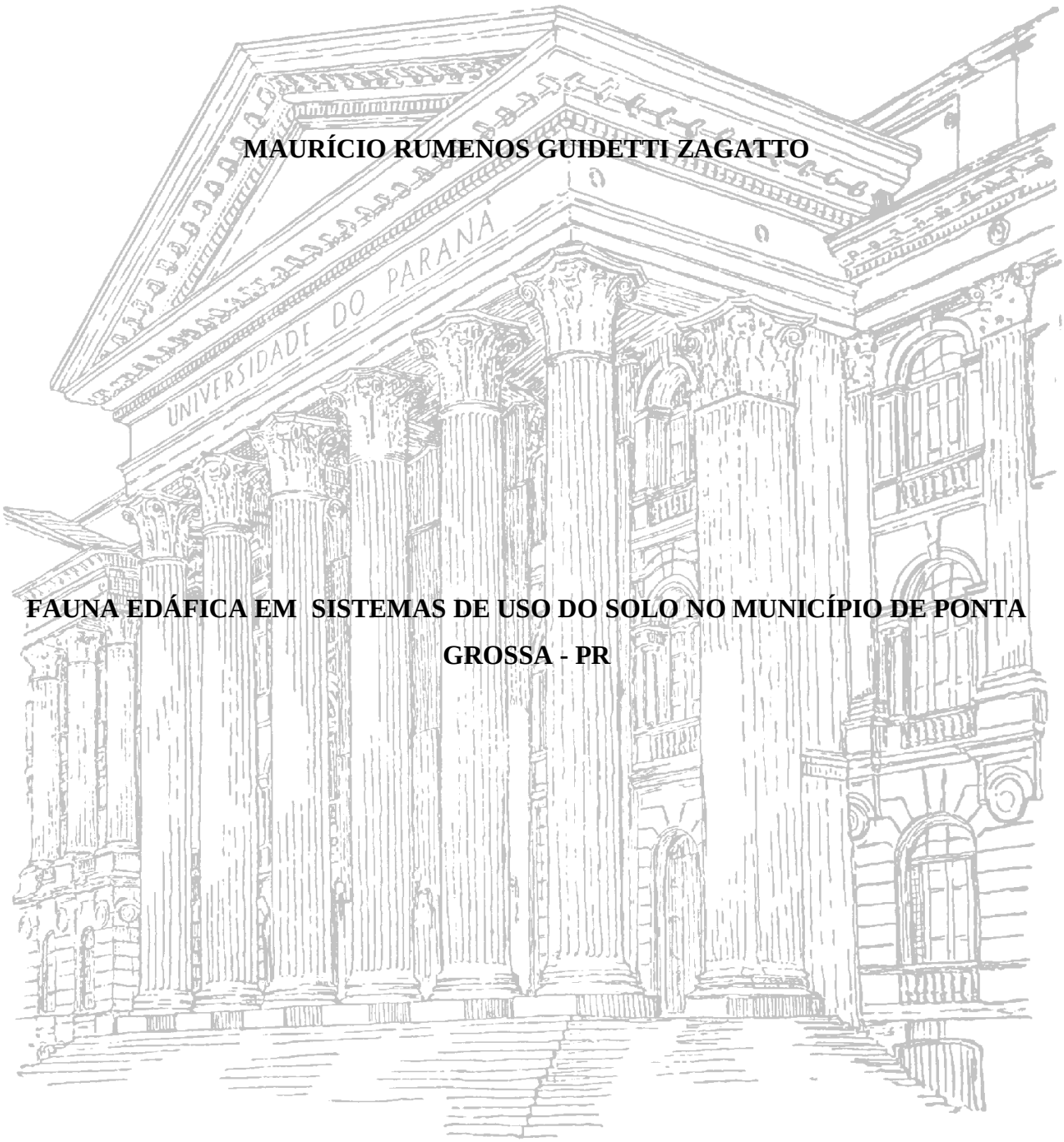
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



MAURÍCIO RUMENOS GUIDETTI ZAGATTO

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR

CURITIBA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MAURÍCIO RUMENOS GUIDETTI ZAGATTO

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. George Gardner Brown
Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-orientador: Dr. Marcílio José Thomazini

CURITIBA
2014

P A R E C E R

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **MAURÍCIO RUMENOS GUIDETTI ZAGATTO,** intitulada: **Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no município de Ponta Grossa - PR,** do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente.**

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 25 de fevereiro de 2014.

Prof. Dr. George Gardner Brown, Presidente

Prof. Dr. Dilmar Baretta, Iº. Examinador

Dr. Marcílio Thomazini, IIº. Examinador

“A maior batalha que um homem pode travar é contra si mesmo. Fidelidade aos sentimentos é uma decisão sábia, porém arbitrária.”

Maurício R. G. Zagatto

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder o direito a vida;

Aos meus familiares e amigos que sempre me incentivaram;

Ao meu orientador, Dr. George Gardner Brown, com quem muito aprendi e sempre se fez presente;

A UFPR e professores do Departamento de Solos que sempre me transmitiram conhecimentos dessa maravilhosa área de atuação;

A Embrapa Florestas que me cedeu espaço para o desenvolvimento de minhas atividades relacionadas com o projeto;

Aos estagiários, colegas de curso e técnicos que foram essenciais nos trabalhos de campo;

A CAPES, que me concedeu a bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL vii
ABSTRACT viii
INTRODUÇÃO GERAL 1

1. CAPÍTULO I. MESOFAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR 8
1.1. Resumo 8
1.2. Abstract 9
1.3. Introdução 10
1.4. Material e Métodos 11
1.5. Resultados e Discussão 16
1.6. Conclusões 26
1.7. Literatura Citada 26

2. CAPÍTULO II. MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR..... 31
2.1. Resumo 31
2.2. Abstract 32
2.3. Introdução 33
2.4. Material e Métodos 34
2.5. Resultados e Discussão 39
2.6. Conclusões 54
2.7. Literatura Citada 55
CONCLUSÃO GERAL 61
APÊNDICES 62

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR [1]

Autor: Maurício Rumenos Guidetti Zagatto
Orientador: Prof. Dr. George Gardner Brown
Co-Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-orientador: Dr. Marcílio José Thomazini

RESUMO GERAL

Para avaliar a degradação do solo, tem-se usado a fauna de solo como bioindicadora, uma vez que essa é sensível às práticas de manejo, clima, solo e vegetação. Sendo assim, o presente estudo avaliou a densidade e a diversidade da mesofauna, bem como a densidade, diversidade e biomassa da macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo, visando identificar alterações na comunidade de invertebrados decorrentes do manejo e propriedades químico-físicas do solo. Para tanto foram avaliados, em duas épocas do ano cinco sistemas de uso no município de Ponta Grossa-PR: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com renques de *Eucalyptus dunnii* (ILPF), sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD). Para cada sistema foram selecionadas três parcelas, e em cada parcela foram tomadas 8 amostras para mesofauna e 5 amostras para macrofauna, além de amostras para determinação da umidade e parâmetros físicos e químicos do solo. A mesofauna foi extraída do solo com auxílio de funis de Berlese, enquanto que a macrofauna foi coletada manualmente. Os indivíduos foram contados e identificados em nível de grandes grupos taxonômicos. Os dados foram submetidos a teste de Duncan a 5%, estatística não paramétrica e análise multivariada. O grupo mais abundantes da mesofauna foi Acarina, enquanto que para a macrofauna foram Isoptera, Hymenoptera Coleoptera e Oligochaeta. PD apresentou tendência a maior densidade de mesofauna, enquanto que CN maior densidade e biomassa de macrofauna. A diversidade foi menor em PD para a mesofauna e maior em ILP e CN para a macrofauna. O solo e o manejo afetaram a diversidade, densidade e biomassa da fauna edáfica.

PALAVRAS CHAVE: Mesofauna, macrofauna, ecossistemas, diversidade, indicadores.

[1] Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (68 p.) Fevereiro, 2014.

SOIL FAUNA IN LAND USE SYSTEMS IN PONTA GROSSA – PR[2]

Autor: Maurício Rumenos Guidetti Zagatto
Orientador: Prof. Dr. George Gardner Brown
Co-Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-orientador: Dr. Marcílio José Thomazini

GENERAL ABSTRACT

Soil fauna is used as bioindicator as its sensitive to management, climate, soil and vegetation. Thus the present study evaluated the density and diversity of soil mesofauna and density, diversity and biomass of macrofauna under different land use systems to identify how the communities of invertebrates changed with management. Five land use systems were selected in Ponta Grossa – PR: crop-livestock integration (ILP), crop-livestock integration with *Eucalyptus* tree rows (ILPF), grazed native pasture (CN), no-tillage (PD) and *Eucalyptus dunnii* plantation (EU) and sampled. For each land use system three plots were selected and in each plot 8 mesofauna samples and 5 macrofauna samples were taken on two occasions. Concurrently soil moisture and chemical and physical soil attributes were also measures in each plot. Mesofauna were collected with Berlese funnels and macrofauna were handsorted from soil. The invertebrates were counted and identified. Data were submitted to Duncan's test, nonparametric statistics and multivariate analysis. The most frequent mesofauna was Acarina, whereas Isoptera, Hymenoptera, Coleoptera and Oligochaeta were the most frequent macrofauna. Higher mesofauna density was found in no-tillage while higher macrofauna density and biomass were in the grazed native pasture. Mesofauna diversity was lower in no-tillage and macrofauna was higher in crop-livestock integration and grazed native pasture. Chemical and physical soil properties and land use management affected soil fauna diversity, density and biomass.

KEY-WORDS: Soil fauna, ecosystems and diversity, bioindicators.

[2] Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (68 p.) February, 2014.

INTRODUÇÃO GERAL

A fauna edáfica é representada pela comunidade de invertebrados que vive permanentemente ou que passa uma ou mais fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (Kevan, 1962; Hole, 1981; Dindal, 1990). Pode ser classificada de acordo com o diâmetro corporal em microfauna, mesofauna e macrofauna (Dunger, 1964; Walwork, 1970).

A microfauna do solo compreende invertebrados cujo diâmetro corporal é menor que 0,2 mm, e é representada por invertebrados aquáticos que vivem associados ao filme de água do solo, como protozoários, rotíferos, copépodes, tardígrados e nematóides. Tem como principal função a ingestão de bactérias e fungos, o que pode intensificar a mineralização ou retardar a imobilização de nutrientes na biomassa microbiana (Beare et al., 1995).

Por sua vez, a mesofauna edáfica é composta por pequenos invertebrados, tais como ácaros, colêmbolos, miriápodes, aranhas e diversas ordens de insetos, além de oligoquetos e crustáceos, que se caracterizam por apresentar diâmetro corporal entre 0,2 e 2 mm (Lavelle, 1997). As atividades tróficas desses grupos estão relacionadas com a predação de microrganismos e fungos, com a fragmentação dos detritos vegetais e deposição de fezes, o que provoca alterações na ciclagem de nutrientes (Moreira et al., 2010).

Já a macrofauna é composta por invertebrados que apresentam diâmetro corporal entre 2 e 20 mm e podem pertencer a todas as ordens encontradas na mesofauna excetuando-se ácaros, colêmbolos, proturos e dipluros (Lavelle et al., 1997). Alguns desses organismos, como cupins, formigas e minhocas são chamados de "engenheiros do ecossistema" pela capacidade de afetar profundamente a estrutura do solo, uma vez que conseguem misturar as partículas orgânicas com as partículas minerais no solo e redistribuir a matéria orgânica e os microrganismos (Lavelle et al., 1997), além de modificar a quantidade e o tamanho dos poros no perfil do solo, o que altera os padrões de infiltração de água e trocas de gases (Beare et al., 1995).

A fauna edáfica é muito sensível à quantidade e qualidade de alimento disponível; fatores que variam conforme o clima, o tipo de solo e a vegetação (Correia, 2002). Estudos no Brasil demonstram que a macrofauna edáfica apresenta valores mais elevados de densidade e diversidade em estações mais quentes (primavera e verão) quando comparada as estações mais frias (outono e inverno) (Miranda et al., 2007; Pauli et al., 2011).

As práticas de manejo do solo influenciam as populações da fauna de solo; por exemplo, o uso de agrotóxicos, o tráfego de máquinas, o pisoteio animal e a seleção das culturas agrícolas e sua distribuição ao longo do tempo e do espaço alteram a quantidade e

qualidade de alimento, de habitats e nichos disponíveis para a fauna (Correia & Oliveira, 2000). As práticas que compactam o solo diminuem os poros, e consequentemente o espaço no interior do solo, reduzindo a diversidade, densidade e biomassa da fauna edáfica (Schrader & Lingnau, 1997; Rohrig et al., 1998). Já os sistemas conservacionistas, como a integração lavoura-pecuária (ILP), a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e o plantio direto proporcionam maior diversidade e densidade da fauna edáfica quando comparado com sistemas simplificados de produção, como lavouras em preparo convencional (Aquino et al., 2008; Marchão et al., 2009; Domingues et al., 2010; Portillo et al., 2011).

O incremento de adubos nitrogenados no ambiente também pode alterar as comunidades da meso e macrofauna edáfica, uma vez que há um maior crescimento da parte aérea da vegetação e consequente acúmulo na superfície do solo, o que provoca aumento na densidade e diversidade de grupos da fauna edáfica (Dindal, 1990; Aquino, 1994; Alves et al., 2008).

Mas, além de sofrer influência do meio em que vive, a fauna de solo também pode atuar nos processos edáficos, ora pela modificação física da serapilheira e do ambiente edáfico, ora pelas interações com a comunidade microbiana; o que provoca alterações na ciclagem e mineralização de nutrientes (González et al., 2001). Blanchart et al. (1997) conduzindo experimentos com monólitos de solos na Costa do Marfim concluíram que as minhocas produzem grande quantidade de macroagregados, afetando assim a densidade e a porosidade do solo, e Sarr et al. (2001) observaram que a infiltração de água era significativamente menor (cerca de 80%) em parcelas experimentais no Senegal, onde os cupins foram excluídos com inseticida.

Os invertebrados edáficos podem alterar os serviços ambientais do solo, através de seus efeitos sobre a decomposição da matéria orgânica, o sequestro de C e a emissão de gases de efeito estufa, a ciclagem de nutrientes, as populações de pragas e doenças, e as propriedades físicas do solo, que afetam principalmente a produção vegetal, o solo como hábitat para outros invertebrados e microrganismos e o ciclo hidrológico no solo (Van der Putten et al., 2004).

A diversidade de espécies tem um papel fundamental na manutenção da estrutura e do funcionamento do solo (Wall, 2004) e é representada pelo número de espécies e pela distribuição dos organismos (Magurran, 2004). Os ecossistemas naturais, por possuírem alta diversidade, tendem a apresentar maior resistência e maior resiliência quando comparados com ecossistemas de menor diversidade. Uma possível explicação para isso é que em

ecossistemas mais diversos existe a possibilidade de algumas espécies responderem diferentemente a condições variáveis e perturbações. Outra possibilidade é que maior diversidade promova maior redundância funcional por conter espécies que são capazes de substituir funcionalmente espécies importantes (McCann, 2000).

Com a finalidade de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo e reduzir a liberação de C na atmosfera, práticas conservacionistas vêm sendo cada vez mais adotadas, entre elas o plantio direto, caracterizado pelo não revolvimento do solo e os sistemas de ILP ou ILPF, nos quais há uma combinação entre lavoura, produção animal e florestal, resultando em benefícios múltiplos para o ecossistema (Fransluebbers & Stuedemann, 2008; Carvalho et al., 2010). O plantio direto atualmente cobre >26 milhões de ha no Brasil (Febrapdp, 2006), mas ainda não há estimativa da área ocupada pelos sistemas integrados de lavoura-pecuária (com e sem árvores) no país.

Essas mudanças no manejo do solo podem alterar profundamente a população de invertebrados e microrganismos (Feiden, 2001; Correia, 2002). Para monitorar o grau de alteração no solo provocado por essas mudanças ou por práticas agrícolas em geral, podem ser utilizados diversos indicadores, incluindo os bioindicadores (Paoletti et al., 1991), ou seja, organismos que são sensíveis às práticas de manejo do solo, e a impactos de origem antrópica, bem como a propriedades inerentes do próprio ecossistema, tais como o clima, o solo e a vegetação. Esta habilidade para integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do ecossistema, tornam os organismos do solo, sobretudo a fauna de solo, bons bioindicadores da qualidade do solo (Doran & Zeiss, 2000).

Dessa forma, o conhecimento da composição de uma comunidade de organismos no solo é uma ferramenta importante para compreender seu efeito sobre os processos edáficos e também para elucidar como a fauna do solo é afetada pelas práticas agrícolas e mudanças no uso do solo.

Portanto, o presente trabalho foi realizado no município de Ponta Grossa-PR, visando comparar as comunidades da macro e mesofauna edáfica em cinco sistemas de uso do solo, em duas épocas de coleta.

Literatura Citada

ALVES, M. V.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D.; GOIS, D. T. & SANTOS, J. C. 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, 32:589-598, 2008.

AQUINO, A. M. Reprodução de minhocas (Oligochaeta) em dejeto suíno e bagaço da cana de açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 19:161-168, 1994.

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

BEARE, M. H.; COLEMAN, D. C.; CROSSLEY JR., D. A.; HENDRIX, P. F. & ODUM, E. P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. Plant and Soil, 170:5-22, 1995.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAUS, E.; LE BISONAIS, Y. & VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d´Ivoire. Soil Biology and Biochemistry, 29:431-439, 1997.

CARVALHO, J. L. N.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P; FEIGL, B. J.; RAUCCI, G. S. & WRUCK, F. J. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. Soil & Tillage Research, 110:175-186, 2010.

CORREIA, M. E. F. & OLIVEIRA, L. C. M. Fauna do solo: aspectos gerais e metodológicos. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2000. 46p.

CORREIA, M. E. F. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna de solo e de grupos chaves de invertebrados como bioindicadores do manejo de ecossitemas. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2002. 23p.

DINDAL, D. Soil Biology Guide. New York, JohnWiley and Sons, 1990. 1349p.

DOMINGUEZ, A.; BEDANO, J. C. & BECKER, A. R. Negatives effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. Soil & Tillage Research, 110:51-59, 2010.

DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustaintability: managing the biotic compont of soil quality. Aplied Soil Ecology, 15:3-11, 2000.

DUNGER, W. Tiere im boden. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, Germany, 1964. 265p.

FANSLUEBBERS, A. J. & STUEDEMANN, J. A. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. Soil & Tillage Research, 100:141-158, 2008.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Evolução do plantio direto no Brasil. 2006. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br> Acesso em 11 jun. 2012.

FEIDEN, A. Conceitos e princípios para o manejo ecológico do solo. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2001. 26 p.

GONZALEZ, G.; LEY, R.E.; SCHMIDT, S. K.; ZOU, X. & SEASTEDT, T. R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. Oecologia, 128:549-556, 2001.

HOLE, F. D. Effects of animals on soil. Geoderma, 25:75-112, 1981.

KEVAN, D. K. McE. Soil Animals. 1. ed. London,Witherby Ltd., 1962. 237p.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecossystem function. Advances in Ecological Research, 27:93-132, 1997.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; DHILLION, S.; HEAL, O.W.; INESON, P.; LEPAGE, M.; ROGER, P. & WOLTERS, V. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. European Journal of Soil Biology, 33:159-193, 1997.

MAGURRAN, A. Measuring biological diversity, 2004. 275p.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; BECQUER, T.; CELINI, L.; LAVELLE, P. & VILELA, L. Soil macrofauna under integrated crop – livestock systems in a brazilian cerrado ferralsol. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:1011-1020, 2009.

MCCANN, K. S. The diversity-stability debate. Nature, 405:228-233, 2000.

MIRANDA, E. D.; PINEROS, F. S. & MEGÍAS, A. G. Soil macroinvertebrate fauna of a mediterran arid system: Compostion and temporal changes in the asemblage. Soil Biology & Biochemistry, 39:1916-1925, 2007.

MOREIRA, F. M. S.; BIGNEL, D. E. & HUISING, E. J. Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras, Editora UFLA, 2010. 367p.

PAOLETTI, M. G.; BATER, J. E.; FAVRETTO, M. R. PURRINGTON, F. F. & STINNER, B. R. Invertebrates as bioindicators of soil use. Agriculture, Ecosystems and Enviroment, 34:341-362, 1991.

PAULI, N.; BARRIOS, E.; CONACHER, A. J. & OBERTHUR, T. Soil Macrofauna in agricultural landscapes dominated by the quesungual slash – and – mulch agroforesty system, western Honduras. Aplied Soil Ecology, 47:119-132, 2011.

PORTILLO, I. I. R.; BORGES, C. D.; CREPALDI, R. A.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. & SILVA, R. F. Fauna invertebrada e atributos físico e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 46:1310-1320, 2011.

ROHRIG, R.; LANGMAACK, M.; LARINK, O. & SCHRADER, S. Tillage systems and soil compaction – their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. Soil and Tillage Research, 46:117-127, 1998.

SARR, M.; AGBOGBA, G.; RUSSEL-SMITH, A. & MASSE, D. Effects of soil fauna activity and woody shrubs on water infiltration in a semiarid fallow of Senegal. Applied Soil Ecology, 16:283-290, 2001.

SCHRADER, S. & LIGNAU, M. Influence of soil tillage and soil compaction on microarthropods of agricultural lands. Pedobiologia, 41:202-209, 1997.

VAN DER PUTTEN, W. H.; DE RUITER, P. C.; BEZEMER, T. M.; HARVEY, J. A.; WASSEN, M. & WOLTERS, V. Trophic interations in a changing world. Basic Aplied Ecology, 5:487-494, 2004.

WALL, D. H. Sustaning biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. Washington, Island Press, 2004. 275 p.

WALLWORK, J.A. Ecology of soil animals. 2. ed. London, MC Graw Hill, 1970. 283 p.

CAPÍTULO 1. MESOFAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR

RESUMO

A mesofauna edáfica é representada por pequenos invertebrados edáficos que possuem de 0,2 a 2 mm de diâmetro corpóreo. Esses organismos podem ser utilizados como bioindicadores, uma vez que são sensíveis ao manejo, clima, solo e vegetação. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a densidade e diversidade da mesofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo, visando identificar relações da mesofauna com propriedades químicas e físicas do solo e o manejo. Para tal, foram selecionados cinco sistemas de uso no município de Ponta Grossa – PR: integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio floretal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD). Para cada sistema foram delimitadas 3 parcelas de 50 x 100 m, onde procedeu-se a retirada de 8 amostras nas profundidades 0 – 5 cm com auxílio de funis de Berlese, que permaneceram 7 dias em baterias extratoras, para posterior contagem e identificação dos exemplares em nível de grandes grupos taxonômicos . Em cada ponto de coleta de mesofauna foram retiradas amostras para análise de umidade gravimétrica do solo. As coletas foram realizadas em duas épocas: inverno de 2012 e outono de 2013. Para avaliação de atributos químicos e físicos do solo foram retiradas 5 amostras na profundidade 0 - 10 cm no centro de cada parcela na primavera de 2012. Os dados foram submetidos ao teste de Duncan a 5%, estatística não paramétrica e análise de redundância (RDA) para estabelecer relações da mesofauna com propriedades edáficas. A diversidade foi calculada com base na riqueza de grupos e no índice de Simpson. Ácaros foram os organismos mais abundantes da mesofauna edáfica. No inverno, PD, foi o sistema que apresentou maior densidade, porém menor índice de Simpson, devido à abundância acentuada do grupo Acarina. No outono, poucas diferenças foram observadas, porém o PD apresentou reduzida densidade de indivíduos, uma vez que foram aplicados inseticidas, herbicidas e fungicidas poucos dias antes da coleta. Além do manejo, diversas propriedades químicas e físicas do solo, como pH, P, relação C/N, CTC, silte e areia influenciaram significativamente na densidade e diversidade da mesofauna edáfica.

Palavras chave: Mesofauna, solo, diversidade, bioindicadores.

CHAPTER 1. SOIL MESOFAUNA IN DIFFERENT LAND USE SYSTEMS IN PONTA GROSSA - PR

ABSTRACT

Soil mesofauna is represented by small soil invertebrates between 0.2 – 2 mm diameter. These animals can be used as bioindicators because they are sensitive to management, climate, soil properties and vegetation. Thus, the present study evaluated density and diversity of soil mesofauna under different land use systems to identify mesofauna relationships with soil properties and management. Five land use systems were selected in Ponta Grossa – PR: crop-livestock integration (ILP), crop-livestock-forestry integration (ILPF), grazed native pasture (CN), no tillage (PD) and *Eucalyptus dunnii* plantation (EU). In each land use three 50 x 100 m plots were selected and eight samples taken at 0-5 cm depth with Berlese funnels, that stayed 7 days under 25 W lamps to extract the mesofauna that was counted and identified. At each sample point soil moisture samples were collected. Samples were taken in two seasons: Winter/2012 and Autumn/2013. Samples to determine chemical and physical soil properties were collected in Spring/2012. Data were submitted to Duncan's test, nonparametric statistics and multivariate analysis. Diversity was measured using order richness and the Simpson index. Mites were the most frequent invertebrates. In Winter, no-tillage had higher density, but lower Simpson diversity because mites were highly dominant. In Autumn there were little differences between land use systems, however, no-tillage had lower density due to insecticide, herbicide and fungicide application a few days before sampling. Besides management, chemical and physical soil properties like pH, P, C/N ratio, CTC, silt and sand also affected mesofauna density and diversity.

Key-words: Mesofauna, soil, diversity, bioindicators.

1.1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo reflete a sua capacidade em locais manejados ou não de sustentar plantas e produtividade animal e manter ou aumentar a qualidade da água e do ar, o que beneficia a saúde humana (Karlen et al., 1997). A degradação do solo em locais onde a agricultura é intensiva e predatória diminui a qualidade do solo, uma vez que existem perdas de matéria orgânica, entradas excessivas de nutrientes, revolvimento intenso do solo e monoculturas (Wander & Drinkwater, 2000).

É de grande dificuldade medir a qualidade do solo, uma vez que envolve diversos processos edáficos. Para tanto são utilizados indicadores de qualidade do solo, porém para que um indicador seja bom, ele deve apresentar alta sensibilidade, aplicabilidade e ter acesso facilitado a todos, principalmente pesquisadores, produtores e entidade governamentais, além de estar intimamente relacionados a propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, fatores esses que refletem no funcionamento do solo como um sistema (Paoletti et al, 1995; Doran & Zeiss, 2000).

Nesse sentido a densidade e diversidade de fauna edáfica, podem ser consideradas bioindicadores de qualidade do solo, principalmente a mesofauna edáfica, uma vez que é muito sensível a variações sazonais e manejo do solo, além de alterar a porosidade do solo, apresentar diversas relações de mutualismo e predação com microrganismos e invertebrados edáficos e participar ativamente na ciclagem de nutrientes no solo (Barbercheck et al., 2009; Gercócs & Huffnagel, 2009).

A mesofauna edáfica compreende pequenos invertebrados, tais como ácaros, colêmbolos, miriápodes, aranhas, pseudoescorpiões e diversas ordens de insetos, além de oligoquetos e crustáceos, que se caracterizam por apresentar diâmetro corporal entre 0,2 e 2 mm (Lavelle, 1997). Também conhecidos pelo termo “transformadores da liteira”, vivem no espaço poroso do solo e da serapilheira.

Na maior parte dos solos, os ácaros oribatídeos são numericamente dominantes e os mais diversos dentre os artrópodes. Eles apresentam forte dominância nos solos de florestas temperadas, onde 10 – 150 espécies podem exceder 100.000 indivíduos m^{-2} (Norton & Behan - Pelletier, 2009), enquanto que em florestas tropicais, como a Amazônia, cerca de 90 – 210 espécies podem chegar a cerca de 15.000 indivíduos m^{-2} (Franklin et al., 2001). Eles se alimentam preferencialmente de material vegetal vivo ou morto e de cadáveres e podem ser predadores de fungos, microalgas e nematóides (Siepel, 1990). Suas fezes representam uma

grande área para a decomposição primária por fungos e bactérias e auxiliam na estruturação do solo. Após a morte eles deixam resíduos nitrogenados no solo (Karyanto et al., 2010).

Sistemas integrados de produção como ILP (integração lavoura-pecuária) e ILPF (integração lavoura-pecuária-floresta) são alternativas de manejo que conciliam a manutenção e até mesmo a elevação da produtividade com maior racionalidade de insumos empregados (Alvarenga & Noce, 2005; Macedo, 2009). Tem-se observado sucesso desses sistemas, uma vez que o acúmulo de palhada por plantas de cobertura ou pastagens e os restos culturais de lavouras comerciais proporcionam um ambiente favorável à recuperação ou à manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Menezes & Leandro, 2004; Balbino et al., 2011). Contudo, poucos trabalhos avaliaram a mesofauna do solo nesses sistemas (Mussury et al., 2002), e não se sabe ainda o efeito da incorporação da pastagem e do elemento florestal nesse sistema sobre a fauna do solo.

Diante disso, o presente estudo teve por objetivo comparar a densidade e diversidade da mesofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo, incluindo ILP e ILPF, visando encontrar possíveis relações da mesofauna com as propriedades edáficas e o manejo do solo.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo localizam-se no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, na Fazenda Modelo do IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná (25° 5' 11" S e 50° 9' 38" W) e no campo experimental da EMBRAPA Produtos e Mercado (25°08’ S e 50°04’ W). Situam-se a uma altitude média de 875 m e possuem clima do tipo Cfb (Köeppen), subtropical úmido, caracterizado por temperaturas anuais médias inferiores a 21°C, amplitude térmica entre 9 °C e 23 °C e precipitação pluvial total anual entre 1.300 a 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (IAPAR, 1978).

Foram avaliados cinco sistemas de uso do solo: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com renques de *Eucalyptus dunnii* (ILPF) e sistema integração lavoura-pecuária (ILP), ambos implantados desde 2006 e remanescente de campo nativo pastejado (CN), localizados na Fazenda Modelo do IAPAR; lavoura em plantio direto desde 1983 (PD) e plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* desde 1993 (EU) localizados no campo experimental da EMBRAPA Produtos e Mercado (APÊNDICE 1).

Em cada sistema de uso do solo foram demarcadas três parcelas de 50 x 100 m (5000 m²), seguindo a declividade do terreno. Os solos em que os sistemas de uso foram implantados são muito semelhantes entre si. A maioria das áreas estão sob Latossolos, porém algumas parcelas se enquadram em Cambissolos devido apenas a menor profundidade do solo (TABELA 1).

TABELA 1. Localização, idade e tipo de solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa - PR.

Localização	Sistema de uso	Idade (anos)	Tipo de solo
IAPAR	ILP	7	Latossolo Vermelho + Cambissolo Háplico
IAPAR	ILPF	7	Latossolo Vermelho
IAPAR	CN	-	Latossolo Vermelho Amarelo + Cambissolo Háplico
EMBRAPA	EU	20	Latossolo Vermelho Distrófico
EMBRAPA	PD	30	Latossolo Vermelho Epieutrófico

Até o inverno de 2006, as áreas situadas na fazenda modelo do IAPAR eram utilizadas para pastagens em uso convencional (extensivo) e estavam com vegetação de pouco valor forrageiro. Posteriormente foram preparadas mediante aração, gradagem e incorporação de 3 ton ha^{-1} de calcário dolomítico para o estabelecimento de um sistema silviagrícola capaz de evoluir para um sistema agrossilvopastoril com árvores da espécie de eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br.) plantadas em fila simples com espaçamento de 14 m x 3 m, alocadas transversalmente ao sentido predominante da declividade do terreno para controle do escoamento superficial das águas da chuva e para que o deslocamento de máquinas e animais fosse predominatemente transversal ao sentido da declividade. As espécies arbóreas foram dispostas alternadamente na mesma linha de plantio (Porfírio da Silva, 2012).

Desde a sua implantação, os sistemas integrados de produção no inverno são cultivados com aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em consórcio pastejados por novilhas da raça Purunã. No verão é cultivado milho (*Zea mays* L.) ou soja (*Glycine max* (L.) Merr) em sistema de rotação bianual (TABELA 2).

Já o Plantio Direto, possui a sequência de cultivos de trigo – soja / aveia – milho / aveia – feijão. Quando cultivado com feijão (*Phaseolus vulgaris*), utilizou-se adubação no plantio, herbicidas, fungicidas, adubação de cobertura e inseticidas (TABELA 3).

TABELA 2. Manejo de culturas em integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Fazenda Modelo do IAPAR no municipio de Ponta Grossa – PR.

Cultivo	Insumos Agrícolas
Aveia preta e Azevém	2,5 L Glifosato, 220 kg ha^{-1} NPK (04:30:10), 200 kg de N ha^{-1} na forma de uréia.
Soja	2,5 L Glifosato+folisuper, classic, select, priori Xtra, endosulfan, certero, nimbus, naja, pivot, dimilin; 72 kg P_2O_5 ha^{-1}, 240 kg K_2O ha^{-1} na semeadura; 42 kg K_2O ha^{-1} na forma de cloreto de potássio 23 dias após o plantio.
Milho	Glifosato, 220 kg ha^{-1} NPK (04:30:10), 200 kg de N ha^{-1} na forma de uréia, atrazina+callisto, lannate.

TABELA 3. Manejo do plantio direto (PD) quando cultivado com feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) na EMBRAPA Produtos e Mercado situada no município de Ponta Grossa – PR.

Adubação plantio	205 kg/ha MAP
Herbicidas	2,4D (1 L ha^{-1}) + Glifosato (2 L ha^{-1}); Flex (700 mL ha^{-1}); Flex 700 mL ha^{-1} + Basagran (800 mL ha^{-1}); Select (400 ml/ha).
Fungicidas	Amistar top (310 mL ha^{-1}); Carbendazim (600 mL ha^{-1}).
Adubação de cobertura	185 kg/ha de uréia; 150 kg/ha de KCl; 1,6 L ha^{-1} de manganês foliar.
Inseticidas	Curion (200 ml ha^{-1}).

1.2.2. AMOSTRAGEM DA FAUNA E DO SOLO

Foram tomadas 8 amostras em cada parcela com auxílio de funis de Berlese modificados, conforme Aquino et al. (2006), de 8 cm de diâmetro nas profundidades de 0 – 5 cm distando no mínimo 15 metros entre si dispostas em dois transectos retos paralelos de 80 metros, distando 30 metros entre si (FIGURA 1), totalizando 120 amostras de mesofauna no inverno de 2012 (agosto de 2012) e 120 amostras no outono de 2013 (abril de 2013).

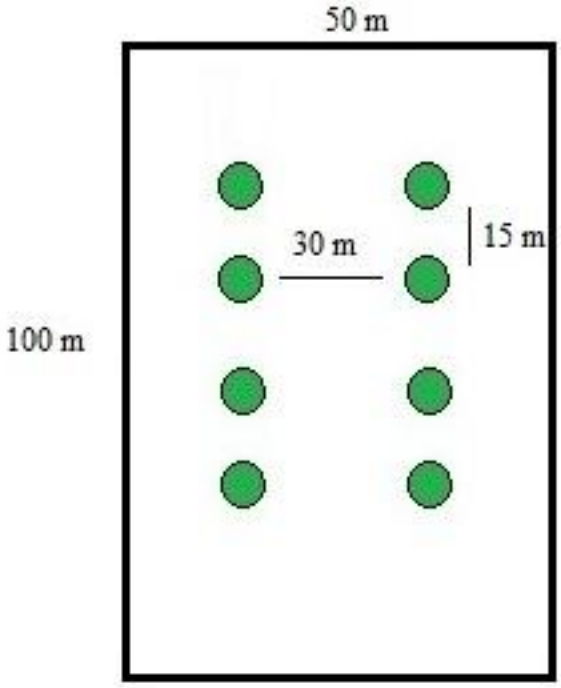


FIGURA 1. Croqui de amostragem de mesofauna edáfica em uma parcela. Distância entre transectos - 30 metros; entre amostras - 15 metros.

Essas amostras permaneceram 7 dias em Baterias extratoras de Berlese sob lâmpadas de 25 W no laboratório de Biologia do Solo da Universidade Federal do Paraná (FIGURA 2).

É válido ressaltar que no inverno os sistemas de ILP e ILPF estavam sendo cultivados com aveia preta (*Avena strigosa*) e no outono, soja (*Glycine Max* (L.) Merr), enquanto que o plantio direto no inverno estava sendo cultivado com aveia preta de cobertura (*Avena strigosa*) e no outono com feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*).

FIGURA 2.Vista em detalhes das bateria extratora de Berlese, onde as amostras permaneceram por 7 dias.

Além disso, em cada ponto de coleta foram retiradas amostras para determinação da umidade gravimétrica e análise de solo. Foram tomadas 5 amostras nas profundidades 0 – 10 cm para realização de análises químicas e granulometria (Embrapa, 1997) e Carbono e Nitrogênio por combustão seca em outubro de 2012 (primavera).

Os invertebrados foram separados e identificados em nível de grandes grupos taxonômicos sob microscópio estereoscópico no Laboratório de Ecologia do Solo na Embrapa Florestas no município de Colombo – PR.

1.2.3.ANÁLISE DOS DADOS

Todos os dados de abundância da mesofauna foram extrapolados para número de indivíduos por m^2, com base na área dos funis de Berlese.

Para o cálculo da diversidade foi utilizada a riqueza (número total e médio de grupos por sistema e número médio de grupos por amostra) e o Índice de Simpson (Is=1-D), sendo D a dominância expressa por $\sum pi^2$, onde pi representa a abundância relativa de cada grupo taxonômico amostrado. Quanto mais próximo o resultado de 1, mais diverso o sistema, pois menor a dominância (Magurran, 2004).

Para a a análise estatística foi realizada análise de variância e teste de Duncan a 5% nos atributos químicos, físicos e biológicos (ordens de mesofauna) do solo. Regressões lineares foram feitas para estabelecer coeficientes de correlação (Pearson) da mesofauna

edáfica com atríbutos químicos e físicos do solo e sistemas de uso. Quando os dados não puderam ser normalizados e/ou as variâncias não foram homogêneas, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Ambos os testes foram realizados usando o programa Statistica versão 7.0 (StatSoft, 2006).

Usando os dados médios das três parcelas de cada sistema de uso do solo na coleta do inverno, e os dados médios da análise de solos das três parcelas realizou-se uma análise de redundância (RDA), visando verificar possíveis relações entre a mesofauna e os atributos físicos e químicos edáficos. Para testar a significância da análise de redundância foi utilizado o teste de Monte Carlo. Essas análises foram realizadas usando o programa CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 2002).

A análise de redundância foi realizada usando a média dos dados das três parcelas, pois havia apenas 5 amostras de solo e 8 de mesofauna, e porque o solo para análises químicas e físicas foi coletado somente em uma data. Realizou-se uma RDA e não CCA porque na análise de correspondência (DCA) o comprimento do gradiente foi < 3,0, conforme sugerido por Ter Braak & Smilauer (1998).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. ANÁLISE DE SOLO

De maneira geral, os solos em que os sistemas de uso estão implantados são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica. Além disso apresentam elevados teores de areia e reduzidos teores de argila (TABELA 4), uma vez que na região de estudo é muito frequente a ocorrência de rochas sedimentares e em um passado muito remoto a região era fundo de mar (Melo et al., 2007).

O CN e o EU apresentaram menor saturação por bases e elevada acidez potencial, o que contribuiu para o aumento da CTC (TABELA 4). Esses sistemas também apresentaram baixa concentração de P devido à ausência de adubação. Já tanto o ILPF quanto o PD apresentaram menor relação C/N, o que pode facilitar processos de decomposição (Seastedt, 1984; Dias et al., 2006; Sun et al., 2013).

TABELA 4. Atributos químicos e físicos do solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) nas profundidades de 0 – 10 cm no município de Ponta Grossa – PR.

		ILP	ILPF	CN	EU	PD
$cmol_c\ dm^{-3}$	pH $CaCl_2$	5,00a*	5,17a	3,81c	3,71c	4,48b
	Al	0,07b	0,007b	1,03a	1,95a	0,19b
	H+Al	3,12c	2,93c	7,10a	8,04a	5,05b
	Ca	3,50a	3,03a	0,80b	0,10b	3,14a
	Mg	1,47a	1,10a	0,53b	0,14b	1,12a
	K	0,24b	0,20b	0,13c	0,06d	0,40a
	Na	0,01b	0,01b	0,01b	0,02a	0,01b
	SB	5,21a	4,35a	1,46b	0,32b	4,67a
	CTC	8,33ab	7,28b	8,57ab	8,36ab	9,71a
%	V	62,20a	59,32a	15,88c	4,11d	47,92b
	m	0,82bc	0,09c	12,64a	25,94a	2,15b
	Umidade	8,68a	8,81a	8,90a	10,88a	10,37a
$g\ dm^{-3}$	C	12,41ab	10,37b	15,03a	16,60a	14,47ab
	N	0,61b	0,59b	0,8ab	0,75ab	1,03a
	C/N	22,06a	17,84b	18,98ab	22,10a	14,14c
ppm	P	25,51b	35,57ab	3,73c	2,27c	45,99a
$g\ kg^{-1}$	Areia	715,80ab	740,47a	720,80a	676,90bc	646,33c
	Silte	210,67b	200,00b	202,67b	236,00ab	281,33a
	Argila	73,53ab	59,53b	76,53ab	87,10a	72,33ab

*Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Os sistemas integrados de produção e o plantio direto apresentaram maior pH, elevada saturação por bases, acidez potencial reduzida e elevadas concentrações de P, uma vez que regularmente o solo em que esses sistemas estão inseridos é tratado com fertilizantes e o pH é regularmente corrigido.

1.3.2. MESOFAUNA NO INVERNO

No inverno o PD apresentou a maior densidade total de mesofauna edáfica (1232 indivíduos m^{-2}) quando comparado aos demais sistemas de uso do solo (TABELA 5). É possível que esse sistema de uso favoreça a mesofauna edáfica, principalmente os ácaros, já que os resíduos vegetais depositados na superfície do solo criam microhabitats favoráveis para o desenvolvimento desses microartrópodes no solo (Bzuneck & Santos, 1991).

TABELA 5. Densidade média (indivíduos m^{-2}) e diversidade de grupos de mesofauna edáfica em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no inverno de 2012.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Acari Oribatida	**233b**	**220bc**	**103c**	**183bc**	**1101a**
Acari Predadores	**92ab**	**66b**	**12c**	**170a**	**80ab**
Acari Total	**325b**	**286b**	**115c**	**353b**	**1181a**
Collembola	**106ab**	**281a**	**20c**	**57bc**	**17c**
Araneae	3a	1a	2a	5a	1a
Coleoptera Adulto**	9a	9a	7a	12a	9a
Coleoptera Larva	7a	4a	2a	0a	4a
Coleoptera Total	16a	13a	9a	12a	13a
Hymenoptera	**2b**	**29ab**	**43a**	**11ab**	**8ab**
Diplura**	0a	1a	1a	0a	0a
Protura**	0a	2a	0a	0a	0a
Thysanoptera	6a	7a	4a	6a	7a
Hemiptera**	0a	0a	15a	0a	0a
Diptera Larva**	1a	1a	0a	1a	3a
Chilopoda**	0a	0a	0a	3a	0a
Blattodea**	0a	0a	2a	0a	0a
Outros***	**4ab**	**8a**	**2b**	**2b**	**2b**
Total	**463b**	**629b**	**213c**	**450b**	**1232a**
Riqueza total	7	9	9	8	7
Riqueza média (Sistema)	5,67a	6,33a	6,33a	6,00a	5,33a
Riqueza por amostra	2,58a	2,96a	2,50a	3,04a	2,25a
Dominância (Sistema)	**0,55bc**	**0,48c**	**0,38d**	**0,64b**	**0,91a**
Simpson (Sistema)	**0,45bc**	**0,52b**	**0,62a**	**0,36c**	**0,09d**

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.
***Outros: Soma de organismos que não puderam ser identificados.

Por outro lado o CN apresentou menor densidade de mesofauna edáfica (TABELA 5), possivelmente devido ao tamanho reduzido dos componentes vegetais, já que a grande

maioria das plantas são herbáceas, não há adubação e a quantidade de serapilheira (principal fontes de alimento para a mesofauna) foi menor, provavelmente por haver tido um largo período de tempo anterior com baixa precipitação e temperatura.

Todos os sistemas de uso do solo avaliados apresentaram maior densidade de ácaros oribatídeos do que ácaros predadores. Ácaros oribatídeos são importantes, uma vez que são considerados os pioneiros do equilíbrio. São indivíduos *K* estrategistas e apresentam tempo de vida longo, grande tamanho corporal, baixo poder de dispersão, alta taxa de sobrevivência, alto investimento em defesa e outros mecanismos de competição e densidade populacional constante de geração a geração. Por outro lado, também importantes, uma vez que preparam o ecossistema para que indivíduos *K* estrategistas se estabeleçam, ácaros predadores são *r* estrategistas, típicos de ambientes perturbados ou em regeneração, uma vez que apresentam tamanho reduzido, alto poder de dispersão, mortalidade dependente da densidade, alta fecundidade e densidade populacional muito variável (Southwood, 1977; Greenslade, 1983).

O sistema ILPF apresentou maior densidade de colêmbolos quando comparado a CN, EU e PD, enquanto que CN obteve maior densidade de Hymenoptera quando comparado a ILP. A categoria outros, atribuída a indivíduos que não puderam ser identificados, obteve maior densidade em ILPF quando comparado a CN, EU e PD (TABELA 5).

No total, no inverno foram identificados 12 grupos da mesofauna nas amostras, mas a riqueza nos diferentes sistemas de uso variou apenas entre 7 e 9 grupos. A riqueza média por amostra e a riqueza média por sistema não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, porém, o índice de Simpson foi maior em CN e menor em PD (TABELA 5). Esse reduzido índice de Simpson em PD se deve a elevada densidade do grupo Acarina, o que eleva a dominância nesse sistema.

A abundância total da mesofauna se correlacionou positivamente com os teores de K, P e silte no solo e negativamente com a relação C/N e areia (TABELA 6). Isso se deve provavelmente a que o grupo mais abundante (ácaros oribatídeos) também se relacionou da mesma forma com esses parâmetros. A relação negativa com a relação C/N pode estar indicando a preferência desses grupos da mesofauna edáfica por compostos com baixa relação C/N no solo, ou seja, compostos que são mais facilmente degradados. Esses resultados corroboram com Krivtsov et al. (2003), que encontraram correlações positivas de bactérias, umidade e matéria orgânica do solo com populações de nematóides, indicando preferência alimentar da mesofauna por compostos mais facilmente assimiláveis.

A Ordem Collembola se correlacionou positivamente com o pH e com teores de areia e negativamente com Carbono, indicando da mesma forma preferência alimentar por compostos mais facilmente degradados (TABELA 6). Krivtsov et al. (2003) encontraram correlações positivas entre *Folsonia cândida* e pH, uma vez que essa espécie diminui a quantidade de fugos ectomicorrízicos no ecossistema. Esses mesmos autores constataram que *Folsonia quadriculata* e o grupo Acarina são positivamente correlacionados com ergosterol e raízes de plantas, promovendo aumento na quantidade de fungos pela própria atividade desses grupos.

Por outro lado Chilopoda se correlacionou positivamente com teores de Na e com a acidez potencial, enquanto que as larvas de Coleoptera se correlacionaram positivamente com o pH e com a soma de bases.

A maioria dos grupos que obtiveram alguma correlação com atributos físicos do solo se correlacionou negativamente com teores de areia, indicando que a mesofauna edáfica prefere locais com menores teores de areia para sobrevivência.

A análise de redundância explicou 57,9% da variação nos dados, sendo que 39,7% dessa variação foi explicada pelos dois primeiros eixos. Desses, 91,3% foram explicados pelas relações entre os grupos e os atributos físicos e químicos do solo (FIGURA 3), indicando que o solo foi importante para explicar a presença e abundância da mesofauna nos sistemas. Essas relações são altamente significativas, uma vez que a permutação de Monte Carlo apresentou p=0,0360 de significância para os dois primeiros eixos e p=0,0080 de significância para todos os eixos da RDA. Esses resultados confirmam as observações anteriores baseadas nos coeficientes de correlação de Pearson (TABELA 6).

Em CN, nos solos com menor pH, houve maior densidade de Hemiptera e Blattodea, enquanto que em PD, os elevados valores de P, umidade, silte, CTC e a baixa relação C/N favoreceram os grupos de ácaros oribatídeos e larvas de Diptera, bem como o total de indivíduos, uma vez que o grupo Acarina foi o mais abundante dos coletados, principalmente em PD (FIGURA 3).

TABELA 6. Correlações de Pearson significativas entre atributos químicos e físicos do solo e a abundância de seletos grupos da mesofauna edáfica na amostragem de inverno de 2012 independente dos sistemas de uso do solo no município de Ponta Grossa – PR.

Grupos	Ca	Mg	Na	K	CTC	SB	V%	H+Al	pH	C	C/N	N	P	Areia	Silte
Acari Oribatida	-	-	-	0,80	-	-	-	-	-	-	-0,63	0,61	0,60	-0,63	0,65
Acari Predador	-	-	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acari Total	-	-	-	0,74	-	-	-	-	-	-	-0,57	0,59	0,56	-0,66	0,67
Collembola	-	-	-	-	-	-	-	-0,52	0,59	-0,55	-	-	-	0,56	-
Aranae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	-	-	-	-
Larva Coleoptera	0,63	0,78	-	-	-	0,67	0,57	-	0,53	-	-	-	-	-	-
Protura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	-	-	-	-	-
Larva Diptera	-	-	-	0,69	0,64	-	-	-	-	-	-0,55	0,63	-	-0,57	0,68
Chilopoda	-	-	0,73	-	-	-	-	0,54	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	0,74	-	-	-	-	-	-	-0,60	-	0,65	-0,52	0,58

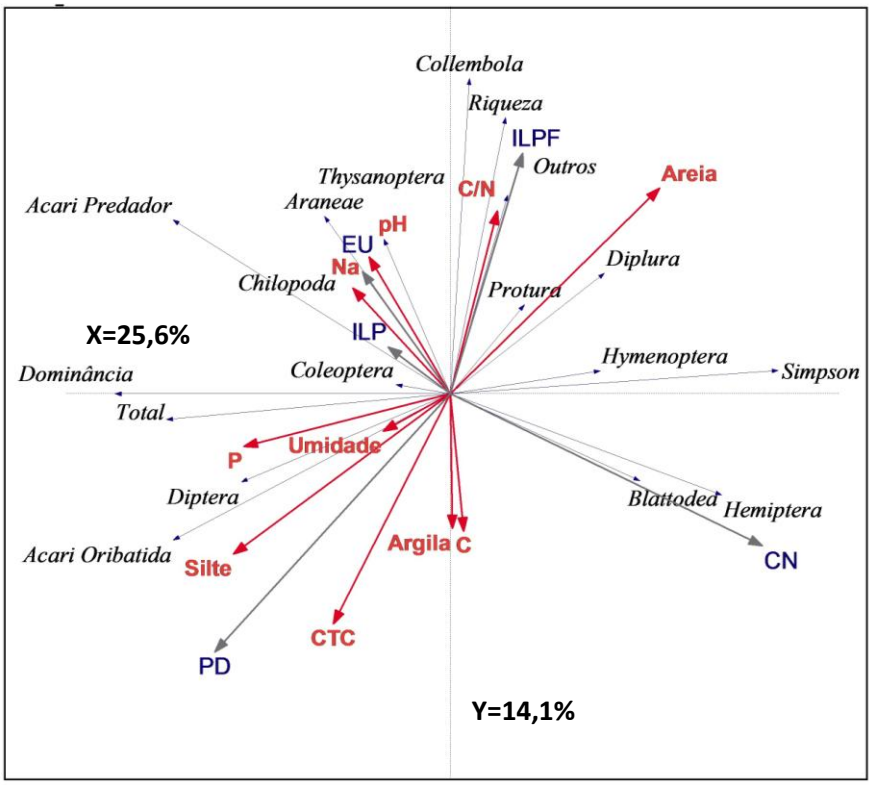


FIGURA 3. Triplot da Análise de Redundância da abundância da mesofauna do solo (média das três parcelas no inverno de 2012) com os sistemas de uso do solo (letras azuis) e os atributos químicos e físicos do solo (setas vermelhas). ILP – integração lavoura-pecuária; ILPF – integração lavoura-pecuária-floresta; CN – campo nativo pastejado; EU – plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD – plantio direto.

As parcelas de EU e ILP estiveram associadas a elevadas densidades de ácaros predadores, Chilopoda, Coleoptera e Araneae e a maiores teores de pH e Na, ao passo que as parcelas com ILPF estiveram associadas aos grupos Collembola, Protura, Diplura, à maior riqueza de grupos e maiores teores de areia e relação C/N (FIGURA 3). O PD, associado à elevada densidade de ácaros, Diptera e o total de indivíduos, esteve associado a maiores teores de CTC, P, silte e umidade do solo. Por outro lado, o CN esteve associado a maiores valores de índice de Simpson, maior abundância de Blattodea e Hemiptera e a maiores teores de argila e C no solo (FIGURA 3).

1.3.2. MESOFAUNA NO OUTONO

No outono não foram constatadas diferenças significativas na abundância total de mesofauna entre os tratamentos (TABELA 7), uma vez que a variabilidade dos dados foi

muito grande. Porém o sistema em plantio direto apresentou tendência a uma menor densidade de indivíduos quando comparado aos demais sistemas de uso do solo. Esse resultado pode ser atribuído à aplicação de fungicidas, inseticidas e herbicidas no manejo do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) em plantio direto (TABELA 3), cultura que estava estabelecida no período da coleta de outono.

A aplicação de fungicidas e herbicidas no solo tem um efeito indireto na fauna edáfica. A utilização de fungicidas elimina os fungos, que servem de alimento para muitas ordens da fauna edáfica, o que resulta na morte de muitos indivíduos (Gupta, 1994). O uso de herbicidas acarreta na eliminação de ervas daninhas, o que diminui o aporte de material vegetal e a própria rizosfera no solo, reduzindo a quantidade de nichos disponíveis e alimento para a fauna, eliminando muitos microartrópodes (Gun & Cherret, 1993; Pollierer et al., 2007). Por outro lado a utilização de inseticidas tem por próprio objetivo a eliminação de artrópodes e pragas no solo, afetando diretamente os organismos que vivem no solo (Paoletti et al., 1995).

O grupo Acarina apresentou maior densidade em ILP quando comparado a CN e PD, enquanto que Collembola apresentou maior densidade em EU quando comparado a ILP, ILPF e PD (TABELA 7). Possivelmente os insumos agrícolas aplicados pouco antes das coletas em PD tenham afetado os ácaros e colêmbolos. Porém a elevada densidade de colêmbolos em EU pode estar associada a maior quantidade de liteira nesse sistema, uma vez que foram coletados muitos organismos epigeicos. Por outro lado, Mussury et al. (2002) encontraram maior densidade de ácaros e colêmbolos em pastagem contínua quando comparada a ILP e PD. Essa maior quantidade de ácaros e colêmbolos em ambientes pastejados é reflexo dos resíduos vegetais, somados as fezes do gado depositadas no solo, especialmente no sistema ILP.

O ILP apresentou maior densidade total de Coleoptera quando comparado aos demais sistemas de uso do solo, ao passo que Hemiptera apresentou maior densidade em CN quando comparado a ILP e ILPF (TABELA 7).

TABELA 7. Densidade média (indivíduos m^{-2}) e diversidade de grupos de mesofauna edáfica em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no outono de 2013.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Acari Oribatida	**793a**	**216ab**	**89b**	**353ab**	**189b**
Acari Predadores	**250a**	**51b**	**47b**	**85ab**	**14b**
Acari Total	**1043a**	**269ab**	**136b**	**438ab**	**203b**
Collembola	**132b**	**37c**	**131ab**	**322a**	**45b**
Araneae	4a	1a	2a	4a	1a
Coleoptera Adulto	**15a**	**8ab**	**0c**	**17a**	**3bc**
Coleoptera Larva	**26a**	**11ab**	**2b**	**3b**	**5b**
Coleoptera Total	**41a**	**19b**	**2c**	**20b**	**8c**
Hymenoptera	**57ab**	**36b**	**973a**	**46ab**	**44ab**
Diplura**	0a	0a	1a	1a	0a
Protura**	0a	0a	280a	1a	8a
Thysanoptera	1a	1a	16a	8a	6a
Hemiptera	**3b**	**2b**	**12a**	**3ab**	**9ab**
Diptera Larva**	1a	4a	0a	1a	1a
Chilopoda**	1a	0a	0a	8a	0a
Diplopoda**	1a	0a	0a	0a	0a
Blattodea**	0a	1a	0a	1a	0a
Isopoda**	0a	2a	0a	1a	0a
Enchytraeidae**	1a	0a	0a	0a	2a
Outros***	1a	2a	9a	3a	4a
Total	1286a	374a	1562a	857a	331a
Riqueza Total	11	10	9	13	10
Riqueza média (Sistema)	10,00a	9,00a	6,33a	9,00a	7,33a
Riqueza por Amostra	3,17a	2,88a	3,21a	3,83a	2,83a
Dominância (Sistema)	0,56a	0,43a	0,50a	0,41a	0,38a
Simpson (Sistema)	0,44a	0,57a	0,50a	0,59a	0,62a

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.
***Outros: Soma de organismos que não puderam ser identificados.

É válido ressaltar que em apenas duas amostras de CN, foram contados 336 indivíduos pertencentes à Classe Protura e 1043 indivíduos pertencentes à Ordem Hymenoptera, respectivamente. Isso ocorre comumente em amostragens de fauna edáfica, uma vez que a distribuição dos organismos não é uniforme no ecossistema. Nesses casos, é importante buscar descobrir o porquê dessas fortes alterações populacionais, visando um melhor entendimento ecológico do solo. Por isso, optou-se por não eliminar esses *outliers* da análise estatística.

Protura é uma Classe de invertebrados edáficos que ocorre em ambientes onde existe matéria orgânica em decomposição e umidade suficiente, podendo ocorrer junto com musgos e liquens nas camadas superiores do solo (Pass & Szucsich, 2011). Além disso, possuem ocorrência dependente de fungos micorrízicos (Malmstrom & Persson, 2011). Krivtsov et al. (2003) encontraram correlações entre a espécie de Collembola *Folsonia candida* e a Classe Protura, indicando que esses grupos possivelmente se alimentam de fungos ectomicorrízicos.

No total, no outono foram identificadas 15 grupos nas amostras, e a riqueza variou entre 9-13 grupos nos diferentes sistemas estudados. Essa riqueza foi maior do que no inverno em todas os sistemas de uso (exceto CN onde foram encontrados 9 grupos novamente), e seguiu a ordem decrescente EU>ILP>PD=ILP>CN. A diversidade de grupos não diferiu entre os sistemas de uso do solo (TABELA 7), porém houve clara tendência de maiores valores nos sistemas integrados e em EU do que em CN e PD.

Moço et al. (2005) trabalhando com mesofauna edáfica na região norte fluminese encontraram um total de 566 individuos m^{-2} em áreas de pastagens, sendo que 23 indivíduos m^{-2} pertenciam a Ordem Collembola, e 496 indivíduos m^{-2} em áreas de eucalipto (*Corymbia citriodora*). Destes 15 indivíduos m^{-2} pertenciam a Ordem Collembola com riqueza total variando entre 8 e 10 grupos taxonômicos em eucalipto e 6 grupos em pastagem. O grupo dominante nesse trabalho foi a Ordem Hymenoptera. O presente estudo apresentou em campo nativo pastejado densidade total entre 213 e 1562 indivíduos m^{-2} e um total de 9 unidades taxonômicas, enquanto que em *Eucalyptus dunnii* a densidade variou entre 450 e 857 indivíduos m^{-2} e foi encontrada riqueza variando entre 8 e 13 unidades taxonômicas. Vale a pena ressaltar que esse foi o primeiro estudo realizado com comunidades de mesofauna em ILPF no Brasil.

Lucchesi (1988) encontrou em PD na região de São Mateus do Sul 2140 ácaros m^{-2} e 1480 colembolos m^{-2}, enquanto que o presente estudo encontrou densidade de ácaros variando entre 203 a 1181 indivíduos m^{-2} e densidade de colêmbolos variando entre 17 e 45 indivíduos $m\text{-}^{2}$. Dessa forma, além de características físicas e químicas do solo e manejo, o microclima edáfico pode também ter influenciado a distribuição de microartrópodes no solo (Rebek et al., 2002).

1.4. CONCLUSÕES

Ácaros foram os organismos que obtiveram maior densidade entre os grupos da mesofauna edáfica nas duas datas de coleta.

No inverno, a densidade total de indivíduos foi superior em PD e a diversidade foi superior em CN quando comparada aos demais sistemas de uso do solo.

Por outro lado no outono não foram constatadas diferenças significativas na densidade total de fauna amostrada, nem na diversidade de ordens entre os sistemas de uso do solo, possivelmente devido a grande variabilidade dos dados de densidade. Porém, o PD apresentou tendência a menor densidade entre os sistemas de uso, uma vez que houve aplicação de inseticidas, herbicidas e fungicidas poucos dias antes da coleta de outono.

Os grupos não apresentaram mesma tendência de ocorrência nem os indivíduos a mesma distribuição entre os tratamentos nas duas datas de coleta. Características físicas e químicas do solo, especialmente, areia, silte, P, C, relação C/N, CTC e pH, bem como diferentes sistemas de uso do solo e o clima afetaram a densidade e diversidade da mesofauna edáfica.

1.5. LITERATURA CITADA

ALVARENGA, R. C. & NOCE, M. A. Integração lavoura-pecuária. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16p.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F. & BADEJO, M. A. Amostragem da mesofauna edáfica utilizando funis de Berlese – Tulgren modificado. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2006. 4p.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos, 2011. 130p.

BARBERCHECK, M. E.; NEHER, D. A.; ANAS, O.; EL ALLAF, S. M. & WEICHT T. R. Response of soil invertebrates across three resource regions in North Carolina. Environmental Monitoring and Assessment, 152: 283-298, 2009.

BZUNECK, H. L. & SANTOS, H. Efeito de dois sistemas de prepare do solo e de sucessões de culturas na população dos ácaros Galumnidae (Cryptostigmata). Revista Ciência Agrária, 11:1-2, 1991.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. M. & FRANCO, A.A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de hibrido de *Digitaria*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41:1015-1021, 2006.

DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustaintability: managing the biotic compont of soil quality. Aplied Soil Ecology, 15:3-11, 2000.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FRANKLIN, E. N.; MORAIS, J. W. & SANTOS, E. M. R. Density and biomass of Acari and Collembola in primary Forest, secondary regrowth and polycultures in the central Amazonia. Andrias, 15:141-153, 2001.

GERCÓCS V. & HUFNAGEL, L. Aplication of oribatid mites as indicators. Aplied Ecology and Environmental Research 1:79-98, 2009.

GREENSLADE, P. J. M. Adversity selection and the habiat templet. The American Naturalist, 122:352-365, 1983.

GUN, A. & CHERRETT, J. M. The exploitation of food resources by soil meso and macroinvertebrates. Pedobiologia, 37:303-320, 1993.

GUPTA, V. V. S. R. The impact and crop management practices on the dynamics of soil microfauna and mesofauna. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. & GRACE, P. R. Soil Biota: Management in sustainable farming systems. Melbourne, CSIRO, 1994. p. 107-124.

IAPAR. Cartas climáticas básicas do estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1978.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F. & SCHUMAN, G, E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal, 61:4-10, 1997.

KARYANTO, A.; RAHMADIC.; FRANKLIN, E.; SUSILO, F. X. & MORAIS, J. W. Collembola, Acari e outros grupos da mesofauna do solo – O método de Berlese. In MOREIRA, F. M. S.; BIGNEL, D. E. & HUISING, E. J. Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras, Editora UFLA, 2010. 367p.

KRIVTSOV, V.; ILLIAN, J. B.; LINDELL, K.; GARSIDE, A.; BEZGINOVA, T.; SALMOND, R.; THOMPSON, J.; GRIFFITHS, B.; STAINES, H. J.; WATLING, R.; BRENDLER A. & PALFREYMAN, J. W. Some aspects of complex interactions involving soil mesofauna: analysis of the results from a Scottish woodland. Ecological Modelling, 170:441-452, 2003.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecossystem function. Advances in Ecological Research, 27:93-132, 1997.

LUCCHESI, L. A. C. Influência de sucessão de culturas forrageiras e adubação sobre a recuperação de algumas características de um solo degradado pela mineração do xisto e sobre a sua mesofauna edáfica (Acari e Collembola). Dissertação de mestrado em agronomia apresentada na Universidade Federal do Paraná, 1988. 252p.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia, 38:133-146, 2009.

MAGURRAN, A. Measuring biological diversity, 2004. 275p.

MALMSTROM, A. & PERSSON, T. Response of Colembola and Protura to tree girdling – some support for ectomycorrhizal feeding. Soil Organisms, 83:279-285, 2011.

MELO, M. S.; MORO, R. S. & GUIMARÃES, G. B. Patrimônio natural dos Campos Gerais. Ponta Grossa, Editora UEPG, 2007. 230p.

MENEZES, L. A. S. & LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de cobertura do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical. 34:173-180, 2004.

MOÇO, M. K. S.; CORREIA, M. E. F; RODRIGUES, A. C. G. & RODRIGUES, E. F. G. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:555-564, 2005.

MUSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q.; SILVA, S. V. & SOLIGO, V. R. Study of acari and collembola population in four cultivations systems in Dourados-MS. Brazilian Archives of Biology and Technology, 45:257-264, 2002.

NORTON, R. A. & BEHAN – PELLETIER, V. "Suborder Oribatida". In KRANTZ G. W. & WALTER D. E. A manual of acarology. Texas Tech University Press, Texas, 2009. 816 p.

PAOLETTI, M. G; SCHWEIGL, U & FAVRETTO, M. R. Soil macroinvertebrates, heavy metal and organochlorines in low and high input apple orchards and a coppiced woodland. Pedobiologia, 39:20-33,1995.

PASS, G. & SZUCSICH, N. U. 100 years of research on the Protura: many secrets still retained. Soil Organisms: 83:309-334, 2011.

POLLIERER, M. M.; LANGEL, R.; KORNER, C.; MARAUM, M. & SCHEU, S. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. Ecology Letters, 10:729-736, 2007.

PORFIRIO DA SILVA, V. Produtividade em sistema de integração lavoura pecuária floresta no subtrópico brasileiro. Tese de doutorado em Agronomia apresentada na Universidade Federal do Paraná, 2012. 110 p.

REBEK, E. J.; HOGG, D. B. & YOUNG, D. K. Effect of four cropping systems on the abbundance and diversity of epedaphic springtails (Hexapoda: Parainsecta: Collembola) in southern Wisconsin. Environmental Entomology, 31:37-46, 2002.

SEASTEDT, T. R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. Annual Review of Entomology, 29:25-46, 1984.

SIEPEL, H. Niche relationships between two panphytophagous soil mites, *Nothrus silvestris* Nicolet (Acari, Oribatida, Nothridae) and *Platynothrus peltifer* (Koch) (Acari, Oribatida, Camisiidae). Biology and. Fertility of. Soils, 9:139-144, 1990.

SOUTHWOOD, T. R. E. Habitat, the template for ecological strategies? Journal of Animal Ecology, 46:337-365, 1977.

STATSOFT INC. STATISTICA (Data Analysis Software System). Version 7. Inc Tulsa, 2006.

SUN, T.; MAO, Z. & HAN, Y. Slow decomposition of very fine roots and some factors controlling the process: a 4-year experiment in four temperate tree species. Plant and Soil, 372:445-458, 2013.

TER BRAAK, C. J. F. & SMILAUER, P. Canoco reference manual and Cano Draw for Windows user's guide: software for canonical community ordination. Version 4.5. Ithaca: Microcomputer Power, 2002. 500 p.

TER BRAAK, C. J. F. & SMILAUER, P. Canoco reference manual and user's guide to canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4). Ithaca: Microcomputer Power, 1998.

WANDER, M. M. & DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. Aplied Soil Ecology, 15:61-73, 2000.

CAPÍTULO 2. MACROFAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR

RESUMO

A macrofauna edáfica é representada pela comunidade de invertebrados com 2 a 20 mm de diâmetro corpóreo que vive permanentemente ou passa ao menos uma fase de seu desenvolvimento no solo ou na serapilheira. A comunidade de invertebrados é sensível à sazonalidade e ao manejo do solo, além estar intimamente relacionada a processos físicos, químicos e biológicos do solo. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a densidade, diversidade e biomassa da macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo, visando identificar modificações na estrutura da comunidade de invertebrados em decorrência do manejo e de características físicas e químicas do solo. Para tanto foram selecionadas 5 sistemas de uso do solo: integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio direto (PD) e plantio florestal de *Eucayptus dunnii* (EU) no município de Ponta Grossa – PR. Para cada sistema delimitou-se 3 parcelas de 50 X 100 m, e foram retirados 5 monólitos de solo de 25 X 25 cm de lado nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, distando 20 metros, ao longo de um transecto central em duas ocasiões: primavera de 2012 e outono de 2013. Em cada camada do monólito de solo durante a primavera, foram retiradas amostras para análise de rotina, granulometria e umidade do solo. Os monólitos foram triados manualmente e os invertebrados encontrados foram conservados em álcool 70%, identificados em nível de grandes grupos taxonômicos e pesados. A diversidade foi calculada usando a riqueza de ordens e o índice de Simpson. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Duncan a 5%, e foram realizadas regressões e análise multivariada (RDA) para estabelecer relações da macrofauna com características químicas e físicas do solo. A densidade total de indivíduos foi maior em CN, enquanto a riqueza foi maior em ILP e CN. O índice de Simpson foi menor em CN, uma vez que houve dominância da Ordem Isoptera nesse sistema nas duas épocas de coleta. A biomassa foi maior em CN, devido à contribuição de minhocas e cupins e em ILP, pela contribuição de minhocas e besouros. Características físicas e químicas do solo, sobretudo P, K, pH, Mg, C, relação C/N, areia e silte e o manejo influenciaram significativamente a densidade e diversidade da macrofauna edáfica.

Palavras chave: Macrofauna, ILP, ILPF, densidade, diversidade, solo.

CHAPTER 2. SOIL MACROFAUNA IN LAND USE SYSTEMS IN PONTA GROSSA-PR

ABSTRACT

The soil macrofauna is represented by invertebrates between 2 – 20 mm body width that live permanently in soil or on its surface. Soil management, chemical and physics soil characteristics as well as seasonality can alter macrofauna density and diversity. Thus the aim of this study was to assess the diversity, abundance and biomass of soil macrofauna under different land use systems in order to identify changes due land management and soil properties. Thus 5 land use systems were chosen: crop-livestock integration (ILP), crop-livestock-forestry integration (ILPF), grazed native pasture (CN), no tillage (PD) and *Eucalyptus dunnii* plantation (EU) in Ponta Grossa – PR. Each system had three 50 x 100 m plots and five soil monoliths (25 x 25 cm and 0-10 and 10-20 cm deep) were taken along a central transect in two seasons: Spring (2012) and Autumn (2013). From each layer of the soil monolith in Spring, samples were removed for chemical, physical analyses and for soil moisture. The monoliths were handsorted and the invertebrates preserved in alcohol 70%, identified and weighed (fresh biomass). Diversity (order richness and Simpson index) were calculated and Duncan tests, nonparametric statistics and multivariate analysis were performed to assess macrofauna relationships with land use, and soil chemical and physical characteristics. Higher density was found in grazed native pasture while richness was higher in crop-livestock integration and grazed native pasture. Simpson diversity was lower in grazed native pasture, where Isoptera was dominant in both seasons. Grazed native pasture and crop-livestock integration had the highest biomass. Chemical and physical soil characteristics, like P, K, pH, Mg, C, C/N ratio, sand and silt and land use significantly influenced soil macrofauna density and diversity.

Key – words: Macrofauna, tillage, density, diversity, soil.

2.1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento na demanda por alimentos e aos diversos impactos negativos do ser humano aos ecossistemas terrestres, atualmente tem-se enfatizado muito os sistemas conservacionistas de produção, sobretudo o plantio direto, caracterizado pelo não revolvimento do solo, manutenção de pelo menos 30% de cobertura do solo e rotação de culturas diversificadas, o que propicia melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Derpsh et al., 2010).

Sistemas integrados de produção como ILP (integração lavoura-pecuária) e ILPF (integração lavoura-pecuária-floresta) são também alternativas de manejo que conciliam a manutenção e até mesmo elevação da produtividade com maior racionalidade de insumos empregados (Alvarenga & Noce, 2005; Macedo, 2009). Tem-se observado sucesso desses sistemas, uma vez que o acúmulo de palhada por plantas de cobertura ou pastagens e os restos culturais de lavouras comerciais proporcionam um ambiente favorável à recuperação ou à manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Menezes & Leandro, 2004; Balbino et al., 2011), além de favorecer a macrofauna edáfica (Silva et al., 2006; Marchão et al., 2008).

A macrofauna é composta por invertebrados que apresentam diâmetro corporal entre 2 e 20 mm e podem pertencer a todos os grupos encontrados na mesofauna excetuando-se ácaros, colêmbolos, proturos e dipluros (Lavelle et al., 1997). Esses organismos, principalmente cupins, minhocas, formigas e artrópodes maiores, são chamados de "engenheiros do ecossistema" por afetarem profundamente a estrutura do solo e criarem habitats para o desenvolvimento de outros organismos (Lavelle, 1997).

Quando presentes no solo desempenham um papel fundamental na regulação dos processos edáficos. Esses engenheiros ingerem ou movimentam uma mistura de partículas minerais e orgânicas e seus pellets fecais são grandes e contêm matéria orgânica estabilizada; conseguem digerir substratos complexos com alta relação C/N, já que possuem uma eficiente digestão com relações mutualísticas internas e associadas com a microflora do solo. Atuam na pedogênese e na física do solo em diferentes escalas espaço-temporais, uma vez que criam diversas e abundantes estruturas no solo (Lavelle, 1997). As galerias, buracos e estruturas criadas pela macrofauna melhoram a infiltração de água e aeração do solo (Blanchart et al., 1997; Saar et al., 2001).

Fatores como clima, tipo de solo, vegetação e o manejo do solo influenciam a diversidade, densidade e biomassa de organismos da macrofauna edáfica, o que os torna bons indicadores da qualidade do solo, uma vez que suas funções se encontram intimamente relacionadas com propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, refletindo no funcionamento do sistema solo (Doran & Zeiss, 2000; Lavelle & Spain, 2001; Anderson, 2009; Baretta et al., 2010). Contudo, ainda são pouco conhecidas as relações entre as populações da macrofauna do solo e as propriedades edáficas em sistemas produtivos, especialmente nos sistemas integrados de produção (ILP e ILPF), que estão se tornando cada vez mais populares e expandindo em área a cada ano (Mapa, 2014). Além disso, ainda faltam dados sobre a relação da fauna com outros tipos de ecossistemas como plantios de *Eucalyptus*, também em franca expansão no país (Abraf, 2013).

Diante disso, o presente estudo teve por objetivo comparar a densidade, diversidade e biomassa da macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo com intuito de encontrar possíveis relações de macrofauna com processos edáficos.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo situam-se no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, na Fazenda Modelo do IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná (25° 5' 11" S e 50° 9' 38" W) e no campo experimental da EMBRAPA Produtos e Mercado (25°08’ S e 50°04’ W).

Foram avaliados cinco sistemas de uso do solo: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com renques de *Eucalyptus dunnii* (ILPF) e sistema integração lavoura-pecuária (ILP), ambos implantados desde 2006 e remanescente de campo nativo pastejado (CN), localizados na Fazenda Modelo do IAPAR; lavoura em plantio direto desde 1983 (PD) e plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* desde 1993 (EU) localizados no campo experimental da EMBRAPA Produtos e Mercado (APÊNDICE 1).

As áreas situam-se a uma altitude média de 875 m e possuem clima do tipo Cfb (Köeppen), subtropical úmido, caracterizado por temperaturas anuais médias inferiores a 21°C, amplitude térmica entre 9 °C e 23 °C e precipitação pluvial total anual entre 1.300 a 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (IAPAR, 1978).

Em cada sistema de uso do solo foram marcadas três parcelas de 50 x 100 m (5000 m^2), normalmente seguindo a declividade do terreno.

Os solos em que os sistemas de uso foram implantados são muito semelhantes entre si. A maioria das áreas estão sob Latossolos, porém algumas parcelas se enquadram em Cambissolos devido apenas à menor profundidade (TABELA 1).

TABELA 1. Localização, idade e tipo de solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa - PR.

Localização	Sistema de uso	Idade (anos)	Tipo de solo
IAPAR	ILP	7	Latossolo Vermelho + Cambissolo Háplico
IAPAR	ILPF	7	Latossolo Vermelho
IAPAR	CN	-	Latossolo Vermelho Amarelo + Cambissolo Háplico
EMBRAPA	EU	20	Latossolo Vermelho Distrófico
EMBRAPA	PD	30	Latossolo Vermelho Epieutrófico

Até o inverno de 2006, as áreas situadas na fazenda modelo do IAPAR eram utilizadas para pastagens em uso convencional (extensivo) e estavam com vegetação de pouco valor forrageiro. Posteriormente, foram preparadas mediante aração, gradagem e incorporação de 3 ton ha^{-1} de calcário dolomítico para o estabelecimento de um sistema silviagrícola capaz de evoluir para um sistema agrossilvopastoril com árvores da espécie de eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br.) plantadas em fila simples com espaçamento de 14 m x 3 m, alocadas transversalmente ao sentido predominante da declividade do terreno para controle do escoamento superficial das águas da chuva e para que o deslocamento de máquinas e animais fosse predominatemente transversal ao sentido da declividade. As espécies arbóreas foram dispostas alternadamente na mesma linha de plantio (Porfírio da Silva, 2012).

Desde a sua implantação, os sistemas integrados de produção no inverno são cultivados com aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em consórcio pastejados por novilhas da raça Purunã. No verão é cultivado milho (*Zea mays* L.) ou soja (*Glycine max* (L.) Merr) em sistema de rotação bianual (TABELA 2).

Já o Plantio Direto, possui a sequência de cultivos de trigo – soja / aveia – milho / aveia – feijão. Quando cultivado com feijão (*Phaseolus vulgaris*), utilizou-se adubação no plantio, herbicidas, fungicidas, adubação de cobertura e inseticidas (TABELA 3).

TABELA 2. Manejo de culturas em integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Fazenda Modelo do IAPAR no município de Ponta Grossa – PR.

Cultivo	Insumos Agrícolas
Aveia preta e Azevém	2,5 l Glifosato, 220 kg ha^{-1} NPK (04:30:10), 200 kg de N ha^{-1} na forma de uréia.
Soja	2,5 l Glifosato+folisuper, classic, select, priori Xtra, endosulfan, certero, nimbus, naja, pivot, dimilin; 72 kg P_2O_5 ha^{-1}, 240 kg K_2O ha^{-1} na semeadura; 42 kg K_2O ha^{-1} na forma de cloreto de potássio 23 dias após o plantio.
Milho	Glifosato, 220 kg ha^{-1} NPK (04:30:10), 200 kg de N ha^{-1} na forma de uréia, atrazina+callisto; lannate.

TABELA 3. Manejo do plantio direto (PD) quando cultivado com feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) na EMBRAPA Produtos e Mercado situada no município de Ponta Grossa – PR.

Adubação plantio	205 kg/ha MAP
Herbicidas	2,4D (1 L ha^{-1}) + Glifosato (2 L ha^{-1}); Flex (700 mL ha^{-1}); Flex 700 mL $há^{-1}$ + Basagran (800 mL ha^{-1}); Select (400 mL ha^{-1}).
Fungicidas	Amistar top (310 mL ha^{-1}); Carbendazin (600 mL ha^{-1}).
Adubação de cobertura	185 kg/ha de uréia; 150 kg/ha de KCl; 1,6 L ha^{-1} de manganês foliar.
Inseticidas	Curion (200 mL ha^{-1}).

2.2.2. AMOSTRAGEM DE FAUNA E SOLO

Em cada parcela foram retiradas 5 amostras de serapilheira (quando presente) e de solo com auxílio de um gabarito de 25 cm X 25 cm nas profundidades 0-10 e 10-20 cm (FIGURA 1) segundo o método do TSBF (“Tropical Soil Biology and Fertility”), adaptado de Anderson & Ingram (1993).

FIGURA 1. Vista da retirada de monólitos de solo adaptado de Anderson & Ingram (1993).

As amostras foram tomadas em duas ocasiões: primavera (outubro e novembro de 2012) e outono (abril e maio de 2013). Na primavera, os sistemas de ILP e ILPF estavam cultivados com aveia preta (*Avena strigosa*) e no outono, com soja (*Glycine max* (L.) Merr), enquanto que no plantio direto na primavera estava sendo cultivado com aveia preta de cobertura (*avena strigosa*) e no outono com feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*).

Os 5 pontos de coleta para a macrofauna foram distribuidos em um transecto central em zigue-zague sempre distantes 20 m entre si e seguindo a pendente da parcela (FIGURA 2). Na coleta da primavera de 2012, em cada ponto de coleta foram tomadas amostras das profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm para avaliar a umidade do solo e realizar análises químicas e granulometria (Embrapa, 1997) e Carbono e Nitrogênio por combustão seca.

O solo foi triado manualmente, e os invertebrados visíveis a olho nú foram separados, contados, pesados em balança de alta precisão e identificados em nível de grandes grupos taxonômicos sob microscópio estereoscópico no Laboratório de Ecologia do Solo na Embrapa Florestas no município de Colombo – PR. Os artrópodes foram conservados em alcool etílico 70%, enquanto as minhocas foram mantidas em formol 4%.

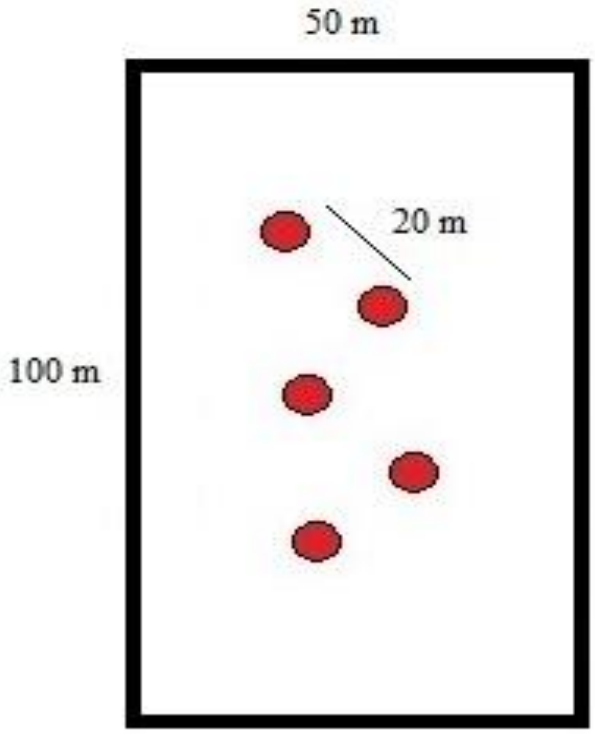


FIGURA 2. Croqui da amostragem de macrofauna edáfica em uma parcela. Distância mínima entre amostras – 20 metros.

2.2.3. ANÁLISE DOS DADOS

Todos os dados de densidade (indivíduos m^{-2}) e biomassa fresca (gramas m^{-2}) foram calculados com base na área do gabarito de 25 cm X 25 cm.

Para o cálculo da diversidade foi utilizada a riqueza (número total e médio de grupos por sistema e número médio de grupos por amostra) e o Índice de de Simpson (Is=1-D), sendo D a dominância expressa por $\sum pi^2$, onde pi representa a abundância relativa de cada grupo taxonômico amostrado. Quanto mais próximo o resultado de 1, mais diversificado o sistema, pois menor a dominância (Magurran, 2004).

Realizou-se análise de variância e teste de Duncan a 5% para atributos químicos, físicos e biológicos (grupos de macrofauna) do solo. Para estabelecer relações da macrofauna edáfica com atríbutos químicos e físicos do solo e sistemas de uso, realizaram-se regressões lineares e obteve-se os coeficientes de correlação de Pearson. Quando os dados não puderam ser normalizados e/ou as variâncias não foram homogêneas, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Esses testes foram realizados usando o programa Statistica versão 7.0 (StatSoft, 2006).

Usando os dados da abundância de grupos de macrofauna edáfica, dos índices de diversidade e da análise de solo de cada monólito das três parcelas de cada sistema, realizou-

se uma análise de redundância (RDA), visando estabelecer relações entre a macrofauna e os atributos físicos e químicos edáficos. Para testar a significância da análise de redundância foi realizado o teste de Monte Carlo. Essas análises foram realizadas usando o software CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 2002) apenas com os dados da primeira coleta, pois na segunda não se realizaram análises de solo. Optou-se por uma RDA em vez de CCA pois o comprimento do gradiente obtido numa análise de correspondência preliminar (DCA) foi menor que 3,0, conforme sugerido por Ter Braak & Smilauer (1998).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. ANÁLISE DE SOLO

De maneira geral, os solos em que os sistemas de uso estão implantados são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica. Além disso, apresentam elevados teores de areia e reduzidos teores de argila (TABELA 4), uma vez que na região de estudo é muito frequente a ocorrência de rochas sedimentares e em um passado muito remoto a região era fundo de mar (Melo et al., 2007).

O CN e o plantio florestal de *E. dunnii* apresentaram menores teores de cátions trocáveis e elevada acidez potencial, o que contribuiu para o aumento da CTC e redução da saturação por bases (TABELA 4). Esses sistemas também apresentaram baixa concentração de P devido à ausência de adubação. Já tanto o ILPF quanto o PD apresentaram menor relação C/N, o que pode facilitar processos de decomposição (Seastedt, 1984; Dias et al., 2006; Sun et al., 2013).

Diferenças estatísticas importantes foram constatadas em relação aos teores de Carbono no solo, uma vez que ILPF apresentou menor quantidade de Carbono quando comparado a CN e EU (TABELA 4).

Os sistemas integrados de produção e o PD apresentaram maior pH, elevada saturação por bases, acidez potencial reduzida e elevadas concentrações de P (TABELA 4), uma vez que regularmente o pH é corrigido e fertilizantes são aplicados para o estabelecimento de culturas no solo.

TABELA 4. Atributos químicos e físicos do solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus* dunnii (EU) e plantio direto (PD) na camada 0-20 cm no município de Ponta Grossa - PR.

		ILP	ILPF	CN	EU	PD
$cmol_c\ dm^{-3}$	pH	4,92a*	4,93a	3,79c	3,70c	4,45b
	Al	0,10b	0,06b	1,18a	1,81a	0,22b
	H+Al	3,68bc	2,79c	6,15a	7,11a	4,39b
	Ca	2,78a	2,32a	0,61b	0,24b	2,56a
	Mg	1,17a	0,86ab	0,34bc	0,12c	0,92a
	K	0,19b	0,15bc	0,09c	0,08c	0,30a
	Na	0,01a	0,01a	0,01a	0,01a	0,01a
	SB	4,15a	3,33a	1,06b	0,45b	3,78a
	CTC	7,83ab	6,12b	7,21ab	7,56ab	8,18a
%	V	54,01a	52,65a	13,50b	6,35b	45,79a
	m	1,62bc	1,34c	17,65a	25,38a	2,88b
	Umidade	12,80ab	12,29ab	13,77a	11,58b	11,20b
$g\ dm^{-3}$	C	11,43ab	9,66b	13,49a	14,03a	12,72ab
	N	0,52b	0,52b	0,72ab	0,66ab	0,83a
	C/N	23,96a	18,69bc	19,08bc	21,36ab	15,78c
ppm	P	15,29b	19,39ab	2,19c	3,78bc	26,81a
$g\ kg^{-1}$	Areia	715,80ab	740,47a	720,80a	676,90bc	646,33c
	Silte	210,66b	200,00b	202,66b	235,99ab	281,33ª
	Argila	73,53ab	59,53b	76,53ab	87,10a	72,33ab

*Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

2.3.2. MACROFAUNA NA PRIMAVERA

Na primavera, o CN apresentou maior densidade total de indivíduos (3558 indivíduos m^{-2}), ao passo que o PD apresentou menor densidade de indivíduos (115 indivíduos m^{-2}). A elevada densidade de indivíduos no CN se deve à dominância do grupo Isoptera (cupins) e do grupo Hymenoptera (formigas) (TABELA 5), esse último grupo sendo significativamente maior em CN do que nos demais sistemas. Esses resultados corroboram com Brown et al. (2004), que também encontraram altas densidades de cupins e formigas quando avaliaram a

macrofauna edáfica em pasto nativo e pasto introduzido no sudeste do México. A baixa densidade de indivíduos no PD pode ser atribuída ao elevado grau de compactação do solo encontrado (observado visualmente) nesse sistema de uso (FIGURA 3), o que provoca redução do espaço poroso e consequentemente perda de hábitat para a macrofauna do solo (Cavalieri et al., 2009).

Um trabalho em andamento realizado no município de Ponta Grossa (dados não publicados) nos mesmos sistemas de uso do solo incluídos no presente estudo obteve menor velocidade de infiltração de água no solo em PD, quando comparado a ILP, ILPF, CN e EU, indicando que o PD apresenta problemas relacionados à compactação do solo, o que pode influenciar a baixa densidade de macrofauna edáfica observada em PD (TABELA 5).

FIGURA 3. Vista do solo compactado no plantio direto (PD).

O maior número de minhocas foi encontrado no CN, quando comparado ao ILPF, EU e PD, não sendo encontrada nenhuma minhoca nesses dois últimos ecossistemas. Também foram encontradas reduzidas densidades de Coleoptera, Hemiptera e Araneae em PD quando comparado aos demais sistemas de uso do solo. Foi constatada maior densidade de Hymenoptera em CN quando comparado aos demais sistemas e maior densidade de Chilopoda em ILPF e EU do que os demais sistemas de uso do solo avaliados (TABELA 5).

No total, na primavera foram observados 17 grupos e a riqueza média foi superior nos sistemas pastejados (ILP, ILPF e CN), onde foi encontrado maior número de grupos (13) quando comparados a sistemas não pastejados (EU e PD; 8 e 6 grupos, respectivamente), ao passo que a equitabilidade, representada pelo índice de Simpson, não diferiu entre os sistemas de uso do solo estudados (TABELA 5). É possível que as fezes do gado tenham favorecido a

ocorrência de maior número de grupos nos sistemas pastejados, uma vez que representam aporte de matéria orgânica para o solo, o que estimula a diversidade de invertebrados edáficos.

TABELA 5. Densidade média (indivíduos m^{-2}) e diversidade de macrofauna na camada 0-20 cm em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR na primavera de 2012.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Oligochaeta	**21ab**	**10b**	**41a**	**0b**	**0b**
Coleoptera Adulto	58a	44a	31a	18a	18a
Coleoptera Larva	**64ab**	**51ab**	**92a**	**47ab**	**22b**
Coleoptera Pupa**	2a	2a	2a	0a	0a
Coleoptera Total	**124a**	**97ab**	**125a**	**65ab**	**41b**
Isoptera**	5a	1a	2003a	66a	0a
Hymenoptera	**286b**	**347b**	**1280a**	**123bc**	**63c**
Diplopoda**	2a	1a	1a	0a	2ª
Chilopoda	**0b**	**4a**	**2ab**	**5a**	**0b**
Diplura**	0a	1a	4a	0c	0a
Aranea	**26a**	**13ab**	**16ab**	**22ab**	**4b**
Total Arachnidae	**26a**	**13ab**	**20ab**	**23ab**	**4b**
Hemiptera	**77a**	**2b**	**6b**	**4b**	**4b**
Diptera Larva**	4a	2a	2a	0a	0a
Orthoptera**	1a	5a	0a	0a	0a
Lepidoptera Larva**	5a	0a	0a	0a	0a
Ovos**	4a	0a	69a	0a	0a
Isopoda**	6a	5a	0a	0a	0a
Blattodea**	4a	2a	2a	1a	1a
Pseudoscorpionida**	0a	0a	2a	0a	0a
Thysanoptera**	1a	0a	0a	0a	0a
Scorpionida**	0a	0a	1a	1a	0a
Total	**566b**	**490b**	**3558a**	**287b**	**115c**
Riqueza na liteira	7	7	3	5	2
Riqueza no solo (0 - 20 cm)	10	11	11	6	6
Riqueza total	13	13	13	8	6
Riqueza média (Sistema)	**9,00a**	**8,33a**	**9,67a**	**6,00b**	**4,33c**
Riqueza por Amostra	**5,27a**	**4,20b**	**5,47a**	**3,20c**	**2,40d**
Dominância (Sistema)	0,30a	0,49a	0,52a	0,40a	0,45a
Simpson (Sistema)	0,70a	0,51a	0,48a	0,60a	0,55a

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

Em todos os sistemas de uso do solo avaliados na primavera, a maior densidade de macrofauna edáfica se encontrou na camada 0-10 cm. Merece destaque a pequena densidade de invertebrados encontrados na liteira em CN, uma vez que nesse sistema a cobertura do solo é praticamente inexistente (FIGURA 4). ILP e ILPF apresentaram maior riqueza de grupos na liteira, enquanto que PD apresentou menor riqueza de grupos (TABELA 5), uma vez que somente Hymenoptera e Coleoptera estiveram presentes na liteira de PD. De maneira geral, na camada 10-20 cm todos os grupos amostrados na camada 0-10 cm foram encontrados, porém em densidades menores. Somente larva de Diptera e Thysanoptera não foram amostrados na camada 10-20 cm na primavera.

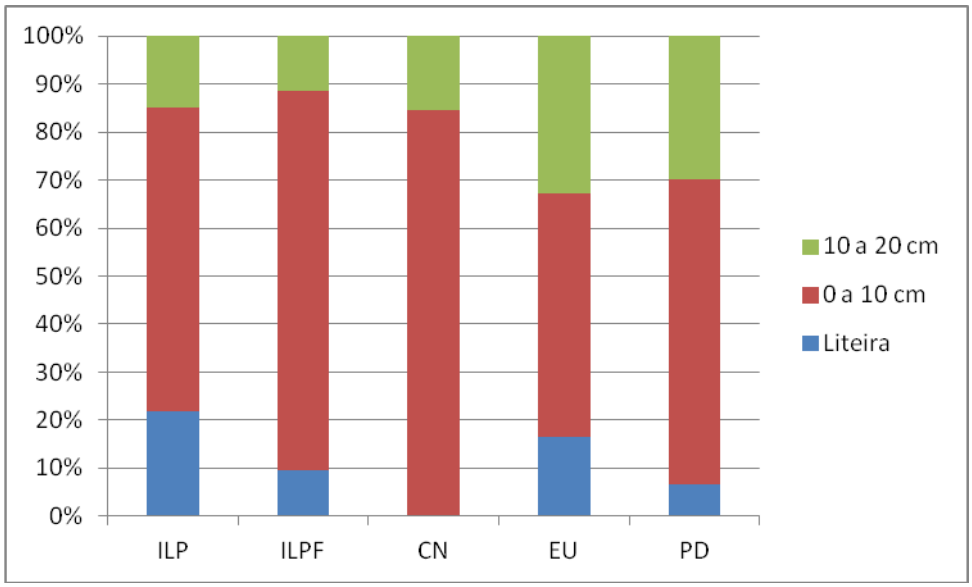


FIGURA 4. Percentual de densidade de macrofauna encontrada em camadas do solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), platio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR na primavera de 2012.

A macrofauna edáfica apresentou correlações significativas com diversos atributos físicos e químicos do solo. Minhocas, Coleoptera, Isoptera e o total de indivíduos se correlacionaram positivamente com umidade do solo e concentração de carbono orgânico (TABELA 6). Esses dois fatores ambientais podem influenciar a disposição horizontal de grupos da macrofauna edáfica, uma vez que são altamente variáveis entre os sistemas de uso, onde ILP e CN apresentaram valores elevados quando comparado aos demais sistemas de uso do solo (TABELA 4). Nesses dois sistemas, portanto, o solo se apresenta com microclima e condições mais favoráveis, aumentando a abundância da macrofauna edáfica.

TABELA 6. Correlações de Pearson significativas entre atributos químicos e físicos do solo e seletos grupos da macrofauna edáfica na amostragem da primavera de 2012 independentemente dos sistemas de uso do solo no município de Ponta Grossa – PR.

Grupos	Umidade	Ca	Mg	K	Al	CTC	SB	V%	m%	H+Al	pH	C	C/N	N	P	Areia	Silte
Oligochaeta	0,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	-	-	-	-	-
Coleoptera	0,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76	-	-	-	-	-
Isoptera	0,60	-0,52	-	-	-	-	-	-0,53	-	-	-0,55	0,60	-	-	-0,58	-	-
Isopoda	-	-	-	-	-	-0,61	-	-	-	-	-	-	-0,64	-0,68	-	0,56	-0,63
Diptera	-	-	0,62	-	-	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chilopoda	-	-0,55	-0,56	-0,55	0,54	-	-0,56	-	0,54	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemiptera	-	-	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthoptera	-	-	-	-	-	-	-	-0,61	-	-0,65	0,55	-	-0,57	-0,65	-	0,58	-
Lepidoptera	-	-	0,62	-	-	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hymenoptera	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	-	-0,55	-	-
Thysanoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,58	-	-	-	-
Total	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,71	-	-	-0,59	-	-

A relação C/N esteve negativamente associada à Isoptera, Orthoptera e Thysanoptera, o que indica que esses grupos preferencialmente se alimentam de compostos que são mais facilmente degradados. Por outro lado, Hymenoptera se correlacionou positivamente com a umidade do solo e com a relação C/N e negativamente a teores de P, porém esses organismos possuem uma distribuição muito heterogênea no ambiente devido a grande capacidade de locomoção (TABELA 6).

A análise de redundância explicou 63,2% da variação nos dados, sendo 45,6% explicada pelos dois primeiros eixos. A relação macrofauna e atributos do solo explicaram 85,7% da variação nos dados (FIGURA 5), apresentado relações altamente significativas entre os parâmetros do solo e a abundância da fauna, uma vez que a permutação de Monte Carlo teve p=0,0280 de significância para os dois primeiros eixos e p=0,0020 de significância para todos os eixos da RDA.

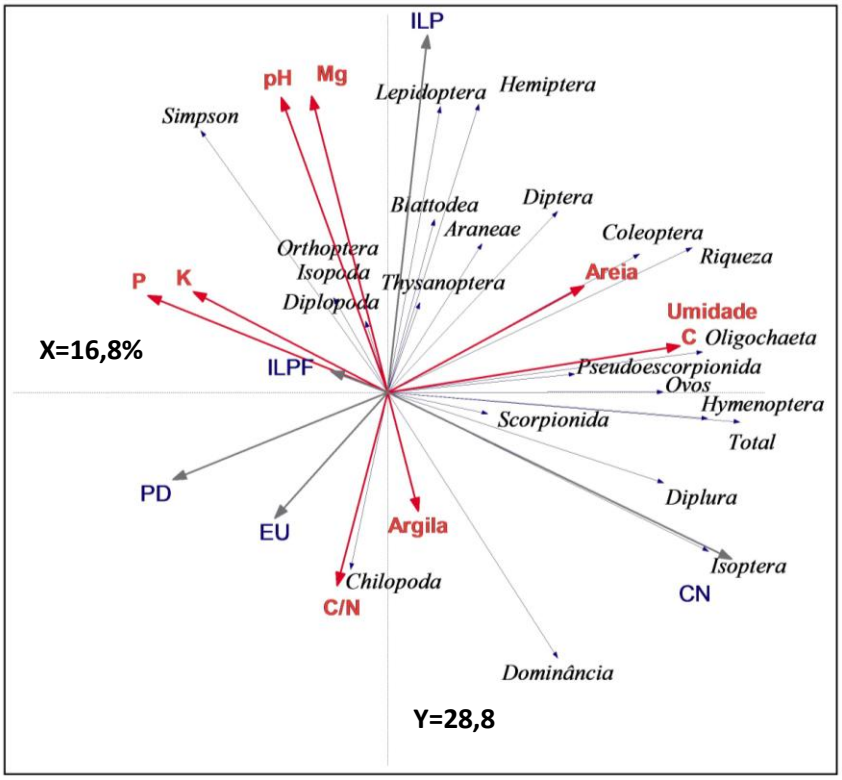


FIGURA 5. Triplot da Análise de Redundância da abundância da macrofauna do solo (média das três parcelas na primavera de 2012) com os sistemas de uso do solo (letras azuis) e os atributos químicos e físicos do solo (setas vermelhas). ILP – integração lavoura-pecuária; ILPF – integração lavoura-pecuária-floresta; CN – campo nativo pastejado; EU – plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD – plantio direto.

O CN, com baixo pH e baixos teores de Mg, esteve associado a alta densidade de cupins (FIGURA 5), além de Diplura, formigas, o número total de indivíduos e alta dominância (devido aos cupins). Esse resultado corrobora com Vendrame et al. (2009) e confirma as frequentes grandes quantidades de cupins encontradas em solos com baixa fertilidade natural e alta saturação de Alumínio (Barros et al., 2002). Benito et al. (2004) encontraram grande quantidade de cupins em pastagens degradadas quando comparado a vegetação nativa, no Cerrado brasileiro. Em sistemas degradados, a baixa quantidade e qualidade da liteira somado a alta relação C/N das plantas e a baixa diversidade vegetal favorece alguns grupos, como os Isoptera, que podem se tornar pragas em pastagens degradadas (Benito et al., 2004; Constantino, 2005). Contudo, esse sistema também apresentou o maior número de minhocas, provavelmente associado à alta umidade do solo e maiores teores de C, uma vez que esses organismos se correlacionam positivamente com a umidade do solo (Auerswald, 1996; Anderson, 2009), e dependem de matéria orgânica no solo para sua alimentação (Lavelle et al., 2001).

O EU esteve associado a maior abundância de Chilopoda, alta relação C/N e alto teor de argila, baixos teores de areia e baixa riqueza de fauna (FIGURA 5). Esse resultado corrobora com Bandeira & Harada (1998), que encontraram maior densidade e diversidade de indivíduos em plantios florestais sobre solos arenosos, quando comparado a solos argilosos, devido à maior quantidade de macroporos em solos com maiores teores de areia, o que pode propiciar maior quantidade de habitats para a fauna edáfica.

O ILPF e o ILP estiveram associados a maior pH e maiores teores de cátions trocáveis, o que também parece haver favorecido maiores valores para o índice de Simpson e a presença de maior abundância de algumas ordens no solo (FIGURA 5).

De fato, os sistemas pastejados apresentaram maior biomassa, quando comparados aos demais sistemas de uso do solo. Minhocas, Isoptera e Coleoptera foram os grupos que mais contribuíram para a biomassa total em CN, enquanto que em ILP, ILPF, EU e PD, Coleoptera foi o grupo que mais contribuiu para a biomassa total desses quatro sistemas de uso do solo (TABELA 7).

A biomassa fresca de fauna edáfica é um atributo relacionado à intensidade com que o organismo do solo em questão desempenha sua atividade edáfica (Doube et al., 1997; Lavelle et al., 1997). Em CN, apesar da baixa densidade de minhocas (41 indivíduos m^{-2}), quando comparados aos demais grupos, como, por exemplo, Isoptera (2003 indivíduos m^{-2}) (TABELA 5), as minhocas apresentaram maior biomassa fresca (2,28 gramas m^{-2}) individual

quando comparadas a Isoptera (2,11 gramas m^{-2}) (TABELA 7). Isso mostra que uma pequena população de minhocas, por apresentar elevada biomassa, pode desempenhar uma função, como por exemplo, a de escavar o solo, de maneira mais rápida e eficiente do que uma alta população de cupins, já que esses apresentam biomassa reduzida.

TABELA 7. Biomassa média (gramas m^{-2}) de macrofauna em integração lavoura- pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio floresta de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR na primavera de 2012.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Oligochaeta	**0,30b**	**0,86b**	**2,28a**	**0,00b**	**0,00b**
Coleoptera Adulto	0,69a	1,34a	0,22a	0,80a	1,83a
Coleoptera Larva	**2,64a**	**1,37ab**	**1,22abc**	**0,52bc**	**0,12c**
Coleoptera Pupa**	0,35a	0,30a	0,05a	0,00a	0,00a
Coleoptera Total	3,68a	2,99a	1,49a	1,32a	1,95a
Isoptera**	0,002a	0,000a	2,110a	0,050a	0,000a
Hymenoptera	**0,32ab**	**0,64a**	**0,73a**	**0,07b**	**0,06b**
Diplopoda**	0,11a	0,06a	0,03a	0,00a	0,09a
Chilopoda	**0,0000c**	**0,0004ab**	**0,0002b**	**0,0005a**	**0,0000c**
Diplura**	0,000a	0,000a	0,037a	0,000a	0,000a
Araneae	0,023a	0,73a	0,096a	0,140a	0,110a
Arachnida Total	0,024a	0,730a	0,480a	0,140a	0,110a
Hemiptera	**0,190a**	**0,002b**	**0,003b**	**0,020b**	**0,006b**
Diptera Larva**	0,008a	0,004a	0,000a	0,000a	0,000a
Orthoptera**	0,54a	0,53a	0,00a	0,00a	0,00a
Lepidoptera Larva**	0,90a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a
Ovos**	0,009a	0,000a	0,002a	0,000a	0,000a
Isopoda**	0,000a	0,004a	0,000a	0,000a	0,000a
Blattodea**	0,360a	0,120a	0,011a	0,060a	0,005
Pseudoescorpionida.**	0,00a	0,00a	0,05a	0,00a	0,00a
Thysanoptera**	0,004a	0,000a	0,000a	0,000a	0,000a
Scorpionida**	0,00a	0,00a	0,33a	0,15a	0,00a
Total	**6,44a**	**5,98a**	**7,50a**	**1,80b**	**2,22b**

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

A biomassa total foi maior em CN, ILP e ILPF do que em EU e PD. O grupo que mais contribuiu para a biomassa nos sistemas integrados, PD e EU foi Coleoptera, enquanto que em CN foram Oligochaeta, Isoptera e Coleoptera. Foi encontrada maior biomassa de Oligochaeta em CN quando comparado aos demais sistemas de uso do solo e menor biomassa

de Chilopoda em PD e ILP do que os demais sistemas avaliados. A biomassa de Hemiptera foi maior em ILP do que nos demais sistemas de uso do solo e a biomassa de larvas de Coleoptera foi maior em ILP do que em EU e PD (TABELA 7).

A camada 0-10 cm foi a que mais contribuiu, para a biomassa fresca de macrofauna invertebrada em ILP, ILPF, CN e PD, uma vez que a maior parte dos organismos encontrados, tanto os de maior biomassa e com menor densidade (Coleoptera e Oligochaeta), bem como organismos de menor biomassa e com maior densidade (Isoptera e Hymenoptera) se encontraram nessa camada. Porém em EU, apesar da reduzida biomassa total, a camada 10-20 cm foi a que mais contribuiu para a biomassa da macrofauna nesse sistema, devido a maior quantidade de larvas de Coleoptera encontrada em tal camada (FIGURA 6).

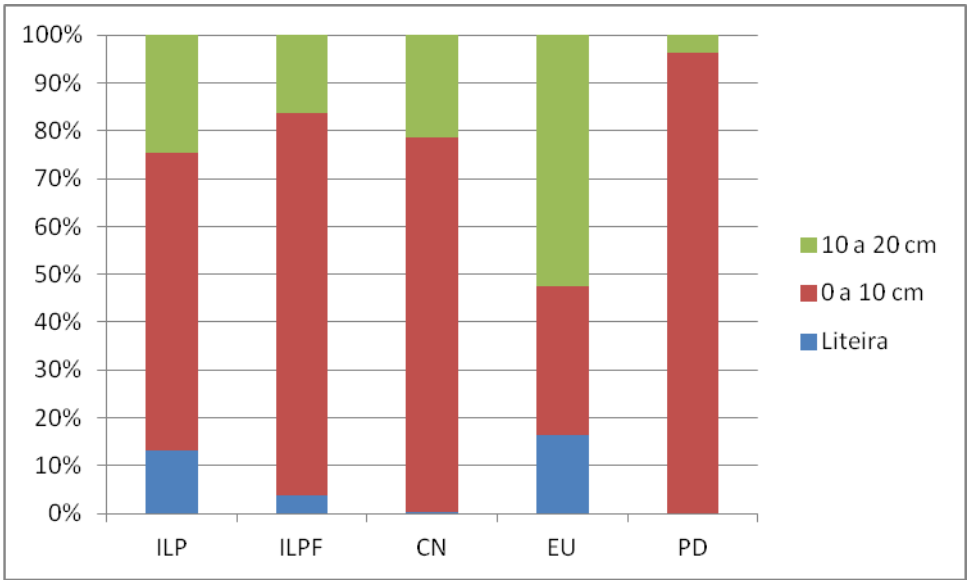


FIGURA 6. Contribuição das camadas do solo na biomassa fresca de macrofauna encontrada em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR na primavera de 2012.

2.3.3. MACROFAUNA NO OUTONO

No outono, semelhante ao que ocorreu na primavera, o CN foi o sistema que apresentou maior densidade de grupos da macrofauna (7274 indivíduos m^{-2}), quando comparado aos demais sistemas de uso do solo, novamente devido à grande quantidade de cupins (5750 indivíduos m^{-2}) e formigas (1295 indivíduos m^{-2}) presentes nesse sistema (TABELA 8). Esses dois grupos somados representaram mais de 90% da macrofauna coletada no outono em CN.

A densidade de minhocas foi maior em ILP e CN, quando comparada aos demais sistemas de uso do solo. É válido ressaltar que em áreas de EU, nas duas coletas foi encontrada apenas uma minhoca.

A densidade de Coleoptera foi superior em ILP (154 indivíduos m^{-2}) quando comparada a EU (53 indivíduos m^{-2}) e PD (48 indivíduos m^{-2}) (TABELA 8). É possível que em sistemas pastejados, as fezes do gado favoreçam algumas Famílias dessa Ordem, como Scarabeidae, que se alimentam preferencialmente de fezes, contribuindo dessa forma para a ciclagem de nutrientes, adição de matéria orgânica no solo e bioturbação, o que favorece o crescimento de plantas (Louzada, 2008; Nichols et al., 2008).

A densidade de predadores (Chilopoda e Araneae) foi maior em EU do que nos demais sistemas de uso do solo, possivelmente devido à maior quantidade de liteira nesse sistema, levando em consideração que esses invertebrados vivem na superfície do solo.

Em PD, nas duas datas de coleta (TABELA 5 e TABELA 8), foram encontradas densidades totais de fauna inferiores aos demais sistemas de uso do solo. Esses resultados corroboram com Domingues et al. (2010), que compararam áreas em PD com pastagens naturais em Córdoba na Argentina. Eles atribuíram a redução na densidade da macrofauna edáfica, ao intenso uso de herbicidas e ao alto grau de compactação do solo provocado pelo tráfego intenso de máquinas em operações de semeadura e colheita no PD. Esses dois fatores podem também ser responsáveis pelo baixo número de organismos, especialmente minhocas, encontradas nesse sistema.

No total, no outono foram observados 15 grupos nas amostras. Desses, 13 foram encontrados em ILP, ao passo que em CN, ILPF, EU e PD, foram encontrados 12, 11, 9 e 9 grupos respectivamente. Contudo, o CN apresentou maior riqueza média quando comparado a ILPF, EU e PD (TABELA 8), indicando uma distribuição espacial mais homogênea dos grupos nesse sistema.

Na liteira, ILP e EU apresentaram maior número de grupos, seguido por ILPF, CN e PD com 7, 7, 5, 4 e 4 grupos respectivamente (TABELA 8).

O índice de Simpson foi inferior em ILPF, CN e EU quando comparado aos demais sistemas de uso do solo, uma vez que nesses sistemas houve predominância de alguns grupos sobre os demais, principalmente Isoptera e Hymenoptera em CN e Hymenoptera em ILPF e EU (TABELA 8).

TABELA 8. Densidade média (indivíduos m^{-2}) e diversidade de macrofauna em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no outono de 2013.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Oligochaeta	**62a**	**4b**	**67a**	**1b**	**3b**
Coleoptera Adulto	**32ab**	**28ab**	**13b**	**41a**	**33ab**
Coleoptera Larva	**120a**	**66a**	**91a**	**12b**	**15b**
Coleoptera Pupa	2a	2a	1a	0a	0a
Coleoptera Total	**154a**	**96ab**	**105ab**	**53b**	**48b**
Isoptera**	16a	6a	5750a	0a	7a
Hymenoptera	**63c**	**125bc**	**1295a**	**437ab**	**29c**
Diplopoda**	6a	0a	0a	0a	0a
Chilopoda	**1b**	**3b**	**2b**	**13a**	**1b**
Araneae	**7bc**	**4c**	**11bc**	**29a**	**15b**
Hemiptera	2a	0a	6a	4a	1a
Diptera larva	**6ab**	**2b**	**20a**	**1b**	**0b**
Orthoptera**	1a	3a	6a	0a	0a
Mermithidae**	0a	0a	0a	0a	1a
Isopoda**	9a	7a	1a	3a	0a
Blattodea	3a	1a	4a	7a	3a
Thysanoptera**	2a	0a	2a	0a	0a
Dermaptera**	0a	1a	0a	0a	0a
Outros***	3a	0a	5a	5a	0a
Total	**335b**	**253bc**	**7274a**	**553b**	**108c**
Riqueza na liteira	7	5	4	7	4
Riqueza no solo (0-20 cm)	10	9	11	8	8
Riqueza total	13	11	12	9	9
Riqueza média	**9,67a**	**6,33b**	**10,00a**	**6,00b**	**6,00b**
Riqueza por amostra	**4,33b**	**2,80bc**	**5,93a**	**3,67bc**	**2,47c**
Dominância (Sistema)	**0,33b**	**0,54a**	**0,73a**	**0,58a**	**0,31b**
Simpson (Sistema)	**0,67a**	**0,46b**	**0,27b**	**0,42b**	**0,69a**

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.
***Outros: Soma de organismos que não puderam ser identificados.

Em todos os sistemas de uso do solo avaliados no outono, a maior densidade de macrofauna edáfica se encontrou na camada 0-10 cm, exceto em EU, já que a Ordem Hymenoptera apresentou elevada densidade na camada 10-20 cm. Novamente o CN apresentou pequena densidade de invertebrados na liteira, uma vez que a cobertura no solo é praticamente inexistente (FIGURA 7). Vale a pena ressaltar que as minhocas, apesar da

menor densidade constatada em EU e PD (TABELA 8), foram encontradas somente nas camadas 10-20 cm do solo.

A biomassa da macrofauna edáfica foi superior em ILP e CN quando comparada aos demais sistemas de uso do solo. Em ILP, Oligochaeta e larvas de Coleoptera foram os organismos que mais contribuíram para a biomassa total, ao passo que em CN, os grupos que mais contribuíram foram Isoptera e Oligochaeta. Nos demais sistemas de uso, Coleoptera foi a Ordem que mais contribuiu para a biomassa total de macrofauna (TABELA 9).

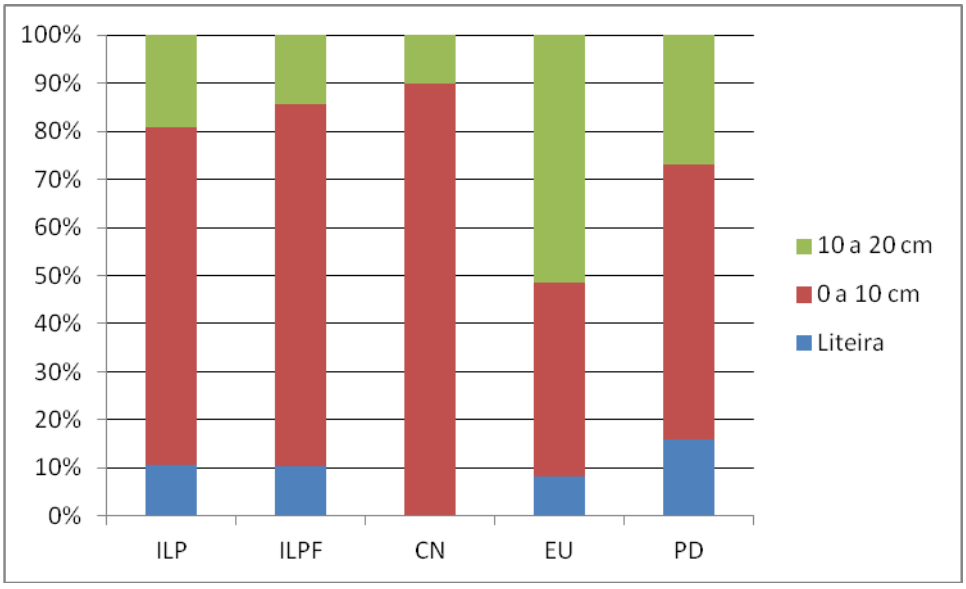


FIGURA 7. Percentual de densidade de macrofauna encontrada em camadas do solo em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no outono de 2013.

Apesar de apresentar maior densidade de Araneae, o ILP teve menor biomassa desse predador do que o PD. Já o CN apresentou maior biomassa de larvas de Diptera e Oligochaeta do que os demais sistemas de uso do solo. O ILP atingiu uma expressiva biomassa de larvas de Coleoptera (13,74 g m^{-2}), tendo maior biomassa desse grupo do que os demais sistemas de uso avaliados. Por outro lado, o CN apresentou uma expressiva biomassa de Isoptera (7,28 g m^{-2}), uma vez que a densidade desses organismos foi muito alta (5750 indivíduos m^{-2}). O CN também apresentou maior biomassa de organismos que não puderam ser identificados, denominados Outros, quando comparado a ILPF e a PD (TABELA 9).

A camada 0-10 cm foi a que mais contribuiu para a biomassa fresca de macrofauna invertebrada em todos os sistemas de uso do solo, uma vez que a maior parte dos organismos

encontrados, tanto os de maior biomassa e com menor densidade (Coleoptera e Oligochaeta), bem como organismos de menor biomassa e com maiores densidades (Isoptera e Hymenoptera) foram encontrados nessa camada. Porém, merece destaque a elevada contribuição da camada 10-20 cm na biomassa total em PD e EU, já que organismos grandes como Oligochaeta e Coleoptera se fizeram presentes nessa camada (FIGURA 8).

TABELA 9. Biomassa média (gramas m^{-2}) de macrofauna em integração lavoura- pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), plantio floresta de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no outono de 2013.

Grupos	ILP	ILPF	CN	EU	PD
Oligochaeta	**1,03b**	**0,07c**	**4,25a**	**0,06c**	**0,16c**
Coleoptera Adulto	**0,16b**	**0,10b**	**0,20b**	**1,64a**	**0,12b**
Coleoptera Larva	**13,42a**	**2,60b**	**0,96bc**	**0,08c**	**0,12c**
Coleoptera Pupa**	0,16a	0,17a	0,02a	0,00a	0,00a
Coleoptera Total	**13,74a**	**2,87b**	**1,18b**	**1,72b**	**0,24b**
Isoptera**	**0,010ab**	**0,004b**	**7,280a**	**0,000b**	**0,005b**
Hymenoptera	**0,02abc**	**0,06bc**	**1,08a**	**0,24ab**	**0,02b**
Diplopoda**	0,16a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a
Chilopoda**	0,0001a	0,0100a	0,0200a	0,0400a	0,1600a
Araneae	**0,028b**	**0,014b**	**0,036b**	**0,028b**	**0,150a**
Hemiptera**	0,000a	0,000a	0,008a	0,200a	0,140a
Diptera Larva**	**0,010ab**	**0,004b**	**0,040a**	**0,001b**	**0,000b**
Orthoptera**	0,02a	0,05a	0,06a	0,00a	0,00a
Mermithidae**	0,0000a	0,0000a	0,0000a	0,0000a	0,0001a
Isopoda**	0,009a	0,002a	0,000a	0,010a	0,000a
Blattodea	0,130a	0,010a	0,130a	0,090a	0,002a
Thysanoptera**	0,000a	0,000a	0,003a	0,000a	0,000a
Dermaptera**	0,000a	0,010a	0,000a	0,000a	0,000a
Outros***	**0,050ab**	**0,000b**	**0,120a**	**0,028ab**	**0,000b**
Total	**15,28a**	**3,13b**	**14,19a**	**2,43b**	**0,88b**

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p<0,05$). **Estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis. Letras em negrito indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.
***Outros: Soma de organismos que não puderam ser identificados.

Resultados semelhantes com baixas densidades de minhocas ou até mesmo ausência desse grupo e elevada densidade de Isoptera foram encontrados em regiões de cerrado brasileiro, que apresenta duas estações bem marcadas: inverno seco e verão chuvoso (Benito et al., 2004). Solos do cerrado são semelhantes ao encontrado nos sistemas de uso avaliados nesse trabalho: deficientes em nutrientes e ricos em ferro e alumínio, abrigando plantas de

aparência seca, entre arbustos esparsos e gramíneas. A ausência de Oligochaeta nesses solos pode ser explicada pela escassez de água no inverno e pelo efeito inibidor do tanino das folhas e troncos das plantas (Benito et al., 2004), especialmente em plantios florestais de *Eucalyptus sp.* (Molina et al., 1991; Sasikumar et al., 2004). No presente trabalho, a baixa abundância de minhocas provavelmente se deve aos baixos teores de C no solo (alimento) e à compactação, mencionada anteriormente.

A riqueza da macrofauna no Cerrado, varia de 15 a 21 grupos taxonômicos, sendo os menores valores encontrados em Minas Gerais e no Distrito Federal (Benito et al., 2004) e os maiores valores no Mato Grosso do Sul (Silva et al., 2006). Em áreas de Cerrado Nativo, na região de Correntina – BA foi encontrada densidade de 8368 indivíduos m^{-2}, com predomínio de cupins e presença de 9 grupos taxonômicos (Marchão et al., 2008). No presente estudo CN obteve densidade entre 3558 e 7274 indivíduos m^{-2}, com predomínio de cupins e riqueza variando entre 12 e 13 grupos taxonômicos.

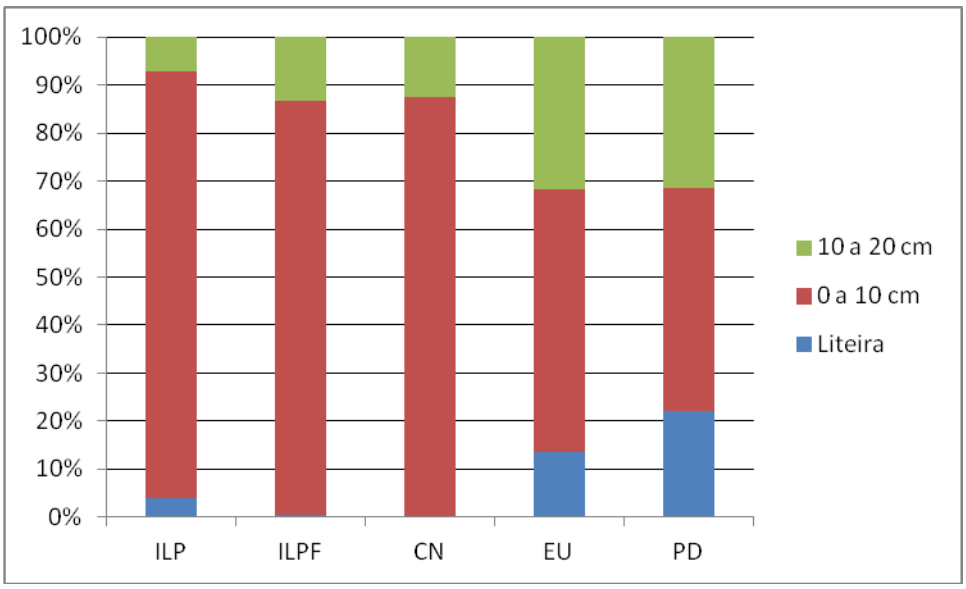


FIGURA 8. Contribuição das camadas do solo na biomassa fresca de macrofauna encontrada em integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), campo nativo pastejado (CN), platio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) e plantio direto (PD) no município de Ponta Grossa – PR no outono de 2013.

Poucos trabalhos com macrofauna foram desenvolvidos em sistemas integrados de produção. Em regiões de Mata Atlântica foi encontrada em ILP densidade de 1554 a 3317 indivíduos m^{-2} com predomínio de formigas e minhocas e riqueza variando entre 13 a 18 grupos (Dias et al., 2006). Por outro lado, no Cerrado foi encontrada densidade variando de

470 a 2411 indivíduos m^{-2} com predominância de cupins, formigas e minhocas e riqueza variando entre 14 e 15 grupos (Silva et al., 2006; Marchão et al., 2009). O presente trabalho apresentou em ILP 13 grupos taxonômicos e densidade variando de 335 a 566 indivíduos m^{-2} com predomínio de Oligochaeta, Coleoptera e Hymenoptera, e em ILPF, 11 a 13 grupos taxonômicos e densidade entre 253 e 493 indivíduos m^{-2} com predomínio de Hymenoptera e Coleoptera. Em EU obteve-se densidade entre 257 e 593 indivíduos m^{-2} com predominância de Hymenoptera e Coleoptera e riqueza variando entre 8 e 9 grupos taxonômicos.

Já a macrofauna em PD em regiões de Cerrado apresenta densidade variando de 45 a 913 indivíduos m^{-2}, riqueza variando entre 2 e 19 grupos com predomínio de Formicidae, larvas de Coleoptera, Isoptera e Oligochaeta (Silva et al., 2006; Silva et al., 2007). Porém Aquino et al. (2007) encontraram em média 2708 indivíduos m^{-2} com predomínio de Diplopoda, Minhocas e Isoptera em PD. O presente estudo apresentou em PD riqueza variando de 6 a 9 grupos taxonômicos e baixa densidade (entre 108 e 115 indivíduos m^{-2}), com predomínio de Hymenoptera e Coleoptera.

2.4. CONCLUSÕES

Os organismos mais abundantes da macrofauna edáfica foram Isoptera e Oligochaeta em CN, Hymenoptera em EU e Coleoptera em ILP, ILPF e PD.

O PD apresentou menor riqueza e densidade de indivíduos, possivelmente devido a intensa utilização de máquinas, insumos agrícolas e a alta compactação do solo observada no campo. O EU também apresentou baixa riqueza e densidade de indivíduos, uma vez que o teor de matéria orgânica é baixo e a fertilidade natural é baixa. Por outro lado, o CN apresentou maior densidade de indivíduos, principalmente cupins, que estão associados com a baixa fertilidade desse sistema, uma vez que não há aplicação de insumos agrícolas.

Sistemas integrados de produção como ILP e ILPF tem por objetivo a recuperação de pastagens degradadas. Isso é observado em ILP que obteve elevada densidade e biomassa de indivíduos, sobretudo do grupo Coleoptera e Oligochaeta. Já o ILPF não apresentou a mesma tendência do ILP, uma vez que se constatou baixa biomassa e densidade de indivíduos nesse sistema, possivelmente devido à baixa quantidade de Carbono disponível no solo e ao componente arbóreo (*Eucalypus dunnii*), que pode estar exercendo algum efeito inibidor na macrofauna edáfica.

2.5 LITERATURA CITADA

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília: Anuário estatístico ABRAF, 2013. Disponível em: www.abraflor.org.br/estatisticas.asp. Acesso em 10 de fevereiro de 2014.

ALVARENGA, R. C. & NOCE, M. A. Integração lavoura-pecuária. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16p.

AQUINO, A. M. SILVA, R. F. MERCANTE, F. M. CORREIA, M. E. F. GUIMARÃES, M. F & LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. European Journal of Soil Biology, 44:191-197, 2007.

ANDERSON, J. M. & INGRAM, J. S. I. In: Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2. ed. Wallingford, C.A.B. International, 1993. 240p.

ANDERSON, J. M. Why should we care about soil fauna? Pesquisa agropecuária brasileira, 44:835-842, 2009.

AUERSWALD, K.; WEIGAND, S. & PHILIPP, C. Influence of soil properties on the population and activity of geophagous earthworms after five years of bare fallow. Biology and Fertility of Soils, 23:382-387, 1996.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos, 2011. 130p.

BANDEIRA, A. G. & HARADA, A. Y. Densidade e distribuição de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia Central. Acta Amazonica, 28:191-204, 1998.

BARETTA, D.; BROWN, G.G. & CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. Acta Zoológica Mexicana 2:135-150, 2010.

BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R. & LAVELLE, P. Effect of land-use systems on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. Biology and Fertility of Soils, 35:338-347, 2002.

BENITO, N. P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. F. & BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). European Journal of Soil Biology, 40:147-154, 2004.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAUS, E.; LE BISONAIS, Y. & VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d´Ivoire. Soil Biology and Biochemistry, 29:431-439, 1997.

BROWN, G.G. MRENO, A. G.; BAROIS, I.; FRAGOSO, C.; ROJAS, P.; HERNANDÉZ, B. & PATRÓN, J. C. Soil macrofauna in SE mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. Agriculture, Ecosystems and Environment, 103: 313-327, 2004.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P. TORMENA, C. A.; PAIVA, L. T.; DEXTER, A. R.; & INGE, H. K. Long term effects of no tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. Soil & Tillage Research, 103:158-164, 2009.

CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C. & FELFILI, J. M. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 319-333.

DERPSH, R.; FRIEDRISCH, T.; KASSAN, A. & HONGWE, L. Current status of no – till farming in the world an some of its main benefits. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 3:1-26, 2010.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. M. & FRANCO, A.A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de hibrido de *Digitaria*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41:1015-1021, 2006.

DOMINGUEZ, A. BEDANO, J. C. & BECKER, A. R. Negative effects of no till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. Soil & Tillage Research, 110:51-59, 2010.

DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustaintability: managing the biotic compont of soil quality. Aplied Soil Ecology, 15:3-11, 2000.

DOUBE, B.M.; SCHMIDT O.; PANKHURST, C. & GUPTA, V. V. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? Bioindicators of Soil Health, 3:265-295, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

IAPAR. Cartas climáticas básicas do estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1978.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecossystem function. Advances in Ecological Research, 27:93-132, 1997.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; DHILLION, S.; HEAL, O.W.; INESON, P.; LEPAGE, M.; ROGER, P. & WOLTERS, V. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. European Journal of Soil Biology, 33:159-193, 1997.

LAVELLE, P. & SPAIN, A. V. Soil Ecology, 2001. 654p.

LAVELE, P; BARROS, E.; BLANCHART, E.; BROWN, G.; DESJARDINS, T.; MARIANI, L. & ROSSI, J. P. SOM management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51:53-61, 2001.

LOUZADA, J. N. C. Scarabeinae (Coleoptera: Scarabeidae) Detrítivoros em ecossistemas tropicais: Diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. &

BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Editora UFLA, 2008. 768p.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia. 38:133-146, 2009.

MAGURRAN, A. Measuring biological diversity, 2004. 275p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa ABC. Agricultura de baixo carbono. Brasília: MAPA, 2014. Disponível em: www.agricultura.gov.br/abc. Acesso em 05 de janeiro de 2014.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; SANTOS JUNIOR, J. D. G; SÁ, M. A C.; BERGAMASCHI, L. C. & BORTONCELLO, L. R. Impacto de sistemas agrícolas nos atributos físicos, químicos e macrofauna num latossolo do oeste baiano. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n 228, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2008. 28 p.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; BECQUER, T.; CELINI, L.; LAVELLE, P. & VILELA, L. Soil macrofauna under integrated crop – livestock systems in a brazilian cerrado ferralsol. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:1011-1020, 2009.

MELO, M. S.; MORO, R. S. & GUIMARÃES, G. B. Patrimônio natural dos Campos Gerais. Ponta Grossa, Editora UEPG, 2007. 230p.

MENEZES, L. A. S. & LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de cobertura do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical. 34:173-180, 2004.

MOLINA, A.; REIGOSA, M. J. & CARBALEIRA, A. Release of allelochemical agents fron litter, throughfall and topsoils in plantations of *Eucalyptus globulus* Labill in Spain. Journal of Chemical Ecology, 17:147-160, 1991.

NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; TARSEN, T.; AMEZQUITA, S. & FAVILA, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. Biological Consevation, 141: 1461-1474, 2008.

PORFIRIO DA SILVA, V. Produtividade em sistema de integração lavoura pecuária floresta no subtrópico brasileiro. Tese de doutorado em Agronomia apresentada na Universidade Federal do Paraná, 2012.

SARR, M.; AGBOGBA, G.; RUSSEL-SMITH, A. & MASSE, D. Effects of soil fauna activity and woody shrubs on water infiltration in a semiarid fallow of Senegal. Applied Soil Ecology, 16:283-290, 2001.

SASIKUMAR, K.; VIJAYALAKSHMI, C. & PARTHIBAN, K. T. Allelopathic effects of four *Eucalyptus* species on cowpea (*Vigna unguiculata*). Journal of Tropical Forest Science, 16:419-428, 2004.

SEASTEDT, T. R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. Annual Review of Entomology, 29:25-46,1984.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. & GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em latossolo da região do cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41:697-704, 2006.

SILVA, R. F.; TOMAZINI, M.; AQUINO, A. M.; & MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca em sistemas de produção em latossolo da região do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42:865-871, 2007.

STATSOFT INC. STATISTICA (Data Analysis Software System). Version 7. Inc Tulsa, 2006.

SUN, T.; MAO, Z. & HAN, Y. Slow decomposition of very fine roots and some factors controlling the process: a 4-year experiment in four temperate tree species. Plant and Soil, 372:445-458, 2013.

TER BRAAK, C. J. F. & SMILAUER, P. Canoco reference manual and Cano Draw for Windows user's guide: software for canonical community ordination. Version 4.5. Ithaca: Microcomputer Power, 2002. 500 p.

TER BRAAK, C. J. F. & SMILAUER, P. Canoco reference manual and user's guide to canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4). Ithaca: Microcomputer Power, 1998.

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado oxisols under pasture. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:996-1001, 2009.

CONCLUSÃO GERAL

Os solos em que os sistemas de uso estão inseridos apresentam baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica, o que modifica o desenvolvimento da comunidade de mesofauna e macrofauna edáfica.

O grupo mais abundante da mesofauna foi Acarina, ao passo que a macrofauna apresentou maior densidade de Isoptera, Hymenoptera, Coleoptera e Oligochaeta.

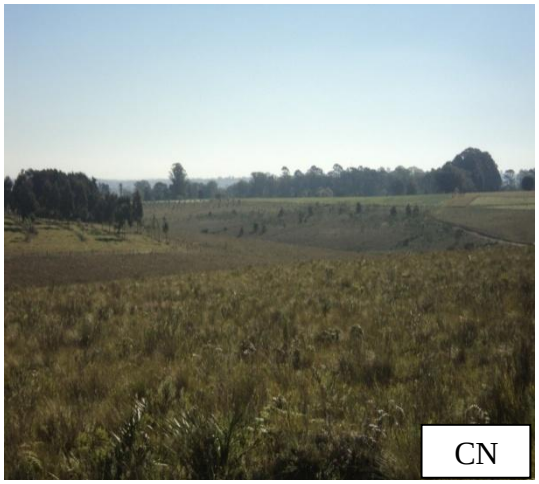
Nas duas datas de coleta, a macrofauna apresentou maior densidade e biomassa de indivíduos em campo nativo pastejado, principalmente devido a grande quantidade de cupins, associados a baixa fertilidade desse sistema, enquanto que o plantio direto apresentou menor densidade e biomassa de macrofauna, resultado atribuído principalmente a alta compactação do solo observada nesse sistema. O plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* apresentou menor densidade e biomassa de macrofauna edáfica, enquanto que o sistema integração lavoura-pecuária apresentou maior capacidade do que o sistema integração lavoura-pecuária-floresta de regenerar pastagens degradadas, uma vez que apresentou maior densidade e biomassa de macrofauna.

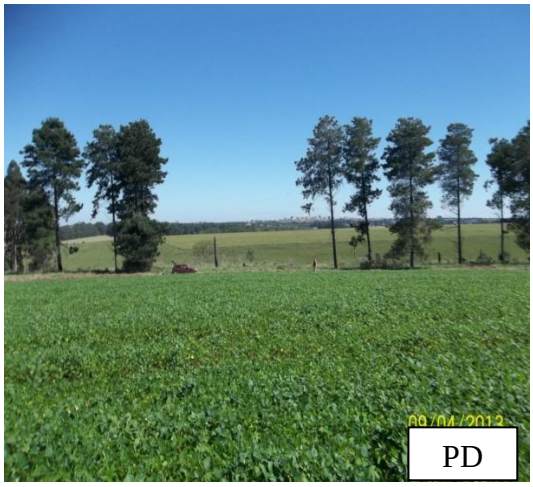
A mesofauna no inverno obteve densidade total de indivíduos superior em plantio direto e diversidade superior em campo nativo pastejado quando comparada aos demais sistemas de uso do solo. Por outro lado, no outono não foram constatadas diferenças significativas na densidade total de mesofauna amostrada, nem na diversidade de grupos entre os sistemas de uso do solo, porém o plantio direto apresentou clara tendência a menor densidade entre os sistemas de uso, uma vez que houve aplicação de inseticidas, herbicidas e fungicidas poucos dias antes da coleta.

Tanto a macrofauna quanto a mesofauna estiveram relacionados significativamente com parâmetros químicos e físicos do solo, especialmente C, P, K e textura (mesofauna), indicando seu potencial como bioindicadora da qualidade do solo, sendo também sensíveis a variações no manejo e no clima.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Fotos das áreas estudadas. ILP: integração lavoura-pecuária; ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta; CN: campo nativo pastejado; EU: plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD: plantio direto.





APÊNDICE 2. Densidade média (indivíduos m^{-2}) de grupos da mesofauna por parcela nos sistemas de uso do solo no inverno/2012.

Sistema	Acar	Collem	Aran	Coleop	Hymen	Diplur	Prot	Thysan	Hemip	Dipt	Myr	Blatt	Outros	Total
ILP1	391	121	2	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	539
ILP2	262	102	2	27	0	0	0	2	0	2	0	0	5	404
ILP3	323	95	5	7	5	0	0	2	0	0	0	0	7	445
ILPF1	444	335	3	15	77	2	0	15	0	2	0	0	10	904
ILPF2	234	96	0	7	5	0	2	7	0	0	0	0	7	359
ILPF3	180	412	0	17	5	0	2	0	0	0	0	0	7	624
CN1	126	24	0	0	60	0	0	5	30	0	0	5	2	252
CN2	120	29	0	8	8	2	0	5	15	0	0	0	2	190
CN3	100	7	5	20	60	0	0	2	0	0	0	0	2	197
EU1	244	31	0	15	7	0	0	6	0	0	0	0	5	308
EU2	457	54	7	22	20	0	0	11	0	0	0	0	0	572
EU3	358	85	7	0	5	0	0	2	0	2	8	0	2	471
PD1	1585	17	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1612
PD2	685	8	5	10	5	0	0	22	0	2	0	0	5	740
PD3	1272	25	0	25	20	0	0	0	0	2	0	0	0	1344

Grupos: Acar-Acarina; Collem-Collembola; Aran-Araneae; Coleop-Coleoptera; Hymen-Hymenoptera; Diplur-Diplura; Prot-Protura; Thysan-Thysanoptera; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Myr-Myriapoda; Blatt-Blattodea. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.

APÊNDICE 3. Densidade média (indivíduos m^{-2}) de grupos da mesofauna por parcela nos sistemas de uso do solo no outono/2013.

Sistema	Acar	Collem	Aran	Coleop	Hymen	Diplur	Prot	Thysan	Hemip	Dipt	Myr	Blatt	Isop	Enchy	Outros	Total
ILP1	844	117	7	37	15	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1026
ILP2	1981	259	2	50	43	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2341
ILP3	305	20	2	35	113	0	0	2	6	0	0	0	0	2	0	490
ILPF1	201	35	2	27	15	0	0	2	2	8	0	0	2	0	2	298
ILPF2	547	62	0	17	92	0	0	0	2	2	0	2	0	0	2	729
ILPF3	58	13	0	13	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	87
CN1	224	164	5	2	192	2	841	15	2	0	0	0	0	0	15	1463
CN2	112	128	0	5	2685	0	0	0	17	0	0	0	0	0	12	2959
CN3	71	102	0	0	42	0	0	32	15	0	0	0	0	0	0	263
EU1	436	326	5	15	33	0	0	10	5	0	7	2	2	0	7	850
EU2	360	309	0	21	51	0	0	0	2	0	12	0	0	0	2	759
EU3	519	331	6	25	53	2	2	15	2	2	5	0	0	0	0	963
PD1	58	38	0	0	60	0	2	0	5	3	0	0	0	0	10	176
PD2	30	40	2	8	50	0	10	2	7	0	0	0	0	0	0	150
PD3	520	59	0	16	23	0	12	15	14	0	0	0	0	5	2	667

Grupos: Acar-Acarina; Collem-Collembola; Aran-Araneae; Coleop-Coleoptera; Hymen-Hymenoptera; Diplur-Diplura; Prot-Protura; Thysan-Thysanoptera; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Myr-Myriapoda; Blatt-Blattodea; Isop-Isopoda; Enchy-Enchytraeidae. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.

APÊNDICE 4. Densidade média (indivíduos m^{-2}) de grupos da macrofauna por parcela nos sistemas de uso do solo na primavera/2012.

Sistema	Oligo	Coleop	Isopt	Hymen	Myr	Diplu	Arac	Hemip	Dipt	Ortho	Lepid	Ovos	Isopo	Blatt	Thys	Total
ILP1	45	96	0	214	6	0	26	38	6	0	10	0	0	0	0	442
ILP2	10	186	6	355	0	0	29	144	3	0	6	13	0	13	0	765
ILP3	10	90	10	288	0	0	22	48	3	3	0	0	19	0	3	496
ILPF1	0	86	3	102	3	0	10	0	6	6	0	0	0	0	0	253
ILPF2	6	74	0	800	10	3	16	0	0	6	0	0	6	0	0	922
ILPF3	22	112	0	112	3	0	13	6	0	3	0	0	10	6	0	288
CN1	45	163	1968	1514	3	3	3	6	3	0	0	16	0	0	0	3725
CN2	38	118	1866	1379	6	3	16	3	3	0	0	13	0	0	0	3446
CN3	42	93	2176	950	0	6	38	10	0	0	0	179	0	6	0	3504
EU1	0	61	195	141	3	0	16	6	0	0	0	0	0	0	0	422
EU2	0	112	0	99	6	0	13	6	0	0	0	0	0	3	0	240
EU3	0	22	3	131	6	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	205
PD1	0	42	0	67	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	115
PD2	0	35	0	38	3	0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	90
PD3	0	45	0	80	0	0	10	0	0	0	0	0	0	3	0	138

Grupos: Oligo-Oligochaeta; Coleop-Coleoptera; Isopt-Isoptera; Hymen-Hymenoptera; Myr-Myriapoda; Diplu-Diplura;Arac-Arachnida; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Ortho-Orthoptera; Lepid-Lepidoptera; Isopo-Isopoda; Blatt-Blattodea; Thys-Thysanoptera. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.

APÊNDICE 5. Biomassa média (g m^{-2}) de grupos da macrofauna por parcela nos sistemas de uso do solo na primavera/2012.

Sistema	Oligo	Coleop	Isopt	Hymen	Myr	Diplu	Arac	Hemip	Dipt	Ortho	Lepid	Ovos	Isopo	Blatt	Thys	Total
ILP1	0,396	5,828	0,000	0,049	0,345	0,000	0,024	0,148	0,017	0,000	2,022	0,000	0,000	0,000	0,000	8,829
ILP2	0,227	1,305	0,000	0,353	0,000	0,000	0,020	0,302	0,000	0,000	0,684	0,027	0,000	1,077	0,000	3,995
ILP3	0,284	3,892	0,006	0,547	0,000	0,000	0,026	0,107	0,007	1,625	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	6,506
ILPF1	0,000	4,295	0,000	0,422	0,000	0,000	0,001	0,000	0,015	0,816	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,649
ILPF2	0,716	2,855	0,000	0,338	0,184	0,000	2,175	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	6,299
ILPF3	1,851	1,818	0,000	1,152	0,000	0,000	0,009	0,005	0,000	0,780	0,000	0,000	0,004	0,374	0,000	5,994
CN1	2,283	2,191	2,136	0,777	0,000	0,016	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,411
CN2	1,309	1,323	1,873	0,036	0,091	0,018	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,496
CN3	3,235	0,946	2,332	0,588	0,000	0,078	1,377	0,005	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,036	0,000	9,604
EU1	0,000	0,587	0,137	0,092	0,000	0,000	0,253	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,117
EU2	0,000	1,358	0,000	0,071	0,001	0,000	0,447	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,175	0,000	2,058
EU3	0,000	2,004	0,019	0,041	0,001	0,000	0,172	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,236
PD1	0,000	0,096	0,000	0,031	0,113	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,249
PD2	0,000	4,156	0,000	0,043	0,163	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,374
PD3	0,000	1,604	0,000	0,104	0,000	0,000	0,316	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	2,038

Grupos: Oligo-Oligochaeta; Coleop-Coleoptera; Isopt-Isoptera; Hymen-Hymenoptera; Myr-Myriapoda; Diplu-Diplura; Arac-Arachnida; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Ortho-Orthoptera; Lepid-Lepidoptera; Isopo-Isopoda; Blatt-Blattodea; Thys-Thysanoptera. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.

APÊNDICE 6. Densidade média (indivíduos m^{-2}) de grupos da macrofauna por parcela nos sistemas de uso do solo no outono/2013.

Sistema	Oligo	Coleop	Isopt	Hymen	Myr	Aran	Hemip	Dipt	Ortho	Mermi	Isopo	Blatt	Thys	Derma	Outros	Total
ILP1	118	150	26	10	13	3	0	3	0	0	19	0	0	0	6	349
ILP2	61	122	3	58	10	6	3	10	0	0	0	0	3	0	3	278
ILP3	6	189	19	118	0	13	3	6	3	0	6	10	3	0	0	378
ILPF1	0	128	0	29	6	3	0	0	3	0	22	0	0	0	0	192
ILPF2	13	125	0	35	3	6	0	0	6	0	0	0	0	3	0	192
ILPF3	0	35	19	310	0	3	0	6	0	0	0	3	0	0	0	378
CN1	32	157	10259	2643	3	13	6	22	0	0	3	6	3	0	0	13149
CN2	118	152	4019	934	6	13	10	35	0	0	0	3	3	0	13	5261
CN3	51	104	2973	307	0	6	3	3	6	0	0	3	0	0	3	3418
EU1	0	54	0	365	16	42	0	0	13	0	0	10	0	0	3	490
EU2	3	54	0	115	6	22	0	0	0	0	0	0	0	0	6	218
EU3	0	38	0	832	16	22	13	3	0	0	10	13	0	0	6	954
PD1	3	38	22	35	0	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	115
PD2	3	54	0	19	3	13	0	0	0	3	0	6	0	0	0	102
PD3	3	51	0	32	0	9	0	0	0	0	0	3	0	0	0	109

Grupos: Oligo-Oligochaeta; Coleop-Coleoptera; Isopt-Isoptera; Hymen-Hymenoptera; Myr-Myriapoda; Aran-Araneae; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Ortho-Orthoptera; Mermi-Mermithidae; Isopo-Isopoda; Blatt-Blattodea; Thys-Thysanoptera; Derma-Dermaptera. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.

APÊNDICE 7. Biomassa média (g m^{-2}) de grupos da macrofauna por parcela nos sistemas de uso do solo no outono/2013.

Sistema	Oligo	Coleop	Isopt	Hymen	Myr	Aran	Hemip	Dipt	Ortho	Mermi	Isopo	Blatt	Thys	Derma	Outros	Total
ILP1	2,356	17,924	0,024	0,001	0,447	0,015	0,000	0,016	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,154	20,948
ILP2	0,611	19,608	0,000	0,010	0,032	0,015	0,177	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	20,469
ILP3	0,136	3,689	0,013	0,040	0,000	0,055	0,056	0,008	0,054	0,000	0,006	0,377	0,000	0,000	0,000	4,436
ILPF1	0,000	7,288	0,000	0,087	0,037	0,013	0,000	0,000	0,011	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	7,442
ILPF2	0,219	0,601	0,000	0,007	0,005	0,028	0,000	0,000	0,135	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	1,022
ILPF3	0,000	0,721	0,011	0,090	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000	0,866
CN1	1,512	2,044	14,968	2,101	0,000	0,019	0,004	0,052	0,000	0,000	0,001	0,250	0,000	0,000	0,000	20,952
CN2	8,320	1,079	4,576	0,914	0,049	0,087	0,017	0,054	0,086	0,000	0,000	0,127	0,008	0,000	0,347	15,666
CN3	2,917	0,430	2,281	0,209	0,000	0,003	0,004	0,015	0,079	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	5,950
EU1	0,000	2,703	0,000	0,093	0,021	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,126	0,000	0,000	0,018	2,995
EU2	0,178	2,347	0,000	0,047	0,021	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	2,673
EU3	0,000	0,118	0,000	0,597	0,075	0,012	0,612	0,002	0,000	0,000	0,031	0,146	0,000	0,000	0,024	1,608
PD1	0,082	0,331	0,016	0,048	0,000	0,141	0,416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,033
PD2	0,241	0,146	0,000	0,014	0,470	0,239	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	1,115
PD3	0,156	0,246	0,000	0,012	0,000	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,499

Grupos: Oligo-Oligochaeta; Coleop-Coleoptera; Isopt-Isoptera; Hymen-Hymenoptera; Myr-Myriapoda; Aran-Araneae; Hemip-Hemiptera; Dipt-Diptera; Ortho-Orthoptera; Mermi-Mermithidae; Isopo-Isopoda; Blatt-Blattodea; Thys-Thysanoptera; Derma-Dermaptera. Sistemas: ILP-integração lavoura-pecuária; ILPF-integração lavoura-pecuária-floresta; CN-campo nativo pastejado; EU-plantio florestal de *Eucalyptus dunnii*; PD-plantio direto.