

Importância ecológica e ambiental das minhocas

Environmental and ecological importance of earthworms

Gerusa Pauli Kist Steffen¹, Zaida Inês Antonioli², Ricardo Bemfica Steffen² e Rodrigo Josemar Seminoti Jacques²

¹ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa em Florestas, BR 287, Acesso VCR 830, km 4,5, 97001-970, Boca do Monte, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: ge.pauli@yahoo.com.br, author for correspondence.

² Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria [UFSM], Avenida Roraima, n. 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

Recepção/Received: 2012.05.07

Aceitação/Accepted: 2013.01.24

RESUMO

As minhocas correspondem a um dos principais grupos de organismos edáficos atuantes nos processos de movimentação de partículas e ciclagem de nutrientes. Este trabalho tem como objetivos discutir a importância das minhocas para a melhoria e manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas, salientando as formas de avaliação da comunidade de minhocas no solo e sua utilização como ferramenta em avaliações ambientais. Através da constante movimentação e atividade de ingestão de solo e resíduos orgânicos, constroem galerias que contribuem com o aumento da aeração e da taxa de infiltração de água no solo. A liberação de excrementos na superfície e no interior do solo modifica positivamente sua estrutura e fertilidade. A densidade e diversidade de minhocas em agroecossistemas pode ser determinada por diferentes métodos de extração. Algumas espécies de minhocas, por apresentarem sensibilidade a alterações de uso e manejo do solo, são excelentes bioindicadoras ambientais, representando importante ferramenta para avaliação de impactos em ecossistemas.

Palavras-chave: Agroecossistemas, oligochaetas, sustentabilidade

ABSTRACT

The earthworms represent a major group of soil organisms active in the process of moving particles and nutrient cycling. This paper aims to discuss the importance of earthworms to improve and maintain the sustainability of agroecosystems, emphasizing forms of community assessment of earthworms in the soil and its use as a tool in environmental assessments. Through constant movement and activity of soil ingestion and organic waste, they build galleries that contribute to increase the aeration and water infiltration in the soil. The release of faeces on the surface and within the soil positively modify its structure and fertility. The density and diversity of earthworms in agroecosystems can be determined by different extraction methods. Some species of earthworms, because they are excellent to changes in land use and management, are sensitive environmental bioindicators, representing an important tool to assess impacts on ecosystems.

Keywords: Agroecosystems, oligochaetes, sustainability

Introdução

Minhocas

As minhocas são importantes organismos do solo, que pertencem ao Domínio Eukarya, Reino Animalia, Filo Annelida, Classe Clitellata, Subclasse Oligochaeta (Ruppert *et al.*, 2005; Madigan *et al.*, 2010). Em muitos idiomas, o termo que designa minhoca está relacionado ao seu ambiente natural, o solo, e à sua semelhança com os vermes (Schiedeck *et al.*, 2010). Por exemplo, em inglês, minhoca é “earthworm” (verme da terra), em francês é “ver de terre” (verme

da terra), em espanhol é “lombriz de tierra” (lombriga da terra), em italiano é “lombrico” (lombriga) e em alemão é “regewurm” (verme das chuvas). No entanto, ao contrário das principais línguas ocidentais, a língua portuguesa, aparentemente, não vincula o nome genérico atribuído aos representantes da Classe Oligochaeta à morfologia vermiforme ou ao solo, sendo a real origem da palavra minhoca considerada controversa (Schiedeck *et al.*, 2010).

A grande maioria destes organismos, essencialmente edáficos, habita as camadas superficiais, geralmente até profundidades de 30 a 50 cm no perfil do solo (Brown e James, 2007), onde desempenham im-

portantes funções ecológicas e ambientais. Segundo Hendrix e Bohlen (2002), as minhocas são os organismos mais conhecidos e, muitas vezes, os mais importantes que influenciam o funcionamento do sistema solo.

Devido à intensa movimentação de solo que promovem no sistema edáfico, as minhocas, juntamente com cupins, besouros e formigas, foram denominadas engenheiros do ecossistema (Lavelle, 1988; Jouquet *et al.*, 2006; Brown e Domínguez, 2010). Os horizontes orgânicos e organo-minerais do solo são repletos de excrementos da meso e da macrofauna, o que demonstra a importância destes organismos na transformação e movimentação de materiais orgânicos no solo (Davidson e Grieve, 2006).

Acredita-se que as minhocas tenham surgido na Terra há 570 milhões de anos, no período Edicariano (Era Paleozóica), estando entre os primeiros organismos a surgir no planeta (Bouché, 1983). Do oceano migraram para a crosta terrestre, há aproximadamente 225 milhões de anos, adaptando-se à vida no solo (Brown e James, 2007). Após um longo período de adaptação e diversificação, as minhocas migraram para as mais distintas regiões do planeta, sendo atualmente encontradas em praticamente

todos habitats terrestres, com exceção dos glaciais, desertos, solos muito ácidos ou salgados (Lee, 1985; Reynolds e Wetzel, 2009). No entanto, existem muitas regiões da crosta terrestre que ainda não foram avaliadas quanto à diversidade de minhocas.

Minhocas nativas e exóticas

A diversidade ecológica pode ser definida como a variedade de espécies existente em uma comunidade de organismos de uma região, sendo reflexo das complexas interações que ocorrem no ecossistema (Odum, 2004; Araujo, 2007). No mundo, são conhecidas em torno de 8300 espécies de minhocas, distribuídas em 38 famílias e 811 gêneros (Reynolds e Wetzel, 2009).

A ocorrência de espécies de minhocas nativas ou exóticas, em um determinado local, possibilita ao pesquisador inferir sobre o grau de alterações às quais o ambiente foi submetido. De acordo com Frago *et al.* (1999), as espécies nativas apenas persistem onde a influência antrópica não é significativa e a vegetação nativa não foi substituída. Segundo Brown *et al.* (2006), o homem tem transportado minhocas exóticas em todo o mundo e, em algumas si-

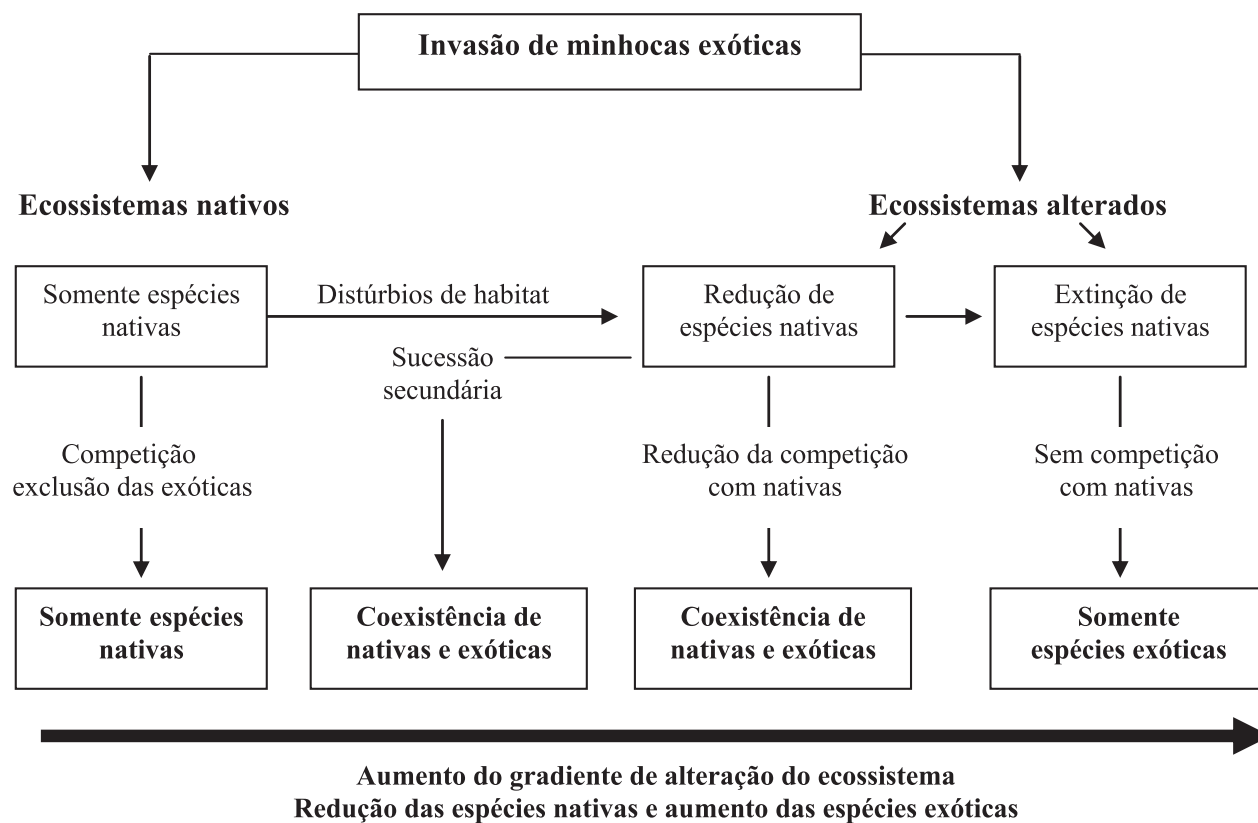


Figura 1 – Efeitos da invasão de espécies exóticas sobre espécies nativas em ecossistemas naturais e alterados. Extraído e modificado de González *et al.* (2006).

tuações, estes organismos podem se tornar invasores, modificando populações nativas de minhocas, propriedades e processos do solo de forma significativa, bem como influenciando positiva ou negativamente o crescimento das plantas.

O estabelecimento de minhocas exóticas em um novo ambiente pode ocorrer em duas situações: (1) em ecossistema preservado, quando há competição com espécies nativas ou (2) após colonização em ambientes alterados, provocando a eliminação ou a redução de espécies nativas (Figura 1) (González *et al.*, 2006).

Em ecossistemas inalterados, minhocas nativas podem impedir a invasão de espécies exóticas, por estarem mais adaptadas ao ambiente original. No entanto, alterações no ecossistema, sejam elas provocadas pelo homem ou por eventos naturais, podem resultar na eliminação ou redução das populações nativas, devido a alterações bruscas na estrutura do solo, na ciclagem de nutrientes e no microclima. Estas mudanças no ecossistema podem prejudicar e reduzir as populações de minhocas nativas, favorecendo a invasão de espécies exóticas (Figura 1) (González *et al.*, 2006).

De acordo com McNeely *et al.* (2001), geralmente espécies invasoras (exóticas) tendem a estar associadas com impactos negativos em ecossistemas nativos, alterando sua comunidade de organismos e plantas, além de também alterarem propriedades, processos e funções do ecossistema. No entanto, é importante ressaltar que, em áreas antropizadas, como são os casos de áreas agrícolas e silvipastoris, a introdução de espécies de minhocas exóticas pode promover benefícios, devido à melhoria de algumas propriedades químicas, físicas e biológicas.

Categorias ecológicas

De acordo com a atividade e a estratégia alimentar, as minhocas podem ser classificadas em diferentes categorias ecológicas, as quais caracterizam o comportamento destes organismos nos ecossistemas. As minhocas são onívoras e se alimentam de resíduos vegetais em diferentes graus de decomposição, juntamente com organismos decompositores acompanhantes, tais como fungos, bactérias, protozoários e nematóides. Também podem ingerir seus próprios excrementos, bem como fezes de outros organismos. As minhocas são capazes de selecionar seu alimento ingerindo, preferencialmente, as partes moles das folhas, bem como resíduos mais ricos em nitrogênio e cálcio (Righi, 1999).

Em relação à categoria nutricional ou estratégia alimentar, as minhocas são divididas em dois grandes

grupos: detritívoras e geófagas. As detritívoras são aquelas que se alimentam próximo à superfície do solo ingerindo, principalmente serrapilheira, raízes de plantas mortas e outros resíduos vegetais. As minhocas geófagas alimentam-se no subsolo, ingerindo restos orgânicos sem estrutura celular reconhecível, dispersos entre as partículas minerais do solo (Lee, 1985; Righi, 1999).

Tanto as espécies detritívoras como as geófagas alimentam-se de material orgânico e mineral. No entanto, as detritívoras consomem, preferencialmente, resíduos orgânicos, havendo predominância de matéria orgânica no seu trato digestivo, enquanto que no trato digestivo das geófagas, a maior proporção dos materiais ingeridos corresponde a partículas minerais (Lee, 1985).

As diferentes espécies de minhocas foram classificadas em três grupos funcionais ou categorias ecológicas, relativas à estratificação vertical: epigéicas, endogéicas e anécicas (Bouché, 1977; Lee, 1985; James, 2000) (Quadro 1).

As espécies epigéicas, ou epígeas, vivem na superfície dos solos (0 a 10 cm), podendo habitar tanto a serrapilheira, quanto os solos suspensos sobre galhos, axilas de folhas de palmeiras e bromélias (Brown e James, 2007; Domínguez *et al.*, 2009). Normalmente são pigmentadas, apresentam comprimento menor do que as espécies endogéicas e anécicas, possuem altas taxas de reprodução e expectativa de vida curta (James, 2000). Alimentam-se de matéria orgânica em etapas primárias ou intermediárias de decomposição, o que torna seus coprólitos essencialmente orgânicos (Brown e James, 2007).

As espécies anécicas são, geralmente, grandes e vivem em galerias essencialmente verticais e permanentes que podem ultrapassar 40 cm de profundidade. Durante a noite, alimentam-se de material orgânico em estágios intermediários de decomposição na superfície do solo, o qual frequentemente é enterrado para acelerar a decomposição e aumentar a palatabilidade (James, 2000; Brown e James, 2007; Domínguez *et al.*, 2009).

As espécies endogéicas habitam os horizontes minerais do solo, onde constroem galerias semipermanentes e permanentes em profundidades de 10 a 40 cm. Em comparação às espécies epigéicas, as endogéicas são maiores, menos pigmentadas, possuem maior expectativa de vida e taxa reprodutiva menor. Em função do tipo de alimentação, formam coprólitos minerais, frequentemente enriquecidos com matéria orgânica e partículas de argila (James, 2000). A maior parte das espécies de minhocas pertence a esta categoria ecológica (Brown e James, 2007), sendo consideradas os maiores agentes responsáveis

Quadro 1 – Categorias ecológicas, habitat, alimentação e características morfológicas das minhocas.

Categoria	Subcategoria	Habitat	Alimento	Tamanho e Pigmentação
Epigéica	Epigéica	liteira	serrapilheira, microorganismos	< 10 cm, altamente pigmentada
	Epi-anécica/ Epi-endogéica	superfície do solo	serrapilheira, microorganismos	10-15 cm, parcialmente pigmentada
Anécica	Anécica	Galerias (> 40 cm)	liteira e solo	> 15 cm, pigmentação anterodorsal
	Polihúmica	superfície do solo e rizosfera	solo com alto teor de matéria orgânica	< 15 cm, filiforme, despigmentada
Endogéica	Mesohúmica	0-20 cm do solo	camada de solo de 0-10 cm	10-20 cm, despigmentada
	Endo-anécica	0-50 cm do solo, algumas fazem galerias	camada de solo de 0-10 cm	> 20 cm, despigmentada
	Oligohúmica	15-80 cm do solo	camada de solo de 20-40 cm	> 20 cm, despigmentada

Fonte: Extraída e modificada de Hendrix e Bohlen (2002).

pela agregação e estabilização da matéria orgânica do solo (Lavelle e Spain, 2001).

Reunindo as duas classificações, pode-se afirmar que as minhocas epigéicas e anécicas agrupam as espécies detritívoras e que as endogéicas incluem as espécies geófagas. De acordo com a preferência alimentar, Lavelle (1983) propôs a divisão das espécies de minhocas da categoria endogéica em oligohúmicas, mesohúmicas e polihúmicas, as quais dependem, respectivamente, de quantidades pequenas, moderadas e altas de matéria orgânica humificada (húmus) vinculada ao solo mineral ingerido (Quadro 1).

As minhocas podem ainda ser divididas entre engenheiras do ecossistema e decompositoras ou transformadoras da serrapilheira. As engenheiras do ecossistema são aquelas minhocas que vivem dentro do solo (endogéicas e anécicas), que constroem galerias e produzem estruturas organominerais altamente resistentes, que persistem por longo período de tempo (meses a anos), afetando profundamente o ambiente e os organismos menores que vivem nele. Estas minhocas interagem com a microbiota edáfica, desenvolvendo relação mutualística com os organismos que vivem em seu trato digestivo (intestino) e nas estruturas que constroem. As transformadoras da serrapilheira são as minhocas epigéicas que vivem e se alimentam da serrapilheira, produzindo estruturas puramente orgânicas que são menos persistentes no ambiente (Giller *et al.*, 1997; Lavelle, 1997).

Cabe ressaltar ainda que, em função do menor valor energético do material mineral em relação ao or-

gânico, as minhocas endogéicas necessitam ingerir maior quantidade de alimento, quando comparadas às minhocas epigéicas e anécicas, para poder atender suas exigências energéticas. Assim, as minhocas endogéicas produzem maior quantidade de excrementos, os quais são liberados na superfície e, mais frequentemente, no interior do solo (Lee, 1985; James, 2000).

Os diversos padrões ecológicos de vida dos diferentes tipos de minhocas presentes no solo, refletem em distintos papéis funcionais e efeitos ambientais das espécies sobre o ecossistema (James, 2000). Assim, o conhecimento da diversidade de minhocas em um determinado ambiente possibilita maior compreensão dos efeitos e alterações que a atividade destes organismos provoca no solo.

Importância das minhocas para o solo

As minhocas são muito úteis para o funcionamento do solo e a manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas. Estes organismos são responsáveis pela melhoria da estrutura do solo e de sua qualidade física, através da movimentação de partículas dentro e entre os horizontes, pela formação de agregados e consequente aumento da resistência do solo à erosão, além de promover melhorias na porosidade, aeração, infiltração e retenção de água no solo (Blanchart *et al.*, 1999; Lavelle *et al.*, 2006). Através da formação de bioporos, facilitam a aeração, infiltração de água e a formação de macroagregados estáveis no solo. Participam da decomposição de matéria orgânica, da mineralização de nutrientes e

da disponibilização destes elementos para as plantas (Lavelle *et al.*, 2006), sendo por isso, sua presença considerada indicativo de solo fértil e saudável pelos agricultores (Schiedeck *et al.*, 2009a; Lima e Brussaard, 2010). Domínguez (2010) relatam ainda efeito benéfico das minhocas sobre a germinação e distribuição de sementes no solo.

A atividade das minhocas no solo, mais especificamente a movimentação e ingestão de partículas minerais e orgânicas, forma uma ampla rede de galerias, tanto na direção vertical como na horizontal, que contribui para os processos físicos e para a manutenção da vida no solo. A abertura de galerias no perfil do solo, além de contribuir para a infiltração de água e troca de gases, quando não mais utilizadas pelas minhocas servem de abrigo a outros organismos (Brown *et al.*, 2004; Brown e James, 2007). Esta atividade constante das minhocas no perfil do solo resulta na formação de um ambiente característico, denominado de drilosfera. De acordo com Beare *et al.* (1995), a drilosfera corresponde à zona do solo influenciada pela ação das minhocas. Normalmente, o ambiente edáfico influenciado por minhocas é caracterizado pela presença de amplas redes de galerias e pela deposição de excrementos, também denominados de coprólitos ou estruturas biogênicas (Rossi *et al.*, 2006), os quais têm papel importante no funcionamento do ecossistema. Barois *et al.* (1999) ressaltam que, quando secas, além de concentrarem carbono orgânico e nutrientes, estas estruturas conferem ao solo maior resistência ao processo erosivo devido à sua elevada estabilidade. Segundo Lafont *et al.* (2007), a construção de galerias e a produção de coprólitos, resultado da ingestão de resíduos orgânicos e minerais, estão entre as atividades das minhocas que causam maiores alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Em agrossistemas sob diferentes usos da terra, as minhocas representam um dos principais grupos de macroinvertebrados edáficos. Segundo Fragoso *et al.* (1999), as minhocas representam entre 40% a 90% da biomassa de macrofauna na maioria dos ecossistemas tropicais, onde contribuem para a manutenção da fertilidade do solo por meio de três ações principais: (1) constroem e mantêm a estrutura do solo, baseada em macroagregados resistentes; (2) liberam os nutrientes contidos na matéria orgânica do solo; e (3) protegem fisicamente a matéria orgânica no interior de coprólitos compactos (Lavelle *et al.*, 1997; Lavelle *et al.*, 2006). Também promovem a fragmentação e redistribuição da matéria orgânica no solo, contribuindo com a ciclagem e liberação de nutrientes contidos nesse material (Kennette *et al.*,

2002). As minhocas promovem uma redistribuição da serrapilheira tanto vertical quanto horizontalmente no solo, criando sítios (*patches*) de matéria orgânica que são, ao mesmo tempo, substrato e refúgio para microrganismos e demais organismos da fauna edáfica (James, 2000; Lavelle *et al.*, 2006).

Considerando a densidade populacional, a biomassa e as funções que desempenham no solo, as minhocas são consideradas organismos chave na conservação da estrutura do ambiente e no controle da dinâmica dos nutrientes no solo (Edwards e Bohlen, 1996). A presença de minhocas no ecossistema provoca alterações nas propriedades químicas do solo, tais como valor de pH e disponibilidade de nutrientes como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e nitrogênio; nas propriedades físicas, tais como aumento da capacidade de retenção e infiltração de água, aeração e formação da estrutura do solo; além de alterações na atividade e população de microrganismos existentes no ambiente, devido à elevada diversidade de microrganismos que habitam o trato digestivo das minhocas (Lee, 1985; Brown e James, 2007). Segundo Brito-Veja e Espinosa-Victoria (2009), dentre os microrganismos que habitam o trato digestivo das minhocas destacam-se os fixadores de nitrogênio, produtores de hormônios de crescimento vegetal e solubilizadores de fosfato, os quais estão envolvidos em importantes processos no solo. Além de representarem um meio de incubação de microrganismos benéficos para a sustentabilidade dos ecossistemas, as minhocas atuam na dispersão destes microrganismos através da constante deposição de coprólitos (Brito-Veja e Espinosa-Victoria, 2009). Os excrementos frescos das minhocas apresentam maior concentração e atividade de microrganismos do que o solo circundante onde vivem (Dell' Agnola e Nardi, 1987; Fiuza *et al.*, 2011), o que favorece a biodisponibilização de nutrientes para as plantas devido ao processo de mineralização. Além disso, apresentam elevada disponibilidade de nutrientes, tamponamento da acidez do solo, alta capacidade de troca catiônica e retenção de umidade, sendo capazes de contribuir com o crescimento e desenvolvimento das plantas (Brown e James, 2007).

Fiuza *et al.* (2011) compararam a disponibilidade de nutrientes, o teor de carbono orgânico e a atividade microbiana dos coprólitos de *Chibui bari* (espécie de minhocaçu pertencente à família Glossoscolecidae, nativa da região amazônica) com o solo adjacente em áreas de floresta secundária, seringal de cultivo e pastagem. Os autores observaram que os coprólitos apresentaram melhor condição química e biológica do que o solo adjacente, nas três áreas avaliadas, pois apresentaram maiores concentrações de cálcio,

magnésio, potássio, fósforo, carbono orgânico total, capacidade de troca de cátions e pH, reduziram os teores de alumínio trocável (Al^{3+}), além de apresentarem maior respiração microbiana.

Além da concentração e biodisponibilização de nutrientes, existe a liberação de compostos orgânicos capazes de estimularem o crescimento vegetal e de controlarem determinados fitopatógenos. Segundo Brown *et al.* (2004), os coprólitos podem influenciar direta e indiretamente o crescimento de plantas, devido à presença de quantidades significativas de ácidos húmicos e hormônios reguladores do crescimento vegetal. Acredita-se também que os compostos orgânicos estáveis presentes nos coprólitos possam causar supressividade sobre alguns fitopatógenos fúngicos e bacterianos, contribuindo para o controle de determinados microrganismos fitopatogênicos.

Além de todos os benefícios descritos em relação à melhoria de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, por apresentarem sensibilidade aos diferentes tipos de uso e manejo adotados em áreas agrícolas, as minhocas tem sido utilizadas como indicadores biológicos da qualidade do solo por muitos pesquisadores (Ressetti, 2006; Velazquez *et al.*, 2007; Suthar, 2009; Lima e Brussaard, 2010).

Bioindicadores ambientais

Os organismos presentes em uma determinada área refletem as inter-relações entre as características do solo, do clima e da vegetação. Em solos agrícolas, o uso, o manejo, a cobertura vegetal e as características físico-químicas e biológicas do solo podem alterar as populações de macro-invertebrados (Merlim *et al.*, 2005). Além disso, o uso de insumos e a introdução de novas espécies vegetais também interferem na população de organismos edáficos (Fragoso *et al.*, 1999).

As minhocas são consideradas excelentes indicadores da qualidade de agroecossistemas por responderem a diferentes tipos de uso e manejo dos solos (Paoletti, 1999; Lavelle *et al.*, 2006), estando relacionadas às condições ambientais como a fertilidade do solo e sendo susceptíveis à perturbação e contaminação do habitat (Brown e Domínguez, 2010).

Práticas de manejo que provocam revolvimento do solo tendem a reduzir as populações de minhocas e, conseqüentemente, a atividade e os benefícios destes organismos no meio edáfico (Clapperton *et al.*, 1997; Brown e Domínguez, 2010). A redução do número de minhocas na área agrícola pode ser ocasionada diretamente pela morte dos organismos, devido a lesões provocadas pelos equipamentos

utilizados no revolvimento do solo, ou ainda, indiretamente, pela destruição das galerias (drilosfera), redução das fontes de alimento, alteração da temperatura, umidade, aeração do solo, entre outros efeitos (Curry *et al.*, 2002).

De acordo com Brown e Domínguez (2010), a comunidade de minhocas presente em um determinado local é uma função das condições edáficas (tipo de solo, mineralogia, teor de matéria orgânica, textura, estrutura, temperatura, umidade e valor de pH), da vegetação (espécie e cobertura), da topografia (posição fisiográfica, inclinação), do clima (precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, vento), da interação com outros organismos edáficos, além das condições históricas que originaram o solo e o local (história humana e geológica).

Dados referentes à comunidade de minhocas presente em um determinado local podem indicar a integridade do ecossistema e sua capacidade de resistir a perturbações, sendo úteis na determinação de áreas prioritárias para atividades de conservação (Brown e James, 2007). Assim, o levantamento e a identificação das espécies nativas e exóticas presentes no solo são relevantes para o conhecimento da diversidade e para a compreensão das inter-relações existentes nos ecossistemas.

Em suma, não há dúvidas de que a presença, a abundância e a diversidade de minhocas possam indicar o impacto causado por atividades antrópicas em ecossistemas agrícolas e naturais. No entanto, o uso das minhocas como indicadores ambientais continua restrito na América Latina, principalmente devido às limitações no conhecimento da biologia básica, da ecologia e taxonomia da maioria das espécies presentes em agroecossistemas latino-americanos (Brown e Domínguez, 2010).

Métodos de extração de minhocas do solo

A metodologia para extração de minhocas do solo deve estar relacionada ao objetivo do estudo. Segundo Brown e James (2007), esta deve facilitar o trabalho de avaliação a ser realizado, no entanto, sem comprometer a representatividade dos resultados a serem obtidos.

Diferentes métodos de coleta podem ser empregados para a avaliação da densidade populacional e da biomassa de minhocas em ecossistemas, os quais são agrupados em físicos, comportamentais e indiretos. Os métodos físicos envolvem a remoção direta das minhocas do solo, o que pode ser feito através de triagem manual, lavagem e peneiramento de amostras de solo. Os comportamentais incluem o uso de armadilhas instaladas na superfície do solo,

de equipamentos que produzem pulsos elétricos ou de soluções irritantes. Os métodos indiretos envolvem a contagem de estruturas físicas criadas pelas minhocas na superfície do solo, como excrementos e galerias (Brown e James, 2007).

As particularidades de cada método resultam em vantagens e desvantagens quanto à sua aplicação. Os métodos mais frequentemente utilizados são a coleta manual, por ser o mais preciso e possibilitar tanto a coleta de casulos como de indivíduos latentes, e o uso de soluções irritantes, por ser mais rápido e prático (Ressetti, 2004). A extração de minhocas por soluções químicas envolve a adição de solução irritante em uma área pré-definida do solo, com posterior coleta das minhocas que emergem à superfície em um determinado período de tempo (Zaborski, 2003). Dentre os extratores químicos irritantes que podem ser utilizados estão soluções à base de formaldeído, alil isotiocianato, detergente, permanganato de potássio, vinagre e pó de mostarda (Brown e James, 2007).

A instalação de armadilhas para amostragem de minhocas é um método pouco preciso, pois possibilita apenas a captura de espécies ativas que vivem na superfície do solo (Brown e James, 2007). O uso de equipamentos que produzem campo elétrico a partir da introdução de eletrodos no solo é uma alternativa válida para capturar minhocas. No entanto, sua eficiência é dependente das condições de umidade do solo, além do equipamento ser caro, exigir manutenção e cuidados por parte do operador para evitar acidentes (Römbke, 2007).

Devido à baixa eficiência, o uso de métodos indiretos para avaliar a população de minhocas é pouco recomendado, embora seja válido para estudos sobre os efeitos da atividade de minhocas nas propriedades e processos edáficos (Brown e James, 2007). As principais vantagens e desvantagens das metodologias baseadas na coleta manual, no uso de soluções irritantes e de campo elétrico encontram-se descritas na Figura 2.

Um dos extratores químicos de minhocas mais utilizados é a solução de formaldeído (0,5%), considerada padrão (ISO 23611-1:2002). No entanto, por ser fitotóxico e carcinogênico, representando riscos ao ambiente e ao pesquisador, a legislação pode vir a impedir o uso do formaldeído como extrator (Schmidt *et al.*, 2001). Neste sentido, devido às inúmeras vantagens do método químico de extração de minhocas, é fundamental que novas soluções irritantes atóxicas sejam testadas, visando facilitar a avaliação da diversidade destes organismos nos ecossistemas sem oferecer riscos ao ambiente e à saúde dos pesquisadores.

Para realização de amostragem precisa e segura das espécies de minhocas que habitam determinado ambiente, recomenda-se a combinação de dois métodos de amostragem. Primeiramente, pode ser realizada a coleta de um monolito de solo (25 x 25 x 25 cm) com posterior triagem manual das espécies presentes. Em seguida, pode ser aplicada uma solução irritante à base de formaldeído sobre a área escavada, possibilitando a coleta de espécies anécicas, que habitam profundidades superiores a 25 cm (Römbke, 2007).

Cabe ressaltar ainda que, independentemente do método utilizado para avaliação da comunidade de minhocas, é importante considerar alguns parâmetros, tais como: tamanho e número de amostras, características do local, tempo de amostragem e condições ambientais. O número e o tamanho das amostras devem ser suficientemente grandes para garantir uma avaliação segura e precisa da população de minhocas do local avaliado. A distância entre as amostras deve ser respeitada para evitar interferências. A distribuição das amostras na área deve considerar as características físicas e biológicas do ambiente, tais como: tamanho da parcela, diferenças de vegetação e tipo de solo. Além disso, é fundamental considerar o tempo disponível para a realização da amostragem, bem como os materiais necessários, a disponibilidade de recursos e de mão-de-obra (Brown e James, 2007).

Ao comparar o uso de dois métodos comportamentais (formol 0,5% e eletricidade) e da coleta manual para extração de minhocas em diferentes ecossistemas (fragmento de mata secundária, margem de um pântano, área agrícola de cultivo anual e pastagem), Azevedo *et al.* (2010) observaram que alguns fatores ambientais e comportamentais das espécies presentes influenciaram a eficiência dos diferentes métodos utilizados: a) composição específica da comunidade de minhocas; b) diferenças na reação de indivíduos adultos e juvenis; c) tipo de cobertura vegetal estabelecida no local; d) condições edáficas, especialmente o teor de umidade; e) hábito/categoria ecológica das espécies de minhocas presentes no local. Neste sentido, para que a avaliação da comunidade de minhocas presente em uma determinada área seja realizada corretamente, Azevedo *et al.* (2010) sugerem que a escolha dos métodos de coleta deve ser realizada com base nas condições de cada local a ser amostrado.

Caracterização e identificação de espécies

A caracterização e identificação das espécies de minhocas usualmente é realizada com base nos caracte-

MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE MINHOCAS

VANTAGENS

- Método de amostragem mais preciso;
- Obtém maior número e biomassa de minhocas na camada amostrada em relação à extração química;
- Permite a amostragem de indivíduos em estado latente e à coleta de casulos.

- Método rápido e simples;
- Eficiente para a amostragem de espécies anécicas;
- Não promove alterações físicas à estrutura do solo.

- Preserva a integridade do solo;
- Método rápido e de simples execução.

COLETA MANUAL

USO DE SOLUÇÃO QUÍMICA

CAMPO ELÉTRICO

DESVANTAGENS

- Dificilmente permite a coleta de minhocas que habitam profundidades superiores a 25 cm, bem como de espécies ativas, capazes de fugir por galerias permanentes;
- Método trabalhoso que exige maior período de tempo para sua execução;
- Promove alterações físicas à estrutura da área amostrada;
- Não pode ser utilizado para amostrar áreas próximas ao sistema radicular de plantas.

- Não apresenta a mesma eficiência de extração para todas as espécies de minhocas presentes no solo;
- A eficiência é influenciada pelo tipo de extrator químico, pela concentração na solução, temperatura (relacionada com a atividade das minhocas) e umidade do solo (solos úmidos dificultam a infiltração da solução no perfil);
- Não possibilita a amostragem de indivíduos em estado latente e a coleta de casulos;
- O extrator químico usualmente utilizado (formaldeído) é tóxico e carcinogênico, podendo provocar a contaminação do ambiente e afetar a saúde do aplicador;
- O uso de soluções muito concentradas pode provocar a morte dos organismos no interior do solo, antes de atingirem a superfície, resultando em erros de amostragem.

- Equipamento de custo elevado;
- Dificuldade de transporte do equipamento aos locais amostrados;
- A eficiência depende das condições de umidade do solo;
- Manejado inadequadamente, o equipamento pode oferecer riscos ao operador.

Figura 2 – Vantagens e desvantagens de alguns métodos de extração de minhocas do solo.

teres externos e internos dos exemplares coletados, a qual é denominada caracterização morfológica. Os estudos anátomo-taxonômicos são realizados em exemplares previamente fixados em formol (4 a 10%) ou em etanol (100%), os quais são mergulhados em água, em cubas para dissecação, onde são presos com alfinetes entomológicos (Righi, 1990).

As observações gerais são realizadas com auxílio de microscópio estereoscópio (lupa) e as mais detalhadas necessitam de um microscópio óptico. Os trabalhos taxonômicos exigem o conhecimento dos caracteres externos (cor, forma, comprimento, diâmetro, segmentos, forma do prostômio e do clitelo, sulcos intersegmentares, forma e localização das cerdas, tipos de poros, marcas genitais, traves pubertais, sulcos seminais, papilas e zona caudal) e internos (septos, moela, esôfago, glândulas calcíferas, intestino, cecos intestinais, tiflosole, nefrídios, sistema circulatório, testículos, funis seminais, sacos testiculares, vesículas seminais, canais deferentes, próstatas, câmaras copulatórias, ovários, ovisacos, funis ovulares, espermatecas e glândulas das marcas pubertais) (Righi, 1990).

Como se pode perceber, a taxonomia de minhocas é trabalhosa e baseia-se em toda a sua anatomia, sendo que a descrição de uma espécie constitui-se em pequena monografia anatômica, como assinalou Pickford (1947 citado por Righi 1990). Devido à dificuldade e à grande demanda de tempo para identificar os exemplares, aliada ao reduzido número de pesquisadores e taxonomistas de oligoquetas ativos no mundo inteiro, novas ferramentas surgiram com o intuito de facilitar a identificação das espécies de minhocas, como é o caso das técnicas moleculares.

As avaliações moleculares surgiram como ferramenta auxiliar nos estudos de taxonomia de oligoquetas, facilitando e acelerando o processo de identificação das espécies. A filogenética molecular é uma das mais ativas áreas de pesquisa em biologia evolutiva e tem grande ligação com a genética da conservação. É uma ciência aplicada que possibilita a descrição da composição genética e genômica de populações (Siqueira *et al.*, 2010). Neste sentido, cada vez mais tem-se observado o uso de ferramentas moleculares em estudos sobre diversidade de minhocas, visando aproximar a caracterização morfológica da caracterização molecular e, assim, produzir conhecimentos sólidos e consistentes sobre a população de minhocas presente nos mais diversos agroecossistemas do planeta Terra.

Considerações finais

Não há dúvidas sobre os benefícios proporcionados pela comunidade de minhocas em ambientes

edáficos. Pesquisas já demonstraram a participação destes organismos em diversos processos do solo, contribuindo para a sustentabilidade de ecossistemas naturais e agrícolas. Existem diferentes métodos de avaliação da comunidade de minhocas existente nos agroecossistemas. A opção pelo método mais apropriado depende, principalmente, do objetivo da avaliação, de características do ambiente a ser amostrado e das espécies existentes no local. O uso de minhocas como bioindicadores de ambientes impactados é aceito pela maioria dos pesquisadores. No entanto, ainda há muito a ser descoberto em relação à forma como interferem nas características do solo e como são influenciadas pelo mesmo; ao(s) tipo(s) de relação existente entre diferentes espécies que compõe uma comunidade de minhocas em ecossistemas naturais e alterados; e de que forma ocorre a co-existência entre espécies nativas e exóticas em um mesmo habitat.

Referências bibliográficas

- Araujo, M.A.R. (2007) - *Unidades de Conservação no Brasil: da república à gestão de classe mundial*. Belo Horizonte, SEGRAC, 272 p.
- Azevedo, P.T.M.; Brown, G.G.; Baretta, D.; Pasini, A. e Nunes, D.H. (2010) - Populações de minhocas amostradas por diferentes métodos de coleta (elétrico, químico e manual) em ecossistemas da região de Londrina, Paraná, Brasil. *Acta Zoológica Mexicana*, 26 Número especial 2: 79-93.
- Barois, I.; Lavelle P.; Brossard, M.; Tondoh, J.; Angeles, M.M. de los; Rossi, J.P.; Senapati, B.K.; Angeles, A.; Fragoso, C.; Jimenez, J.J.; Decaëns, T.; Lattaud, C.; Kanyonyo, J.; Blanchart, E.; Chapuis, L.; Brown, G. e Moreno, A. (1999) - Ecology of species with large environmental tolerance and/or extended distributions. *In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P.F. (Eds.) - Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford, CAB International, p. 57-85.
- Beare, M.H.; Coleman, D.C.; Crossley, D.A.; Hendrix, P.F. e Odum, E.P. (1995) - A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, 170, 1: 5-22.
- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Alegre, J.; Duboisset, A.; Gilot, C.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. e Brussaard, L. (1999) - Effects of earthworms on soil structure and physical properties. *In: Lavelle, P.; Brussaard, L. e Hendrix, P. (Ed.) - Earthworm management in tropical agroecosystems*. New York, CAB International, p. 149-172.

- Bouché, M.B. (1977) - Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, 25: 122-132.
- Bouché, M.B. (1983) - The establishment of earthworm communities. In: Satchell, J.E. (Ed.) - *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. London, Chapman and Hall, p. 431-448.
- Brito-Vega, H. e Espinosa-Victoria, D. (2009) - Bacterial diversity in the digestive tract of earthworms (Oligochaeta). *Journal of Biological Sciences*, 9: 192-199.
- Brown, G.G.; Edwards, C.A. e Brussaard, L. (2004) - How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms. In: Edwards, C.A. (Ed.) - *Earthworm ecology*. 2.^a ed. Boca Raton, CRC Press, p. 13-49.
- Brown, G.G.; James, S.W.; Pasini, A.; Nunes, D.H.; Benito, N.P.; Martins, P.T. e Sautter, K.D. (2006) - Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*, 42, 3: 339-358.
- Brown, G.G. e Domínguez, J. (2010) - Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELA-ETAO3). *Acta Zoológica Mexicana*, 26, Número especial 2: 1-18.
- Brown, G.G. e James, S.W. (2007) - Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: Brown, G.G. e Fragoso, C. (Ed.) - *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia*. Londrina, Embrapa Soja, p. 297-381.
- Clapperton, M.J.; Miller, J.J.; Larney, F.J. e Lindwall, C.W. (1997) - Earthworm populations as affected by long-term tillage practices in southern Alberta, Canada. *Soil Biology & Biochemistry*, 29, 3-4: 631-633.
- Curry, J.P.; Byrne, D. e Schmidt, O. (2002) - Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology*, 38, 2: 127-130.
- Davidson, D.A. e Grieve, I.C. (2006) - Relationships between biodiversity and soil structure and function: evidence from laboratory and field experiments. *Applied Soil Ecology*, 33, 2: 176-185.
- Dell' Agnola, G. e Nardi, S. (1987) - On overview of earthworm activity in the soil. In: Bonvicini-Pagliai, A.M. e Omodeo, P. (Eds.) - *On earthworms*. Modena, Mucchi Ed., p. 103-112.
- Domínguez, A.; Bedano, J.C. e Becker, A.R. (2009) - Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo*, 27, 1: 11-19.
- Domínguez, J. (2010) - Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 26, Número especial 2: 359-371.
- Edwards, C.A. e Bohlen, P.J. (1996) - *Biology and ecology of earthworms*. 3rd ed. London, Chapman & Hall, 426 p.
- Fiuza, S.da S.; Kusdra, J.F. e Furtado, D.T. (2011) - Caracterização química e atividade microbiana de coprólitos de *Chibui bari* (Oligochaeta) e do solo adjacente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 3: 723-728.
- Fragoso, C.; Kanyonyo, J.; Moreno, A.; Senapati, B.K.; Blanchart, E. e Rodríguez, C. (1999) - A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity. In: Lavelle, P.; Brussaard, L. and Hendrix, P. (Eds.) - *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. Oxon, CAB International, p. 1-25.
- Giller, K.E.; Beare, M.H.; Lavelle, P.; Izac, A.M.N. e Swift, M.J. (1997) - Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6, 1: 3-16.
- González, G.; Huang, C.Y.; Zou, X. e Rodríguez, C. (2006) - Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions*, 8, 6: 1247-1256.
- Hendrix, P.F. e Bohlen, P.J. (2002) - Exotic earthworm invasions in North America: ecological and policy implications. *BioScience*, 52, 9: 801-811.
- ISO 23611-1:2002 - *Soil Quality - sampling of soil invertebrates. Part 1: hand-sorting and formalin extraction of earthworms*. Geneva, International Organization for Standardization, 18 p.
- James, S. (2000) - *Earthworms (Annelida: Oligochaeta) of the Columbia River basin assessment area*. General Technical Report PNW-GTR-491. Portland, Oregon, United States Department of Agriculture, 13p.
- Jouquet, P.; Dauber, J.; Lagerlöf, J.; Lavelle, P. e Leppage, M. (2006) - Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology*, 32, 2: 153-164.
- Kennette, D.; Hendershot, W.; Tomlin, A. e Sauvé, S. (2002) - Uptake of trace metals by the earthworm *Lumbricus terrestris* L. in urban contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, 19, 2: 191-198.
- Lafont, A.; Risède, J.-M.; Loranger-Merciris, G.; Clermont-Dauphin, C.; Dorel, M.; Rhino, B. e Lavelle, P. (2007) - Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. *Pedobiologia*, 51, 4: 311-318.
- Lavelle, P. (1983) - The structure of earthworm communities. In: Satchell, J.E. (Ed.) - *Earthworm ecology*.

- gy: from Darwin to vermiculture. London, Chapman and Hall, p. 449-467.
- Lavelle, P. (1988) - Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils*, 6, 3: 237-251.
- Lavelle, P. (1997) - Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27: 93-132.
- Lavelle, P.; Bignell, D.; Lepage, M.; Wolters, W.; Roger, P.; Ineson, P.; Heal, O.W. e Dhillion, S. (1997) - Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33, 4: 159-193.
- Lavelle, P. e Spain, A.V. (2001) - *Soil ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic.
- Lavelle, P.; Decaëns, T.; Aubert, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Bureau, F.; Margerie, P.; Mora, P. e Rossi, J.-P. (2006) - Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, Supplement 1: S3-S15.
- Lee, K.E. (1985) - *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*. Sidney, Academic Press, 411p.
- Lima, A.C.R. de e Brussaard, L. (2010) - Earthworms as soil quality indicators: local and scientific knowledge in rice management systems. *Acta Zoológica Mexicana*, 26, Número especial 2: 109-116.
- Madigan, M.T.; Martinko, J.M.; Dunlap, P.V. e Clark, D.P. (2010) - *Microbiologia de Brock*. 12.^a ed. Porto Alegre, Artmed Editora, 1160 p.
- McNeely, J.A.; Mooney, H.A.; Neville, L.E.; Schei, P.J. e Waage, J.K. (2001) - *A global strategy on invasive alien species*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN.
- Merlim, A. de O.; Guerra, J.G.M.; Junqueira, R.M. e Aquino, A.M.de (2005) - Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management, *Scientia Agrícola*, 62, 1: 57-61.
- Odum, E.P. (2004) - *Fundamentos de Ecologia*. 7.^a ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 928 p.
- Paoletti, M.G. (1999) - The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, 1-3: 137-155.
- Ressetti, R.R. (2004) - *Determinação da dose de Alil isotiocianato em substituição à solução de formol na extração de oligochaeta edáficos*. Dissertação de Mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 57 p.
- Ressetti, R.R. (2006) - Densidade populacional, biomassa e espécies de minhocas em ecossistemas de áreas urbanas. *Scientia Agraria*, 7, 1: 61-66.
- Reynolds, J.W. e Wetzal, M.J. (2009) - *Nomenclatura Oligochaetologica, supplementum quartum*. Champaign, University of Illinois.
- Righi, G. (1971) - Sobre a família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. *Arquivos de Zoologia*, 20, 1: 1-96.
- Righi, G. (1990) - *Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia*. Programa do Trópico Úmido, Programa Polonoroeste. Brasília, SCT/PR-CNPq. 157 p. (Relatório de Pesquisa n.º 12).
- Righi, G. (1999) - Oligochaeta (Annelida): diversidade e agro-ecologia. In: Joly, C.A.; Bicudo C.E.M. (Ed.) - *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX*. São Paulo, FAPESP.
- Römbke, J. (2007) - Searching for a standardization of quantitative terrestrial oligochaete sampling methods: The ISO methodology. In: Brown, G.G. e Fragoso, C. (Ed.) - *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia*. Londrina, Embrapa Soja, p. 497-505.
- Rossi, J.P.; Huerta, E.; Fragoso, C. e Lavelle, P. (2006) - Soil properties inside earthworm patches and gaps in a tropical grassland (la Mancha, Veracruz, Mexico). *European Journal of Soil Biology*, 42: 284-288.
- Ruppert, E.E.; Fox, R.S. e Barnes, R.D. (2005) - *Zoologia dos Invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva*. 7.^a ed. São Paulo, Roca, 1145p.
- Schiedeck, G.; Schiavon, G.de A.; Mayer, F.A. e Lima, A.C.R.de (2009a) - Percepção de agricultores sobre o papel das minhocas nos agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 4: 856-859.
- Schiedeck, G.; Schwengber, J.E.; Cardoso, J.H.; Gonçalves, M. de M. e Schiavon, G. de A. (2010) - Aspectos culturais associados às minhocas no Brasil. *Acta Zoológica Mexicana*, 26: 19-33.
- Schmidt, O.; Curry, J.P.; Hackett, R.A.; Purvis, G. e Clements, R.O. (2001) - Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat-clover intercropping systems. *Annals of Applied Biology*, 138, 3: 377-388.
- Siqueira, F. de F.; Sandes, S.H. de C.; Campos, S.H.C.; Fonseca, C.G.da; Martins, R.P.; Drumond, M.A. e Carvalho, M.R.S. (2010) - Análise filogenética do minhocuçu *Rhinodrilus alatus*, Righi 1971 (Glossoscolecidae: Annelida) baseada em sequências dos genes de rDNA 5.8S, do espaço interno transcrito (its1) e da subunidade i da citocromo C oxidase mitocondrial. *Acta Zoológica Mexicana*, 26, n.º especial 2: 59-77.
- Suthar, S. (2009) - Earthworm communities a bioindicator of arable land management practices: A case study in semiarid region of India. *Ecological Indicators*, 9, 3: 588-594.
- Velazquez, E.; Lavelle, P. e Andrade, M. (2007) - GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 12: 3066-3080.
- Zaborski, E.R. (2003) - Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology*, 22, 1: 87-95.