

DIVISÃO 2 - PROCESSOS E PROPRIEDADES DO SOLO

Comissão 2.1 - Biologia do solo

MACROFAUNA EDÁFICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS EM SISTEMAS DE USO DO SOLO NO PLANALTO CATARINENSE

Marcio Gonçalves da Rosa⁽¹⁾, Osmar Klauberg Filho⁽¹⁾, Marie Luise Carolina Bartz⁽²⁾, Álvaro Luiz Mafra⁽¹⁾, José Paulo Filipe Afonso de Sousa⁽³⁾ e Dilmar Baretta^{(4)*}

⁽¹⁾ Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Departamento de Solos e Recursos Naturais, Lages, Santa Catarina, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Positivo, Gestão Ambiental, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁽³⁾ Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Vida, Coimbra, Portugal.

⁽⁴⁾ Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC Oeste, Departamento de Zootecnia, Chapecó, Santa Catarina, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: dilmar.baretta@udesc.br

RESUMO

O uso do solo pode alterar processos como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e agregação das partículas e, com isso, influenciar a ocorrência da macrofauna. Objetivou-se com este estudo relacionar os sistemas de uso do solo e os efeitos deles sobre a distribuição de grupos da macrofauna do solo, bem como a relação desses com os atributos físicos e químicos do solo. Os sistemas de uso do solo avaliados foram: floresta nativa, reflorestamento de eucalipto, pastagem, integração lavoura-pecuária e lavoura com sistema plantio direto. As amostras foram coletadas em uma grade de amostragem de 3×3 , totalizando nove pontos, distanciados entre si em 30 m, no inverno e verão, em três municípios do Planalto Sul-catarinense, considerados réplicas verdadeiras. As avaliações foram de atributos físicos e químicos do solo e da abundância e diversidade da macrofauna, coletada pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF). Os organismos do solo são pertencentes a 16 grupos taxonômicos, com 4.702 indivíduos m^{-2} no inverno e 7.438 indivíduos m^{-2} no verão. Houve interação entre época e sistemas de uso do solo, com flutuação populacional dos organismos dependente do uso e com relação aos atributos físicos e químicos do solo, evidenciada pela análise de redundância, que apresentou alta correlação entre variáveis ambientais e fauna do solo. As mudanças na composição da macrofauna do solo foram observadas nos seus sistemas de uso, que tiveram maior intervenção antrópica. Floresta nativa, reflorestamento de eucalipto e pastagem são mais estáveis em termos de

Recebido para publicação em 21 de janeiro de 2015 e aprovado em 3 de setembro de 2015.

DOI: 10.1590/01000683rbc20150033

biodiversidade da macrofauna do solo, quando comparados com áreas agrícolas com plantio direto e integração lavoura-pecuária.

Palavras-chave: fauna do solo, manejo do solo, biodiversidade edáfica.

ABSTRACT: SOIL MACROFAUNA AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES UNDER SOIL MANAGEMENT SYSTEMS IN THE SANTA CATARINA HIGHLANDS, BRAZIL

Soil use can change processes such as soil organic matter decomposition, nutrient cycling, and particle aggregation, which, in turn, influence the occurrence of macrofauna. The objective of this study was to relate land use systems to their effects on the distribution of soil macrofauna groups, as well as their relation to soil physical and chemical properties. The land use systems evaluated were native forest, an Eucalyptus plantation, pasture, a crop-livestock integration area, and a no-tillage crop area. Samples were collected from a 3 × 3 grid with a total of nine points at a distance of 30 m from each other, in winter and summer, in three municipalities in the southern Santa Catarina highlands, Brazil, considered as true replications. Soil physical and chemical properties were analyzed and the abundance and diversity of macrofauna were evaluated by the TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) method. Soil organisms belonging to 16 taxonomic groups were distinguished, with 4,702 individuals m⁻² in the winter and 7,438 individuals m⁻² in the summer. There was an interaction effect between the season and land use system, with fluctuation in the soil organism population dependent on land use and related to soil physical and chemical properties, demonstrated by redundancy analysis, which showed high correlation between environmental variables and soil fauna. Changes in the composition of soil macrofauna were observed in land use systems with more human impact. Native forest, eucalyptus plantation, and pasture were more stable in terms of biodiversity of soil macrofauna compared to agricultural areas under no-tillage and crop-livestock integration.

Keywords: soil fauna, soil management, edaphic biodiversity.

INTRODUÇÃO

A crise ambiental dos últimos anos está relacionada à intensa exploração dos recursos naturais e modificação dos ecossistemas, causada pela urbanização, supressão da vegetação e fragmentação dos habitats, com crescente redução da biodiversidade e consequente comprometimento da funcionalidade dos sistemas naturais (Blankinship et al., 2011). Tais mudanças podem se manifestar no solo, com alterações na dinâmica das populações da macrofauna e reflexos negativos na qualidade do solo (Bartz et al., 2014b).

A qualidade do solo está relacionada com seus componentes físicos, químicos e biológicos. Entre os biológicos, a fauna apresenta múltiplas ações ao estimular a atividade de microrganismos responsáveis pela mineralização e humificação da matéria orgânica do solo (MOS), que pode interferir na disponibilidade de nutrientes (Lavelle et al., 1993), além de formar estruturas biogênicas, que melhoram a estrutura, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica e porosidade total (Lavelle e Spain, 2001). Assim, por executar essas funções-chave nos ecossistemas, pode ser utilizada como indicadora de qualidade do solo (Araújo et al., 2007). A fauna edáfica é influenciada pelo uso e manejo do solo, que podem modificar a sua abundância e diversidade, principalmente

pela perturbação do ambiente e pelas alterações na quantidade e qualidade da MOS (Huerta e Wal, 2012).

Nesse sentido, os sistemas conservacionistas de manejo do solo podem reduzir os impactos sobre a biodiversidade edáfica por revolverem o solo somente na linha de semeadura, manterem o solo coberto com resíduos culturais e adotarem rotação de culturas, o que pode elevar o teor de carbono orgânico total e nutrientes no solo (Paul et al., 2013). Além disso, podem melhorar os seus atributos físicos e químicos, quando comparados com manejos inadequados, associados à monocultura e ao preparo excessivo do solo (Baretta et al., 2011; Martínez et al., 2013), que reduzem a quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos, o que limitaria o estabelecimento de determinados táxons (Baini et al., 2012; Ashford et al., 2013).

Diversos trabalhos têm focado a macrofauna como indicadora da qualidade do solo (Paudel et al., 2012; Rousseau et al., 2013), visando compreender como os usos do solo interferem na distribuição da macrofauna edáfica. No Estado de Santa Catarina, alguns trabalhos avaliaram as populações de invertebrados terrestres como indicadores de qualidade edáfica (Baretta et al., 2003, 2006; Alves et al., 2008; Bartz et al., 2011, 2014a,b; Baretta et al., 2014); porém, é necessário compreender melhor as relações entre usos do solo, diversidade e abundância dos organismos e sua dependência com os atributos do solo, especialmente na região do Planalto

Sul-catarinense. Essa região apresenta recente expansão da agricultura e de plantios florestais como eucalipto, em áreas originalmente cobertas por matas de araucária, em substituição à vegetação de campos naturais ou a outros sistemas de uso da terra (Floriani e Fert Neto, 2011).

O objetivo deste estudo foi avaliar a macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo no Planalto Sul-catarinense, com crescente intensidade de interferência antrópica, buscando compreender a distribuição dos grupos de organismos e sua relação com atributos físicos e químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Planalto Sul catarinense, abrangendo sistemas de uso do solo (SUS) com crescente intensidade de intervenção antrópica, a saber: floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e sistema plantio direto (PD) (Quadro 1). Outras informações sobre o histórico de uso das áreas podem ser obtidas em Bartz et al. (2014a). Os locais foram selecionados de acordo com características geográficas, relevo, altitude

e solo representativos, em três municípios: em Campo Belo do Sul e Lages, num Nitossolo Bruno, e em Otacílio Costa, num Cambissolo Húmico.

A amostragem dos animais e a do solo realizaram-se em grade amostral de 3 × 3 pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m, respeitando 20 m de bordadura, num total de 270 pontos e área total de 1 ha em cada um dos SUS (Figura 1). Os locais de amostragem em cada município foram considerados como réplicas verdadeiras dos SUS.

A coleta da macrofauna do solo foi feita pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993), no inverno de 2011, em junho e julho, e verão, em dezembro de 2011 e janeiro de 2012, períodos em que as condições de temperatura e precipitação (resultados não apresentados) foram representativas do ambiente regional (Santa Catarina, 1986). A área de amostragem em cada ponto foi de 0,25 × 0,25 m, à profundidade de 0,20 m; as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos. No laboratório, ocorreu triagem manual, com o auxílio de iluminação artificial. Todos os organismos encontrados foram fixados em álcool 80 %, com exceção das minhocas, que foram fixadas em álcool 92,8 %, e posteriormente identificados em grandes grupos taxonômicos e quantificados.

Quadro 1. Características e histórico de uso em áreas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e sistema plantio direto (PD), no Planalto Sul-catarinense

Atributo	FN	RE	PA	ILP	PD
Campo Belo do Sul: Nitossolo Bruno					
UTM (J22 zona)	533895,8	534356,2195	534167,5	532846,688	532212,2229
	6915778,881	6915002,151	6917279,118	6917281	6916850,628
Idade (ano)	-	20	12	25	11
Vegetação e manejo	Floresta ombrófila mista; secundária. Entrada de pessoas e gado.	Anteriormente campo nativo. Entrada de gado e pessoas.	Pastagem nativa com queima controlada a cada dois anos.	Lavoura sob PD e rotação de cultura (soja, milho, trigo, aveia). Uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas.	Lavoura sob PD e rotação de cultura (soja, milho, trigo e pousio). Uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas.
Lages: Nitossolo Bruno					
UTM (J22 zona)	539823,7	539289,7715	539402,3	539729,3951	539452,8114
	6924955,115	6925346,417	6925122,656	6925729	6926507,173
Idade (ano)	-	7	15	10	7
Vegetação e manejo	Floresta ombrófila mista; secundária. Entrada de pessoas e gado.	Entrada de gado.	Pastagem nativa.	Lavoura sob PD e rotação de cultura (soja, milho, aveia, azevém). Uso de herbicidas, inseticidas (fisiológico) e fungicidas.	Lavoura sob PD (soja, milho, trigo). Uso de herbicidas, inseticidas (fisiológico) e fungicidas.
Otacílio Costa: Cambissolo Húmico					
UTM (J22 zona)	613615,7	603859,8085	612712,1	612783,5319	608315,0418
	6947179,474	6951380,279	6944460,548	6944536	6959434,669
Idade (ano)	-	21	-	12	10
Vegetação e manejo	Floresta ombrófila mista; secundária. Entrada de pessoas e gado.	-	Pastagem nativa com queima controlada anualmente.	Lavoura sob PD e rotação de cultura (soja, milho, aveia, azevém). Uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas.	Lavoura sob PD (soja, milho e pousio). Uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas.

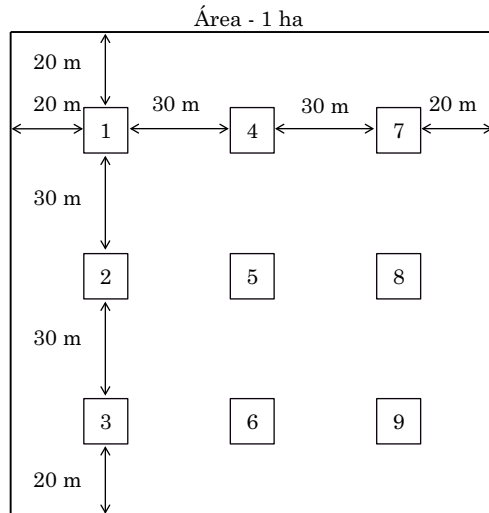


Figura 1. Representação esquemática da coleta de amostras para determinar os atributos do solo.

A amostragem do solo para análise química e de granulometria foi realizada ao redor dos pontos de coleta da fauna, com coleta de 15 subamostras na camada de 0,00-0,20 m, com trado holandês, que foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. Os atributos químicos foram analisados conforme Tedesco et al. (1995), com determinação de pH em água, índice SMP, P, K, MO, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al e CTC a pH 7,0. A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta (Gee e Bauder, 1986). Amostras com estrutura preservada de solo foram coletadas ao lado de cada local escavado para retirada da macrofauna. Uma porção de torrões foi utilizada para determinar a estabilidade de agregados, de acordo com o método de peneiramento úmido de Kemper e Chepil (1965). Anéis volumétricos retirados nesses pontos foram utilizados para determinar a densidade do solo (D_s), o volume de bioporos (Bio), a microporosidade (Micro), a macroporosidade (Macro) e a porosidade total (PT), determinados como descritos em Embrapa (1997). A resistência à penetração (RP) foi medida com penetrômetro de bancada Marconi®, modelo MA-933, na porção central das amostras de solo contidas nos anéis volumétricos, com umidade estável na tensão de 6 kPa.

Os dados de riqueza de espécies foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) para verificar diferenças entre os SUS e apresentados em gráficos do tipo *box-plot* utilizando o *software* Statistica (Statsoft, 2001). Os dados de abundância de grupos da macrofauna foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), na comparação das épocas de coleta (inverno e verão), utilizando o programa estatístico CANOCO versão 4.0 (ter Braak e Smilauer, 1998), ressaltando que os parâmetros físicos e químicos não foram utilizados nessa análise como variável resposta no modelo estatístico;

foram apenas plotados, como variável explicativa. Os atributos físicos e químicos do solo foram considerados como variáveis ambientais explicativas das modificações de grupos da macrofauna edáfica, utilizando análise de redundância (RDA) (ter Braak e Smilauer, 1998). As variáveis colineares e não significativas ($p < 0,05$) foram identificadas, utilizando-se análise de correlação de Pearson, sendo retiradas do modelo quando o coeficiente de correlação foi superior a 0,8. Os índices de diversidade de Shannon-Wiener foram calculados pela biblioteca Vegan, presente no programa estatístico R (*R Development Core Team*, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os animais da macrofauna do solo abrangeram 16 grupos taxonômicos (nível de Ordem) nas duas épocas de amostragem, com abundância de 4.702 indivíduos m^{-2} , no inverno, e 7.438 indivíduos m^{-2} , no verão. A riqueza média na região do Planalto Sul catarinense variou entre os SUS e entre as épocas de amostragem (Figura 2). Observou-se, no inverno, que o número de táxons encontrados dentre os cinco SUS avaliados foi significativamente maior em FN, quando comparado com os demais SUS (RE, PA, ILP e PD).

No verão, nos mesmos SUS, observou-se aumento na riqueza, seguindo a ordem $FN > RE, PA, ILP$ e PD. A riqueza de táxons no inverno foi maior nos SUS onde o manejo é reduzido (RE e PA) ou inexistente, no caso de FN, em relação aos sistemas manejados mais intensamente (ILP e PD), apontando que a intensidade de uso do solo é uma das fontes de variação na distribuição dos grupos da macrofauna. A riqueza de grupos taxonômicos e a frequência de ocorrência são definidas por vários fatores, como: microclima, tipos de plantas de cobertura, presença de serapilheira, tipo de solo, entre outros, que exercem efeitos importantes na manutenção da biodiversidade (Alves et al., 2008). Nos sistemas de uso conduzidos nos solos estudados, todos tinham algum tipo de cobertura (Quadro 1); no entanto, as peculiaridades de todos os SUS (Bartz et al., 2014b) são fatores que determinam a ocorrência de grupos específicos da macrofauna. Todavia, a época de amostragem alterou a diversidade e frequência de ocorrência de grupos da macrofauna nos SUS estudados.

Entretanto, a intensidade de uso do solo, bem como o tipo de cobertura vegetal, constituiu fator determinante sobre a biodiversidade e abundância das comunidades de macroinvertebrados terrestres. Ao avaliarem a remoção dos resíduos vegetais da superfície do solo, Ashford et al. (2013) observaram redução nas comunidades de parte dos organismos edáficos, especialmente formigas. Em áreas onde a cobertura vegetal mantém-se inalterada,

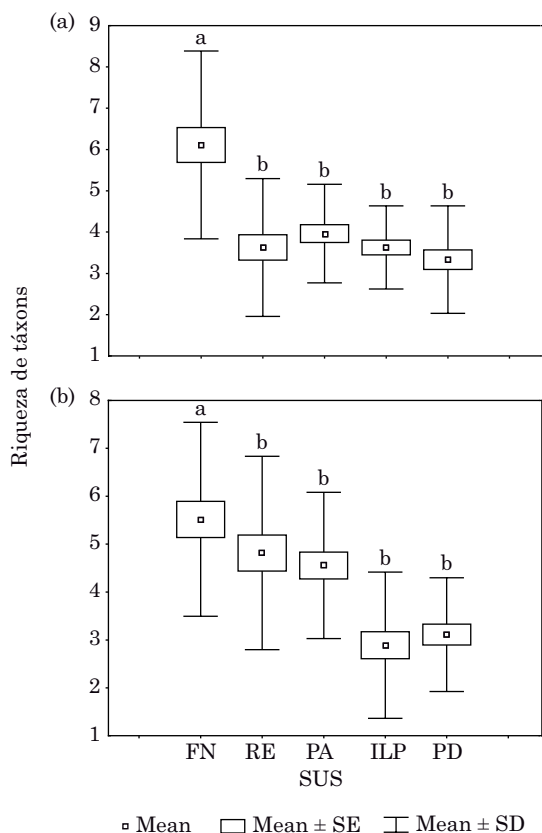


Figura 2. Riqueza de táxons da macrofauna do solo nas áreas de floresta nativa (FN), reforestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e sistema plantio direto (PD), no inverno de 2011 (a), e no verão de 2011/12 (b), na região do Planalto Sul-catarinense. Médias seguidas pelas mesmas letras são semelhantes pelo teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$; $n = 135$).

as condições de umidade e temperatura do solo permanecem mais estáveis, favorecendo, dessa maneira, o desenvolvimento de toda a rede trófica. Além disso, a área de FN possui maior diversidade florística que as áreas de RE, PA, ILP e PD. Isso sugere deposição de serapilheira mais diversificada, com oferta variada de alimento e substrato para a biota do solo (Corrêa Neto et al., 2001). Organismos como formigas, cupins e algumas espécies de minhocas são mais generalistas e necessitam somente de condições estáveis do ponto de vista físico. No entanto, para que haja predominância de aranhas, quilópodes e outros predadores mais ativos, é importante que as cadeias alimentares estejam estabelecidas, o que dificilmente ocorre em áreas agrícolas, pois, por mais que não haja revolvimento do solo, ou esse revolvimento seja mínimo como no PD, a utilização de agrotóxicos (Quadro 1) pode causar declínio de alguns táxons (Smith et al., 2008; Mentone et al., 2011).

Os grupos Formicidae, Isoptera, Coleoptera, Diptera e Oligochaeta tiveram os maiores valores de frequência absoluta de organismos no inverno e verão, demonstrando efeito de época de amostragem para a maioria dos grupos mais frequentes da macrofauna do solo. No verão, entretanto, além dos grupos citados, a ordem Araneae também teve alta frequência.

O maior valor de diversidade de grupos por Shannon-Wiener foi observado em FN ($H' = 1,7$), RE ($H' = 1,7$), PD ($H' = 1,6$), ILP ($H' = 1,3$) e PA ($H' = 1,1$) no verão. No inverno, a maior diversidade também foi encontrada na FN ($H' = 1,40$), seguido de RE ($H' = 1,31$), PD ($H' = 1,23$), ILP ($H' = 1,15$) e PA ($H' = 0,93$). Essa maior diversidade da macrofauna na FN também foi reportada por diversos autores (Moço et al., 2005; Baretta et al., 2010; Rousseau et al., 2013).

A elevada frequência de minhocas em áreas agrícolas (ILP e PD) pode ser explicada pelo manejo adotado, que promove manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, o que melhora o microclima, evita a exposição direta do solo aos raios solares e conserva a umidade (Brown et al., 2003; Gatiboni et al., 2009; Bartz et al., 2013, 2014c). A importância da adoção de sistemas conservacionistas como o sistema plantio direto para aumentar as populações de minhocas no ambiente foi reportada por Brown et al. (2003). Nesse sentido, um estudo conduzido por Smith et al. (2008) em áreas de cultivo de soja e milho com rotação de cultura demonstrou que as plantas de cobertura aumentaram em 50 % a população de Oligochaeta, ao comparar diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

O grupo oligoquetas neste estudo aumentou 64 e 26 %, em ILP e PD, respectivamente, comparados a FN (3 %) durante o inverno; durante o verão, ILP e PD concentraram o maior percentual desse grupo, atingindo 37 e 46 %, respectivamente, ao passo que FN obteve somente 5 %. Na região norte do Paraná, Bartz et al. (2014c) destacaram a abundância de minhocas em áreas de pastagem e sistema plantio direto, comparados a floresta nativa, plantações de café e semeadura direta com escarificação, sendo observada maior abundância de minhocas no inverno, o que se contrapõem aos resultados encontrados neste estudo.

As populações de Coleoptera tiveram distribuição homogênea nos SUS no inverno quando comparadas ao verão, onde a frequência ficou quase que restrita às áreas agrícolas (PD e ILP). Nesse caso, a cobertura vegetal permanente pode ter favorecido um habitat adequado a esse grupo, uma vez que a frequência foi alta nessas áreas no verão. Entretanto, não foi encontrada elevada frequência relativa de larvas de Coleoptera, consideradas pragas em áreas agrícolas (Santos et al., 1997; Baretta et al., 2003; Rodrigues et al., 2011). Esses resultados são similares aos obtidos por Martins et al. (2012), ao

estudarem Coleoptera (Carabidae e Staphylinidae) em áreas de solos manejadas com revolvimento e sob sistema plantio direto. A flutuação das populações de Coleoptera ao longo das estações do ano foi atribuída à capacidade de cada espécie explorar nichos tróficos específicos (French e Elliott, 1999).

Embora nas áreas agrícolas estudadas haja aplicação de agrotóxicos (Quadro 1), o que poderia limitar as populações de Coleoptera, Silva et al. (2012) demonstraram que a aplicação de determinados herbicidas em áreas agrícolas não prejudicou esses animais. Durante o verão, observou-se decréscimo do número de Coleoptera nas áreas de pastagem. A frequência desse grupo aumentou conforme o grau de estabilidade dos ecossistemas (FN>RE>PA). Alguns estudos relataram o aumento da frequência relativa desse grupo em ambientes com menor intervenção antrópica (Baretta et al., 2010, 2011; Bartz et al., 2014a).

A elevada frequência de Diptera (não edáfico) em áreas de PD durante o inverno pode ser resultado do clima mais ameno da região do Planalto Sul catarinense. Os autores comumente não consideram Diptera como um grupo edáfico, mas algumas famílias depositam suas larvas em áreas onde há elevada concentração de matéria orgânica em decomposição, como é o caso das larvas de Stratiomyidae. As larvas terrestres desses insetos estão associadas principalmente à decomposição de matéria orgânica vegetal e animal em sistemas florestais e agrícolas (famílias: Beridinae, Sarginae, Hermetiinae, Clitellariinae), mas há também os grupos especializados que utilizam resíduos vegetais em decomposição no solo (Pachygastrinae) ou em raízes de plantas vivas (Chiromyzinae), em parte de seu ciclo de vida (Pujol-Luz et al., 2004). A preferência desses organismos por áreas agrícolas pode ser um indicativo do elevado acúmulo de material orgânico no solo por causa da permanente cobertura do solo. No entanto, sugerem-se estudos complementares a fim de explicar a ocorrência desse grupo, especialmente em áreas agrícolas, com identificação em nível de família e, se possível, espécie, procurando encontrar novos indicadores de qualidade do solo (Baretta et al., 2011).

A análise de componentes principais (ACP) evidencia a separação dos SUS, considerando a abundância da macrofauna do solo. O primeiro componente principal (CP1) explica 34,1%; e o CP2, 18,6% da variabilidade entre os SUS estudados, totalizando 52,7% da variabilidade total dos resultados na amostragem de inverno (Figura 3a).

Os SUS variaram quanto à abundância da macrofauna no verão (Figura 3b), sendo a maior presença de minhocas (Oligochaeta) nos sistemas agrícolas, corroborando os resultados obtidos por Bartz et al. (2011), na região oeste de Santa Catarina, em áreas manejadas com PD e ILP; e por Bartz et al. (2014c), que encontraram mais minhocas

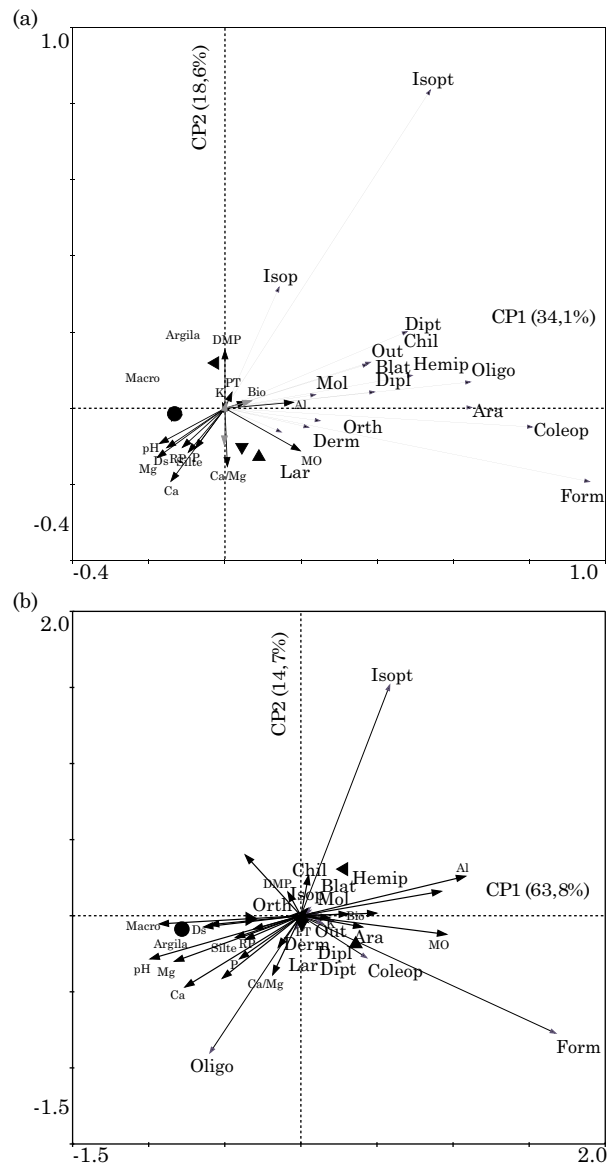


Figura 3. Análise de componentes principais (ACP) no inverno (a) e verão (b) de 2011 para os grupos da macrofauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas, na região do Planalto Sul-catarinense. (n = 135). Abreviações: floresta nativa: FN ▲; reforestamento de eucalipto: RE ▼; pastagem perene: PA ◀; integração lavoura-pecuária: ILP ▶; sistema plantio direto: PD ●; Oligochaeta: Oligo; Formicidae: Form; Coleoptera: Coleop; Dermaptera: Derm; somatário de outras larvas: Lar; Molusca: Mol; Pseudoscorpionidae: Pseu; Diplopoda: Dipl; Chilopoda: Chil; Isopoda: Isop; Araneae: Ara; Blattodea: Blat; Isoptera: Isopt; Orthoptera: Orth; somatário dos grupos menos frequentes: Out; Diâmetro médio de ponderado de agregados: DMP; Alumínio: Al; Bioporos: Bio; Potássio: K; Matéria orgânica: MO; Fósforo: P; Relação cálcio/magnésio: Ca/Mg; Cálcio: Ca; Magnésio: Mg; Silte: Silt; Resistência à penetração: RP; Acidez: pH; Argila: Argila; Macroporosidade: Macro; e Densidade do solo: Ds.

em áreas agrícolas. As ordens Formicidae (formigas), Araneae (aranhas), Coleoptera (besouros), Diplopoda (centopeias), Mollusca (lesmas e caramujos), Diptera (moscas e mosquitos), Blattodea (baratas), Hemiptera (percevejos) tiveram maior relação com FN. Resultados semelhantes também foram obtidos por Baretta et al. (2005), Alves et al. (2008), Baretta et al. (2010), Nunes et al., (2012) e Bartz et al. (2014a), em que os grupos citados tiveram abundâncias mais elevadas para tais SUS.

Na pastagem, observou-se predominância de Isoptera (cupins) em ambas as épocas. Analisando do ponto de vista multivariado, os maiores vetores são os que possuem maior correlação, indicando forte relação entre os grupos analisados. Assim, no inverno, destacaram-se formigas, cupins e minhocas, confirmando sua abundância nesse SUS (Figuras 3a e 3b). Elevadas densidades de Isoptera (cupins) são comuns em áreas de pastagens, pois comumente possuem solos de baixa fertilidade (Ferreira et al., 2010). Além disso, Souza et al. (2012) verificaram que as populações de cupins presentes em remanescentes de floresta Atlântica são influenciadas pelos teores de argila e MOS. Destaca-se que tanto o Cambissolo Húmico quanto o Nitossolo Bruno apresentam altos teores de argila e matéria orgânica, o que facilita a construção dos montículos e galerias nos ninhos, o que pode explicar a ocorrência desses insetos na área estudada.

No verão, houve maior similaridade entre os SUS, com exceção dos usos agrícolas, cujas médias se afastaram mais em comparação com os outros usos. O CP1 explicou 63,8 % da variação total; e o CP2, 14,7 %, totalizando 78,6 % da variação total (Figura 3b). Dessa forma, pode-se inferir que as diferenças em termos de distribuição da macrofauna edáfica estão relacionadas ao SUS. Os vetores apontaram menor diferenciação entre os SUS agrícolas (PD e ILP), que ficaram distanciados dos outros sistemas (FN, RE e PA), não sendo esses três últimos distintos entre si. Os grupos que mais contribuíram para a separação dos SUS foram cupins (Isoptera) e formigas (Formicidae), com predominância de cupins tanto em PA como em RE. As formigas também ficaram no limiar entre FN e PA.

Na análise de redundância (RDA), sem considerar as variáveis ambientais, os eixos 1 e 2 explicam 15,4 e 3,4 % da variação total, respectivamente. As variáveis ambientais explicam 22,5 % da variação total; desses 68,7 % são explicados pelo eixo 1 e apenas 15,1 % pelo eixo 2. Os resultados provenientes da seleção de variáveis (*forward selection*) e das permutações de Monte Carlo sugerem elevada correlação entre as variáveis ambientais (físicas e químicas do solo) e a variável resposta dos grupos da macrofauna edáfica ($p = 0,002$) no inverno (Figura 4a).

Entre os atributos químicos e físicos do solo avaliados, MO, Ca, Mg, P, Al, K e bioporos tiveram elevada correlação com os grupos da macrofauna.

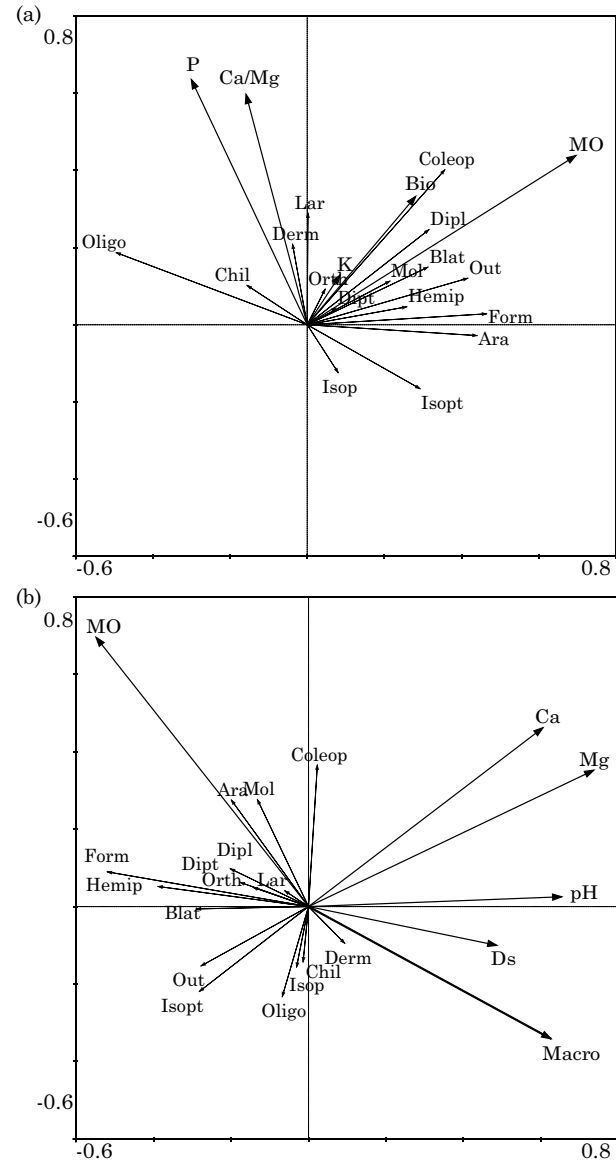


Figura 4. Análise de redundância (RDA) no inverno (a) e verão (b) de 2011, independentemente do sistema de uso do solo (SUS), na região do Planalto Sul-catarinense. Formicidae (Form); Dermaptera (Derm); Chilopoda (Chil); Oligochaeta (Oligo); Isopoda (Isop); Isoptera (Isopt); Araneae (Ara); Larvas (Lar); Diptera (Dipt); Coleoptera (Coleop); Diplopoda (Dipl); Blattodea (Blat); Mollusca (Mol); Hemiptera (Hemip); somatório de grupos menos frequentes (Out); Matéria orgânica (MO); Fósforo (P); Relação Cálcio/Magnésio (Ca/Mg); Alumínio (Al); Bioporos (Bio); Acidez ativa (pH); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Densidade do solo (Ds); e Macroporosidade (Macro).

O elevado teor de Al^{3+} esteve mais relacionado à abundância de Isoptera, Isopoda e Araneae, enquanto maior teor de matéria orgânica e quantidade de Bio estiveram relacionados à

presença de Coleoptera, Diplopoda, Blattodea, Formicidae, Mollusca, Hemiptera e outros (soma de outros grupos menos frequentes). O teor de K se relacionou com a ocorrência dos grupos Orthoptera e Diptera, muito embora os vetores para essas variáveis estejam mais no centro do gráfico, indicando baixa correlação (Figura 4a). As variáveis Ca/Mg e P tiveram relação com os grupos Chilopoda, Oligochaeta, Dermaptera e larvas.

A literatura destaca que a matéria orgânica constitui fator importante para o estabelecimento dos organismos do solo, mais precisamente no que se refere a formigas (Formicidae). Além dela, o pH e a porosidade são importantes para esse grupo (Jacquemin et al., 2012). A presença de nutrientes no solo, como o Ca^{2+} , por exemplo, também é importante para diversos invertebrados, pois fisiologicamente esse cátion está relacionado a vários mecanismos de regulação osmótica, assim como processos de ecdise, especialmente em crustáceos, onde esse processo já é bem conhecido; pois durante a pré-muda o exoesqueleto é solubilizado da carapaça, e o Ca^{2+} livre é transferido do epitélio cuticular para a hemolinfa, constituindo um efluxo de Ca. No pós-muda, o inverso acontece, e o processo gera um influxo de Ca, onde esse íon é direcionado da hemolinfa para o epitélio (Blotta-Baptista, 2009). Nas oligochaetas, os íons Ca estão presentes na organização das 180 subunidades polipeptídicas do arranjo espacial da hemoglobina, como relatado em *Glossoscolex paulistus* (Moreira et al., 2011).

No verão (Figura 4b), todas as variáveis pré-selecionadas pelo teste de correlação de Pearson, da mesma forma que no inverno, permitem indicar, sem considerar as variáveis ambientais, que os eixos 1 e 2 explicaram 14,1 e 5,8 % da variação total, respectivamente. As variáveis ambientais explicaram 26,3 % da variação total; desses 53,7 % são explicados pelo eixo 1 e 21,8 %, pelo eixo 2. Os resultados da seleção de variáveis significativas (*Forward selection*) e das permutações de Monte Carlo sugerem elevada relação entre as variáveis ambientais (atributos físicos e químicos do solo) e os grupos mais frequentes da macrofauna edáfica ($p=0,002$). Os mesmos atributos foram testados na RDA; no entanto, as variáveis significativas foram diferentes das observadas no inverno. No verão (Figura 4b), somente MO, P, Ca/Mg, pH, K, Ds e Macro tiveram correlação com os grupos da macrofauna edáfica, o que indica que as variáveis ambientais analisadas tenham influência sobre os organismos do solo de forma variável, conforme a época do ano considerada. Os atributos físicos do solo tiveram relação com os táxons, Dermaptera, Chilopoda, Oligochaeta, Isopoda e Isoptera; excetuando-se Chilopoda (predador) e Isopoda (detritívoro), os demais táxons são dependentes da Ds para sua mobilidade no solo, contribuindo para o aumento da macroporosidade.

De modo geral, a maioria dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica teve correlação com a MO, independentemente da época de amostragem; entretanto, no inverno (Figura 4a) observou-se correlação positiva entre os grupos Oligochaeta e Chilopoda e a relação Ca/Mg e teor de P, não sendo esse comportamento observado no verão. O incremento de MO é dependente da quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos adicionados ao solo, bem como da sua taxa de decomposição, o que pode influenciar de forma sinérgica a atividade dos animais e microrganismos do solo (Haynes et al., 2003). O manejo adequado do solo é importante para elevar os teores de MO e, com isso, pode haver maior riqueza de grupos da macrofauna, especialmente de Araneae, Opilionida, Chilopoda e Pseudoscorpionida (Baretta et al., 2011; Haddad et al., 2012). Esses organismos atuam como predadores sobre os saprófagos e micrófagos (mesofauna), exercendo dessa maneira o controle populacional da mesofauna (Haynes et al., 2003).

A maior parte dos grupos da macrofauna teve ocorrência correlacionada com o teor de MO no verão (Figura 4b), o que também foi observado por Silva et al. (2006). As maiores quantidades de MO foram observadas no sistema ILP, reforçando os resultados obtidos por Silva et al. (2011), que também encontraram elevada riqueza da macrofauna edáfica em áreas ocupadas com ILP e elevada correlação com o teor de MO. Segundo esses autores, a maior deposição de resíduos vegetais, com a rotação de culturas e a intensa renovação da massa radicular do sistema ILP, resulta em mais exsudatos radiculares, mudanças menos drásticas de temperatura e de conteúdo de água no solo e aumento do teor de MO, criando um microclima com atributos edáficos favoráveis à macrofauna do solo.

CONCLUSÕES

A macrofauna edáfica é influenciada pelos atributos químicos e físicos do solo, sendo esses fatores limitantes para a dispersão e estabelecimento desses organismos, o que pode explicar variações nos grupos de organismos entre os sistemas de uso do solo.

Os usos do solo com maior grau de intervenção antrópica (ILP e PD) reduzem os grupos da macrofauna, enquanto os usos mais estáveis como floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE) e pastagem perene (PA) favorecem a biodiversidade edáfica.

Os teores de MO, Ca, Mg, P, Al, K e bioporos, entre os atributos químicos e físicos do solo, têm elevada correlação com os grupos da macrofauna, possivelmente por condicionarem distribuição e

ou, estabelecimento da macrofauna edáfica nos diferentes sistemas de uso e manejo.

Há efeito de época de amostragem na abundância dos principais grupos da macrofauna edáfica.

Os estudos mais aprofundados, que identificam em nível de espécies, devem ser conduzidos com a finalidade de se obterem informações mais detalhadas do efeito do uso do solo sobre os atributos biológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Processo 6.309/2011-6/FAPESC); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo: 563251/2010-7/CNPq).

REFERÊNCIAS

- Alves MV, Santos JCP, Gois DTG, Alberton JV, Baretta D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. *R Bras Ci Solo*. 2008;32:589-98.
- Anderson JM, Ingram JSI. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: CAB International; 1993.
- Araújo R, Goedert WJ, Lacerda MPC. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *R Bras Ci Solo*. 2007;31:1099-108.
- Ashford OS, Foster WA, Turner BL, Sayer EJ, Sutcliffe L, Tanner EVJ. Litter manipulation and the soil arthropod community in a lowland tropical rainforest. *Soil Biol Biochem*. 2013;62:5-12.
- Baini F, Pitzalis M, Taiti S, Taglianti AV, Zapparoli M, Bologna M. Effects of reforestation with *Quercus* species on selected arthropod assemblages (Isopoda Oniscidea, Chilopoda, Coleoptera Carabidae). *For Ecol Manage*. 2012;286:183-91.
- Baretta D, Bartz MLC, Fachini I, Anselmi R, Zortéa T, Maluche-Baretta CRD. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. *R Ci Agron*. 2014;45:871-9.
- Baretta D, Brown GG, Cardoso EJB. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zool Mexicana*. 2010;26:135-50.
- Baretta D, Santos JCP, Bertol I, Alves MV, Manfroi AF, Maluche-Baretta CRD. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no Planalto Sul Catarinense. *R Ci Agrovet*. 2006;5:108-17.
- Baretta D, Santos JCP, Figueiredo SR, Klauber-Filho O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. *R Bras Ci Solo*. 2005;29:715-24.
- Baretta D, Santos JCP, Mafrá AL, Wildner LP, Miquelluti DJ. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *R Ci Agrovet*. 2003;2:97-106.
- Baretta D, Santos JCP, Segat JC, Geremia EV, Oliveira Filho LCI, Alves MV. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos Ci Solo*. 2011;8:119-70.
- Bartz MLC, Brown GG, Orso R, Mafrá AL, Baretta D. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. *R Ci Agron*. 2014a;45:880-7.
- Bartz MLC, Brown GG, Rosa MG, Klauber-Filho O, James SW, Decaëns T, Baretta D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. *Appl Soil Ecol*. 2014b;83:59-70.
- Bartz MLC, Brown GG, Rosa MG, Locatelli M, James SW, Baretta D. Minhocas *Urobenus* sp.: das matas para as áreas sob plantio direto. *R Plantio Direto*. 2011;124:6-7.
- Bartz MLC, Pasini A, Brown GG. Earthworm richness, abundance and biomass in different land use systems in northern Paraná, Brazil (Oligochaeta). In: Pavlíček T, Cardet P, Almeida MT, Pascola C, Cássio F, editors. Advances in earthworm taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta). Proceedings of the 6th International Oligochaeta Taxonomy Meeting; 2014; Palmeira de Faro, Portugal. Palmeira de Faro, Portugal: 2014c. p.59-73.
- Bartz MLC, Pasini A, Brown GG. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Appl Soil Ecol*. 2013;69:39-48.
- Blankinship JC, Niklaus PA, Hungate BA. A meta-analysis of responses of soil biota to global change. *Oecologia*, 2011;165:553-65.
- Blotta-Baptista B. Transporte de cálcio em células isoladas de hepatopâncreas do caranguejo dulcícola *Dilocarcinus pagei*: Efeitos do ATP e Ca⁺² [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2009.
- Brown GG, Benito NP, Pasini A, Sautter KD, Guimarães MF, Torres E. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. *Pedobiologia*. 2003;47:764-71.
- Corrêa Neto TA, Pereira MG, Correa MEF, Anjos LEC. Deposição de serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. *Flor Amb*. 2001;8:70-5.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Embrapa; 1997.
- Ferreira RRM, Tavares Filho J, Ferreira VM. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. *Semina*. 2010;31:913-32.
- Floriani GS, Fert Neto J. A trajetória do uso do solo por florestas na região dos campos de Lages. *R Ci Agrovet*. 2011;10:93-102.
- French BW, Elliott NC. Temporal and spatial distribution of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in grasslands and adjacent wheat fields. *Pedobiologia*. 1999;43:73-84.
- Gatiboni LC, Coimbra JLM, Wildner LP, Denardin RBN. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. *Biotemas*. 2009;22:45-53.
- Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis. In: Klute A, editor. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy; 1986. p.383-411. (Agronomy series, 9).

- Haddad GQ, Cividanes FJ, Martins IJF, Correa LRB. Population fluctuations of Formicidae (hymenoptera) and Araneae (Arachnida) in two tillage systems in the region of Guaíra-SP. *Florida Entomol.* 2012;95:1012-8.
- Haynes RJ, Dominy CS, Graham MH. Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworms communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric Ecosyst Environ.* 2003;95:453-64.
- Huerta E, Wal H. Soil macroinvertebrates abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *Eur J Soil Biol.* 2012;50:68-75.
- Jacquemin J, Drouet T, Delsinne T, Roisinb Y, Leponce M. Soil properties only weakly affect subterranean ant distribution at small spatial scales. *Appl Soil Ecol.* 2012;62:163-9.
- Kemper WD, Chepil WS. Size distribution of aggregation. In: Black CA, editor. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p.499-510.
- Lavelle P, Blanchart E, Martin S, Spain A, Toutain F, Barois I, Schaefer RA. Hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica.* 1993;25:130-50.
- Lavelle P, Spain AV. *Soil ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic; 2001.
- Martínez E, Fuentes JP, Pino V, Silva P, Acevedo E. Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile. *Soil Till Res.* 2013;126:238-45.
- Martins ICF, Cividanes FJ, Ide S, Haddad GQ. Diversity and habitat preferences of *Carabidae* and *Staphylinidae* (Coleoptera) in two agroecosystems. *Bragantia.* 2012;71:471-80.
- Mentone TO, Diniz EA, Munhae CB, Bueno OC, Morini MSC. Composition of ant fauna (Hymenoptera: *Formicidae*) at litter in areas of semi-deciduous forest and *Eucalyptus* spp., in Southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 2011;11:237-46.
- Moço MKS, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Correia ME. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. *R Bras Ci Solo.* 2005;29:555-64.
- Moreira MM, Moraes PCG, Mendonça JPRF, Guimarães L, Lyon JP, Aimbire F, Poli AL, Iamasato H. Hemoglobina extracelular gigante de *Glossoscolex paulistus*: um extraordinário sistema supramolecular hemoproteico. *Quim Nova.* 2011;34:119-30.
- Nunes LAPL, Silva DIB, Araújo ASF, Leite LFC, Correia MEF. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. *R Ci Agron.* 2012;43:30-7.
- Paudel BR, Udawatta RP, Kremer RJ, Anderson SH. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. *Agrof Syst.* 2012;84:311-23.
- Paul BK, Vanlauwe B, Ayuke F, Gassner A, Hoogmoed M, Hurisso TT, Koala S, Lelei D, Ndabamenye T, Six J, Pulleman MM. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agric Ecosyst Environ.* 2013;164:14-22.
- Pujol-Luz JR, Xerez R, Viana GG. Descrição do pupário de *Raphiocera armata* (Wiedemann) (Diptera, Stratiomyidae) da Ilha da Marombaia, Rio de Janeiro, Brasil. *R Bras Zool.* 2004;21:995-9.
- R Development Core Team. *R: a language and environment for statistical computing* [2.12.2]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2011.
- Rodrigues SR, Carmo JI, Oliveira VS, Floriano TE, Taira TL. Ocorrência de larvas de Scarabaeidae fitófagos (Insecta: Coleoptera) em diferentes sistemas de sucessão de culturas. *Pesq Agropec Trop.* 2011;41:87-93.
- Rousseau L, Fonte SJ, Téllez O, van der Hoek R, Lavelle P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecol Indic.* 2013;27:71-82.
- Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro; 1986.
- Santos GPN, Zanuncio TV, Assis Júnior SL, Zanuncio JC. Danos por *Sennius amazonicus*, *Sennius* sp. y *Amblycerus* sp. (Coleoptera: Bruchidae) em sementes de *Sclerobium* sp. (Leguminosae). *R Biol Trop.* 1997;45:883-6.
- Silva AJN, Cabeda MSV, Carvalho FG. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *R Bras Eng Agríc Amb.* 2006;10:579-85.
- Silva J, Jucksch I, Maia CI, Feres A, Tavares RC. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. *J Biotechnol Biodivers.* 2012;3:59-71.
- Smith R, Mcswiney CP, Grandy AS, Suwanwaree P, Snider R, Robertson GP. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil Till Res.* 2008;100:83-8.
- Souza HBA, Alves WF, Vasconcello A. Termite assemblages in five semideciduous Atlantic Forest fragments in the northern coastland limit of the biome. *R Bras Entomol.* 2012;56:67-72.
- Statsoft Inc. *Statistica Data Analysis Software System*, version 6. Tulsa, OK, USA; 2001.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2ª.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).
- ter Braak CJF, Smilauer P. *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination*, version 4. New York: 1998.