



## C A P Í T U L O 9

# MACROFAUNA INVERTEBRADA DO SOLO COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTES DE MONTANHAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**Sandra Santana de Lima**

Pós Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

**Adriana Maria de Aquino**

In memoriam  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia,  
Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil

**Cyndi dos Santos Ferreira**

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

**Rafaela Martins da Silva**

Doutoranda do Programa de Ciência Florestal  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, MG

**Renato Linhares de Assis**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia,  
Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores, Nova Friburgo, Rio de Janeiro

**Marcos Gervasio Pereira**

Professor Titular do Departamento de Solos  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

## INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais globais, marcadas por crises recorrentes e interligadas, têm destacado a urgência de repensar a forma como os recursos naturais são utilizados e geridos, sobretudo propiciando discussões acerca dos desafios enfrentados e maneiras de promover soluções mais integradas para lidar com a insustentabilidade

estrutural na forma como esses recursos são atualmente explorados (UNEP, 2024). Nesse cenário, torna-se cada vez mais urgente a proposição e implementação de iniciativas conservacionistas que estejam associadas às práticas adequadas de manejo, uso e ocupação do solo, as quais são indispensáveis para a conservação da natureza e minimização das perdas de biodiversidade (IPCC, 2019). Diante disso, muitas pesquisas a respeito do impacto da agricultura sobre a qualidade do solo, têm sido realizadas em diferentes ambientes, porém ainda são incipientes pesquisas realizadas em ambientes de montanha.

O Brasil está entre os 16 países que apresentam a maior área de região montanhosa do planeta (Assis; Antônio; Aquino, 2019; López Netto, 2013). As montanhas apresentam características próprias, assim como as populações que lá vivem, contudo, a percepção de que os ambientes montanhosos demandam estratégias de desenvolvimento e políticas públicas diferenciadas é recente no Brasil (Assis *et al.*, 2018). De acordo com López *et al.* (2011) que abordam o tema “agricultura de montanha”, afirma-se que o desenvolvimento rural sustentável nas regiões de montanha é vital para a manutenção da qualidade da vida da população tanto nessas áreas, como nas de entorno, incluindo as baixadas.

A fragilidade dos ambientes de montanha representa um enorme desafio ao desenvolvimento sustentável, devido aos impactos do desenvolvimento com baixo grau de sustentabilidade serem mais rápidos, mais intensos, e de mais difícil correção quando comparado a outros ambientes (Körner e Ohsawa, 2006). Nesse sentido, a localização, a distribuição demográfica, os aspectos ambientais, os solos desses ambientes quando altamente manejados e submetidos a diversos ciclos de produção agrícola, podem levar ao esgotamento nutricional e degradação ambiental (Pereira *et al.*, 2022). A Região Serrana do Rio de Janeiro (Figura 1) pode ser considerada como um ambiente com grande potencial agrícola, porém com muitos desafios para a manutenção da sustentabilidade ambiental em virtude das práticas de manejo adotadas.



Figura 1. Montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Foto: Sandra Lima (acervo pessoal).

Nesses ambientes já houve redução de grande parte de sua biodiversidade, em virtude da conversão dos ecossistemas naturais para áreas de exploração agrícola, o que afeta significativamente os serviços ecossistêmicos, especialmente aqueles que dependem da qualidade do solo (Velasquez; Lavelle, 2019), dessa forma é fundamental o conhecimento sobre esses ambientes, os solos que ocorrem e sua capacidade de uso. No que se refere aos atributos que contribuem para a manutenção de sua qualidade, torna-se também necessária a avaliação de quais podem funcionar como indicadores de mudanças quando as áreas são submetidas aos diferentes sistemas de manejo, visto que os ambientes de montanha desempenham papéis fundamentais na regulação de serviços ecossistêmicos, que são revertidos em benefícios para a sociedade (Ferreira *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2022).

O solo é reconhecido como importante reservatório da biodiversidade, o qual exerce funções baseadas na manutenção da diversidade biológica; regulação do fluxo de água e solutos; degradação, imobilização e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos; atuar na ciclagem de nutrientes e manter um meio poroso, que contribua para as trocas gasosas, circulação da água e fixação do vegetal ao solo. Adicionalmente, quando o solo se encontra em um bom estado de conservação e apresenta certa qualidade, esses fatores podem contribuir para a sustentabilidade ambiental (FAO, 2020; Netto; Kato; Goedert, 2009; Stork, 2018). Contudo, ainda são incipientes estudos que proponham indicadores para o monitoramento da qualidade do solo nesses ambientes com destaque para a biota do solo.

## FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO

O solo abriga um quarto da biodiversidade do planeta e as comunidades de invertebrados do solo são altamente sensíveis às mudanças nos ecossistemas (Velasquez; Lavelle, 2019), diante disso, os organismos que compõem a fauna invertebrada do solo, são amplamente considerados importantes indicadores de qualidade do solo (Brown *et al.*, 2015; Lavelle *et al.*, 2006; Lavelle *et al.*, 2020; Lugo; Ibañez; Lavelle, 2024). De acordo com Aquino (2005), a fauna do solo compreende organismos invertebrados que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira. Esses organismos são classificados como microfauna, mesofauna e macrofauna, de acordo com o tamanho (Swift; Heal; Anderson, 1979).

Os invertebrados que compõem a fauna do solo, estão diretamente relacionados a diversos processos no solo e desenvolvem atividades que podem afetar direta e indiretamente o funcionamento sustentável dos ecossistemas terrestres, prestando diversos serviços ambientais (Barrios *et al.* 2013; Brown *et al.*, 2015; Lavelle *et al.*, 2020), tanto para ecossistemas naturais como os manejados (Barrios *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2021).

A mudança do uso das terras tem efeito negativo na remoção ou simplificação da cobertura vegetal, associada às práticas agrícolas convencionais, que tem demonstrado desempenhar um papel fundamental na determinação dos padrões de distribuição da macrofauna edáfica e, conseqüentemente, afeta várias propriedades do solo, podendo ser citadas a agregação do solo e o armazenamento de carbono (C) (Lugo *et al.*, 2024; Morlue *et al.*, 2021). A fauna invertebrada interage intimamente com o ambiente, principalmente devido à proximidade física (Seeber *et al.*, 2022). No geral, esses organismos, executam importantes atividades no solo relacionados à transformação da matéria orgânica, a partir da fragmentação, contribuindo com os ciclos biogeoquímicos, disponibilidade de nutrientes e contribuição para a estrutura do solo (Lavelle; bignell; Lepage, 1997; Morlue *et al.*, 2021).

Esse grupo de invertebrados do solo se destaca por exercerem atividades diferenciadas no ecossistema, sendo ainda, classificados em grupos funcionais, que favorece a compreensão do papel desses organismos no ecossistema, bem como seu funcionamento (Brussaard, 2007; Souza *et al.*, 2022). De acordo com as funções, a comunidade da fauna do solo é classificada como: transformadores de serapilheira, micrófagos, detritívoros, predadores e engenheiros do ecossistema (Figura 2) (Brown *et al.*, 2015; Parron *et al.*, 2015).

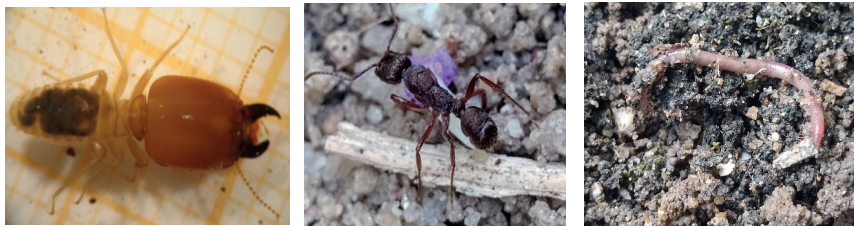


Figura 2. Grupo de “Engenheiros do ecossistema” (cupim, formiga e minhoca). Fotos: Sandra Lima (acervo pessoal).

A interação entre a atividade biótica do solo, matéria orgânica do solo (MOS) decomposição e estabilização, e dinâmica de agregação do solo tem sido reconhecida e estudada desde 1900 (Six *et al.*, 2004). Alguns organismos componentes da macrofauna invertebrada do solo, (térmitas/cupins, formigas e minhocas) são denominados “engenheiros do ecossistema” (Figura 2) em função de suas atividades modificarem algumas das propriedades físicas dos solos onde vivem, especialmente a agregação do solo (Lavelle, 1997; Wolters, 2000; Zangerlé; Pando; Lavelle, 2011). Eles produzem bolotas fecais, movimentam resíduos, constroem estruturas, como montículos, galerias, ninhos, câmaras, influenciando alguns atributos físicos e a disponibilidade de recursos para os demais organismos do solo (Lavelle *et al.*, 2020; Wolters, 2000).



A



B



C



D



E



F

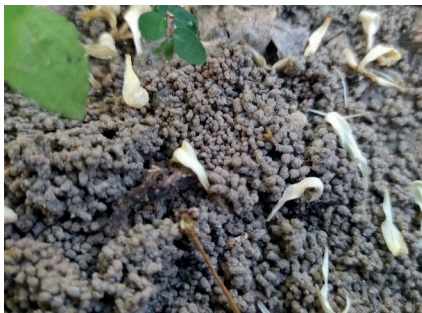


Figura 3. Estruturas dos engenheiros do ecossistema. Sendo as Figuras A e B estruturas produzidas por Cupins; B e C Figuras de coprólitos de minhocas; Figura E estrutura produzida por formigas; e Figura F pelotas fecais. Fotos: Sandra Lima (acervo pessoal).

A partir das atividades da fauna invertebrada do solo, um conjunto diversificado de processos, como a consolidação da agregação pode ser esperado, considerando a grande variedade da composição do solo e diversidade em hábitos alimentares (Lavelle, 1997). Por outro lado, a diminuição do conteúdo de matéria orgânica no solo também afeta as comunidades dos engenheiros do ecossistema (Lugo *et al.*, 2024).

No contexto dos ambientes de montanhas, a densidade de macroinvertebrados do solo diminui em função do aumento da altitude (Seeber *et al.*, 2022), logo é importante conhecer a dinâmica dos organismos e processos do solo, sob a agricultura de montanha. Diante disso, é crucial aprofundar a compreensão das estratégias de manejo do solo que influenciam a vida e as atividades benéficas dos invertebrados edáficos nesse ambiente. Isso é fundamental para promover um monitoramento mais eficaz dos solos, aumento de sua resiliência e sustentabilidade geral dos agroecossistemas (Olayemi *et al.*, 2022).

Neste capítulo serão abordadas algumas pesquisas, as quais avaliaram a macrofauna invertebrada do solo como indicadora de qualidade em áreas de agricultura de montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 4), com o objetivo promover um diagnóstico mais amplo da qualidade do solo nessa região a partir do impacto ambiental que ocorreu em 2011.

## FAUNA EDÁFICA EM AGRICULTURA DE MONTANHA

O desastre ambiental de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro, foi também um marco de destruição nas áreas de muitos produtores agrícolas na região que é conhecida por ser um polo de produção de oleráceas. O episódio de grande impacto, devido ao forte volume de chuvas, resultou no transbordamento de rios, inundação de áreas, assim como o movimento de massa com deslizamentos de solo de encostas, e soterramento de áreas. Nesse cenário vários agricultores aderiram a práticas mais conservacionistas, objetivando melhorar as propriedades do solo e consequentemente sua qualidade, enquanto outros seguiram utilizando fertilizantes com maior intensidade (Figura 4).



Figura 4. Áreas de agricultura de montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Foto: Sandra Lima (acervo pessoal).

Desde então, pesquisas têm sido realizadas na região afim de monitorar áreas impactadas e ainda caracterizar áreas de cultivos. Vale destacar que a qualidade do solo é vista numa ótica dinâmica e considerada um indicador sensível das alterações de manejo, e sua capacidade de se recuperar diante de estresses causados por fenômenos naturais ou atividades agrícolas (Aquino, 2005). Assim, a avaliação de organismos dos solos que possam vir a ser utilizados como indicadores biológicos é de grande relevância em virtude da sua dinâmica, em função de uma resposta mais rápida quando comparados aos indicadores físicos e químicos, visto que podem indicar tanto a degradação, quanto o restabelecimento das áreas manejadas ou impactadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Considerando a importância da biota do solo, pesquisas com a macrofauna invertebrada do solo, nesse ambiente, foram realizadas em áreas com diferentes manejos do solo. Para este estudo de caso, foram selecionadas quatro áreas agrícolas diferentes, estudadas em momentos distintos, sendo duas avaliadas em 2014 (A), e duas em 2016 (B), sendo caracterizadas como:

- Área 1A – Manejada com aveia preta para cobertura do solo, desde o segundo semestre de 2011. Sem revolvimento do solo;
- Área 2A – Manejada com consórcio de aveia-preta, nabo forrageiro e ervilhaca, sem revolvimento do solo;
- Área 1B – Não manejada, em pousio com cobertura de gramínea;
- Área 2B – Manejada com aveia preta e cama de aviário para cobertura do solo e ainda adubação com NPK, após impacto por transbordamento do rio em 2011, permaneceu 2 meses inundada com grande deposição de areia na superfície da área.

As áreas em ambos os estudos, estão localizadas na parte mais baixa da paisagem, porém com áreas que não foram afetadas pelo impacto ambiental de 2011 (Área 2A e Área 1B). De acordo com Rossi *et al.* (2015) são observados solos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, como Cambissolos, associados aos solos com maior grau de pedogênese, como Argissolos. O clima é caracterizado como subtropical úmido, do tipo Cfa, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Ainda de acordo com esses autores, os poucos remanescentes da Mata Atlântica desempenham papel crucial na captação e distribuição da água da chuva nas bacias hidrográficas, no entanto, essa região é naturalmente vulnerável a deslizamentos.

Os trabalhos na região seguiram o mesmo método e números de pontos de amostragem, fato que favorece a comparação entre as pesquisas, e possibilita um melhor entendimento sobre a comunidade da macrofauna, sob diferentes manejos



do solo no ambiente de montanhas. A amostragem da macrofauna invertebrada foi realizada utilizando o método do TSBF (*Biologia e Fertilidade dos Solos Tropicais*) da UNESCO (Anderson; Ingram, 1993). O grupo da macrofauna engloba invertebrados maiores e visíveis a olho nu, entre os quais, os engenheiros do ecossistema e outros organismos com diferentes funcionalidades estão inseridos. Em cada área foram coletados cinco monólitos de solo, com o auxílio de um gabarito com 25 x 25 cm a 10 cm, de profundidade.

As comparações das comunidades da macrofauna nas diferentes áreas foram feitas mediante a utilização do índice de diversidade de Shannon ( $H = -\sum p_i \cdot \log p_i$ ; em que  $p_i = n_i/N$ ;  $n_i$  = densidade de cada grupo; e  $N = \sum$  da densidade de todos os grupos), e da equitabilidade de Pielou:  $e = H/\log R$ ; onde:  $R$  = riqueza, representada pelo número de grupos taxonômicos (Odum, 1988).

Os dados da macrofauna de cada estudo (A e B) foram ainda analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado. Sendo submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA). Para cada estudo foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), para explorar as distribuições das variáveis nas diferentes coberturas, pelo software R (RStudio, 2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas áreas do primeiro estudo (A), observou-se uma marcante diferença nos valores da densidade sendo a maior densidade de indivíduos verificada na Área 1A, com mais que o dobro da densidade observada na Área 2A (Figura 5). No segundo estudo de caso (B), na área com cultivo de aveia-preta e adubação (Área 2B) foi verificada uma maior densidade de indivíduos, demonstrando que essa forma de manejo favoreceu a macrofauna, em detrimento da Área 1B (Figura 5). Os resultados obtidos em ambos os estudos, demonstram a influência do manejo nas condições para a densidade dos organismos da macrofauna.

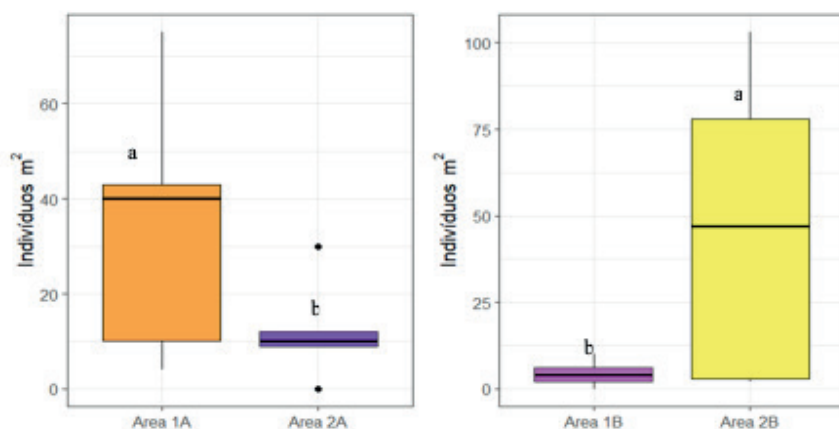


Figura 5. Densidade de indivíduos da macrofauna invertebrada do solo por metro quadrado, nos diferentes ambientes agrícolas. (A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

No que se refere aos valores de riquezas média e total e índices, observou-se pequena variação entre esses em ambos os estudos (Tabela 1), sendo os melhores valores observados nas áreas com menor densidade. Nas áreas do primeiro estudo, os valores das riquezas foram mais elevados, e nesse sentido, considerando que existe uma relação entre a riqueza total e o índice de diversidade de Shannon, verificou-se que os valores dos índices de diversidade e equitabilidade de Pielou também foram melhores na área 2A, na qual o manejo adotado com o consórcio de plantas, favoreceu o equilíbrio da diversidade e equitabilidade que são condições importantes para a manutenção dos serviços ecossistêmicos em que os organismos da macrofauna participam.

Tabela 1. Densidade, riquezas e índices ecológicos de indivíduos da macrofauna invertebrada em diferentes ambientes agrícolas na Região Serrana de Nova Friburgo, RJ

Áreas	Riqueza Média	Riqueza Total	Shannon	Pielou
Área 1A	4,2	9	1,65	0,52
Área 2A	4,2	11	2,68	0,77
Área 1B	2,2	7	1,70	0,61
Área 2B	2,8	6	0,47	0,18

(A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

Por outro lado, nas áreas do estudo B foram verificados baixos valores de riquezas, especialmente no que se refere à riqueza total na área 2B (Tabela 1). Considerando a relação, já mencionada, entre riqueza e diversidade, verificaram-se baixos valores de Shannon e Pielou, o que ressalta a discrepância da equitabilidade, ou seja, no número de organismos nos grupos coletados, possivelmente em decorrência de ter sido identificado um grupo com um maior número de indivíduos em detrimento aos demais grupos.

Na Área 1A, a maior densidade e menores valores dos índices são explicados pela grande ocorrência do grupo Oligochaeta (Figura 6). Pela reconhecida importância desse grupo no solo, pode-se inferir que a presença desses indivíduos ocorreu pelo manejo com adição de material orgânico proveniente da cobertura do solo com aveia preta e ausência de revolvimento promovendo maior disponibilidade de alimentos e, melhores condições para o desenvolvimento da comunidade da macrofauna.

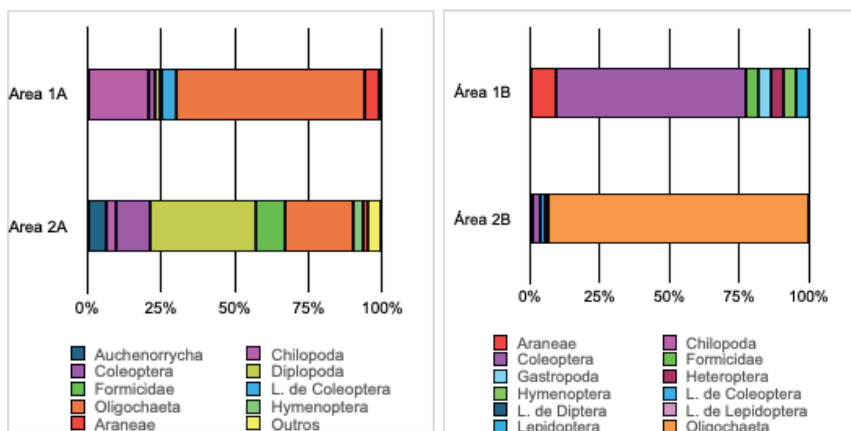


Figura 6. Frequência relativa dos grupos da macrofauna invertebrada do solo sob diferentes manejos agrícolas em ambiente de montanha em Nova Friburgo, RJ. (A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

Adicionalmente, na Área 2A os valores dos índices indicam o retorno de grupos da macrofauna de forma equilibrada, sem maiores frequências de um grupo em detrimento a outros, sendo as maiores frequências registradas para os grupos: Diplopoda, Oligochaeta, Formicidae, Coleóptera e Chilopoda (Figura 6). Nesse contexto, vale ainda destacar que a ocorrência desses importantes grupos na Área 2A, mostra que o manejo do consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca promoveu o reestabelecimento da biota do solo e consequentemente benefícios

aos sistemas por meio da atividade desses organismos, considerando que a área foi submetida ao impacto ambiental da inundação e assoreamento em função do transbordamento de rio.

A frequência relativa dos organismos da macrofauna (Figura 6) também explica os valores dos índices ecológicos no estudo B, no qual verificou-se o mesmo padrão no que se refere à relação de maior abundância e baixos valores dos índices, sendo que na Área 1B esses baixos valores resultaram da maior frequência do grupo Coleoptera em comparação aos demais grupos. Entretanto na Área 1B, a grande frequência do grupo Oligochaeta foi responsável pelos baixos valores dos índices de Shannon, e especialmente Pielou que se refere à equitabilidade.

No que se refere à maior frequência de Coleoptera na área em pousio com gramíneas, é importante considerar a baixa densidade de indivíduos nessa área (Figura 6, Área 1B), não sendo possível fazer uma inferência sobre o grupo, considerando a quantidade de indivíduos. Contudo, vale ressaltar a importância do conhecimento da frequência, da quantidade de indivíduos e os grupos associados a essa área, para evidenciar a necessidade do manejo adequado, com maior diversidade de vegetais, que possa promover maior abundância e diversidade da fauna invertebrada do solo.

Nesse contexto, é relevante considerar que baixos índices ecológicos, decorrentes da maior frequência de grupos importantes como os Oligochaeta não representa um fator negativo, visto que o grupo em questão é considerado um indicador de qualidade do solo, amplamente reconhecido e estudado. Há diversos benefícios no solo atribuídos às atividades do grupo Oligochaeta, contudo, a presença desses invertebrados e dependendo das condições específicas do ambiente, podendo ser citados: o conteúdo de água no solo, considerado por Lavelle (1983); a variável ambiental mais importante na distribuição; e a abundância desse grupo em solos tropicais. Nesse estudo, pode-se relacionar a maior frequência desse grupo ao manejo, assim como observado por Lima *et al.* (2021), em que as condições promovidas pelo manejo com aveia preta como cobertura do solo, favoreceram o aumento da população de Oligochaeta. Adicionalmente, esses sistemas podem ser beneficiados pelo aumento da qualidade da matéria orgânica proveniente de dejetos desse grupo de invertebrados (Silva *et al.*, 2008).

A análise de componentes principais, realizada para cada estudo, corrobora os resultados anteriores e ainda revela os grupos que apresentaram maior contribuição para a separação das áreas em cada estudo. No estudo A, os dois componentes explicaram 56% da variância total (Figura 7A), sendo notória a distribuição e separação dos grupos de organismos nas áreas, sendo que os grupos com menor ocorrência são visualizados no quadrante inferior e relacionados à área 2A devido à baixa ocorrência dos grupos Auchenorrhyncha, Larva de Lepidoptera e Sternorrhyncha.

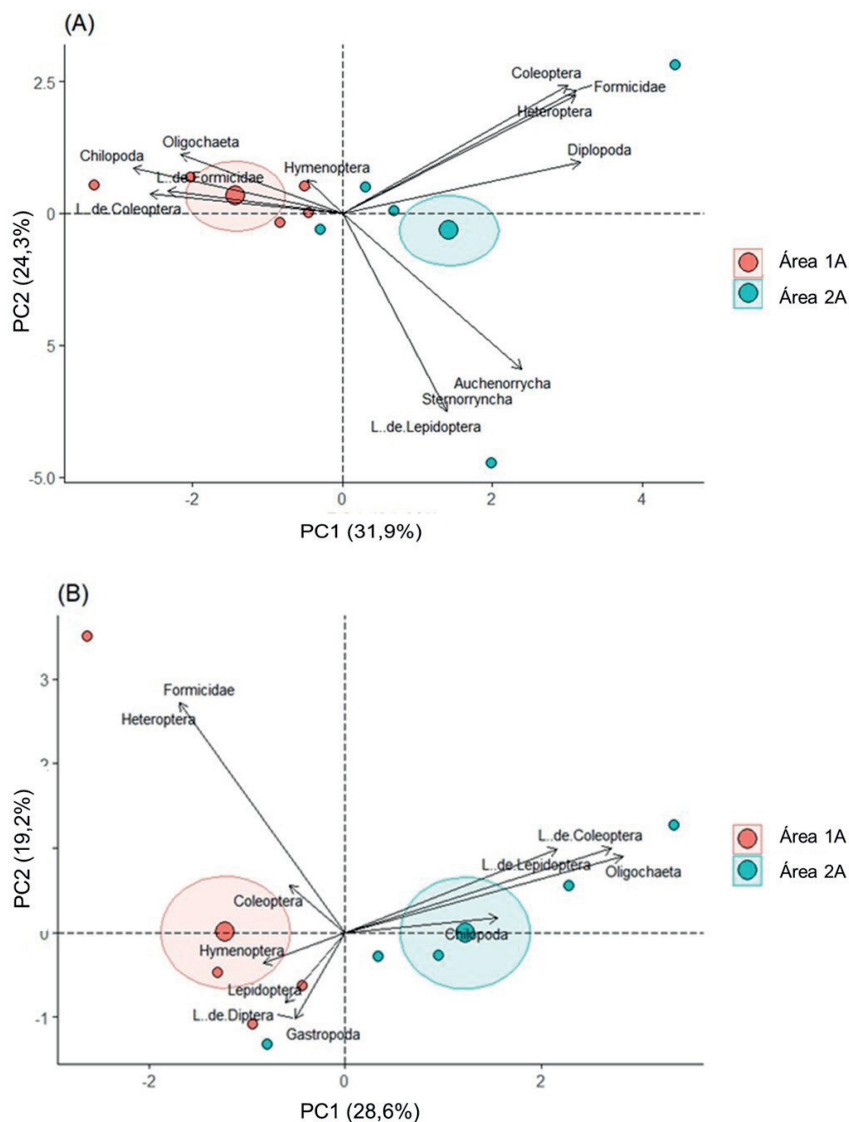


Figura 7. Análises de Componentes Principais nos diferentes ambientes agrícolas (A e B). Área 1A – manejada com aveia; Área 2A – consórcio de aveia-preta, nabo forrageiro e ervilhaca; Área 1B – considerada pousio, com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.



No que se refere à PCA da macrofauna no estudo B, a soma dos componentes 1 e 2 totalizaram 47% da variância, na qual a PC1 explicou 28,6% da variância (Figura 7B). Vale destacar que a maior densidade de Oligochaeta foi decisiva na separação das áreas, sendo observado que na área 2A esses organismos localizam-se no quadrante superior direito, enquanto na Área 1A os organismos ficaram distribuídos nos dois quadrantes esquerdos, com destaque para o grupo Coleoptera que contribuiu com altos valores de densidade, enquanto os grupos Formicidae com a menor contribuição. O estabelecimento de grupos taxonômicos melhora a agregação do solo contribuindo também nos processos iniciais de decomposição dos resíduos vegetais (Kitamura *et al.*, 2020).

Em ambos os estudos, o grupo Oligochaeta se destacou quanto à densidade. Esse grupo tem uma importância reconhecida como indicador da saúde do solo, sendo dessa forma capaz de prever sobre o grau de recuperação da área. De acordo com Morlue *et al.* (2021) esse grupo pode reorganizar a estrutura do solo por trituração e homogeneização de materiais minerais e orgânicos do solo em suas entranhas, alterando assim a quantidade e a orientação das partículas de argila.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados em ambos os estudos, evidenciam a relação dos organismos da macrofauna com o manejo do solo, bem como a importância do emprego de um indicador biológico, que possibilita uma avaliação mais rápida sobre o grau de recuperação ou degradação das áreas, e consequentemente da saúde do solo.

A diversidade e a densidade de grupos macrofauna, pode ser um indicativo do reestabelecimento desses organismos, demonstrando o grau de recuperação da área.

As áreas manejadas com o uso de aveia preta apresentaram boas condições para a comunidade de Oligochaeta, fato que mostra a importância da avaliação e difusão da importância da comunidade da fauna invertebrada do solo, já que esses organismos são um importante indicador da saúde do solo, sendo muito reconhecido pelos agricultores.

O manejo adequado do solo pode promover melhorias em sua qualidade, funcionando com uma fonte de alimentos tanto de forma quantitativa como qualitativa, fornecendo condições adequadas de temperatura e umidade, que favorecendo o desenvolvimento da comunidade de invertebrados edáficos contribuirão para a manutenção da saúde do solo através dos serviços ecossistêmicos prestados, e também funcionando como indicadores na avaliação de sua qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **CAB International**. 1993. 221 p.

AQUINO, A. M. Fauna do Solo e sua Inserção na Regulação Funcional do Agroecossistema. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.

ASSIS, R. L.; ANTÔNIO, G. J. Y.; AQUINO, A. M. Ambientes de montanha: experiencia de desarrollo endógeno y agricultura en la Región Serrana de Distrito de Río de Janeiro (Brasil). **Cultura Científica**, n. 17, p. 10-17, 2019.

ASSIS, R. L.; AQUINO, A. M.; PRADO, R. B.; BORBA, M. F. S.; MAGALHÃES, L. A.; TONIETTO, J. Agricultura de montanha. *In*: VILELA, G. F.; BENTES, M. P. de M.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. (Editoras Técnicas). **Vida terrestre**: contribuições da Embrapa – Brasília, DF. Embrapa, 2018.

AUCLERC, A.; BEAUMELLE, L.; BARANTAL, S.; CHAUVAT, M.; CORTET, J.; ALMEIDA, T.; DULAURENT, A. M.; DUTOIT, T.; JOIMEL, S.; BOULANGER, G.; BLIGHT, O. Fostering the use of soil invertebrate traits to restore ecosystem functioning. **Geoderma**, 424, n. 116019, 2022.

BARRIOS, E.; SILESHI, G. W.; SHERPHERD, K.; SINCLAIR, F. Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. Pág. 315-328. *In*: WALL, D. H. (Ed.). **Soil Ecology and Ecosystem Services**. Oxforde University Press, 2013.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *In*: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 121-154.

BRUSSAARD, L.; PULLEMAN, M. M.; QUÉDRAOGO, E.; MANDO, A.; SIX, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia, Jena**, v. 50, n. 6, p. 447-462, 2007.

FAO. **State of Knowledge of Soil Biodiversity. Status, challenges and potentialities**. Rome, ISBN 978-92-5-133582-6, 2020.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P.; COELHO, I. S.; PEREIRA, M. G. AGRICULTURA EM AMBIENTE DE MONTANHA *In: Economia Ecológica, território e desenvolvimento sustentável*: perspectivas e desafios - Volume 3. Editora Científica Digital, 2023, p. 162-179.

IPCC. **Climate Change and Land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 2019.

KITAMURA, A. E.; TAVARES, R. L. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 50, n. 8, e20190606, 2020.

KÖRNER, C.; OHSAWA, M. Mountain systems. *In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (Editors). Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends. Volume 1. Washington, DC: Millennium Ecosystem Assessment and Island Press, 2006. p 681-716.*

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

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* v. 33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; DECAENS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MOTA, P.; ROSSI, J-P. Soil invertebrates as ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, Montrouge, v. 42, 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.; FONTE, S.; BEDANO, J. C.; BLANCHART, E.; GALINDO, V.; GRIMALDI, M.; JIMENEZ, J. J.; VELASQUEZ, E.; ZANGERLE, A. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica*, v. 105, 2020.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; SILVA, R. M.; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, 2021.

LÓPEZ NETTO, A.; AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. Definição de Montanha. *In: LÓPEZ, A.; AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Orgs.). Agricultura de montanha: uma prioridade latente na agenda da pesquisa brasileira. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 15-20.*

LÓPEZ NETTO, A. **Políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha no Brasil e na Argentina**. Seropédica. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

LUGO, E. H.; IBÁÑEZ, E. V.; LAVELLE, P. A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. **Applied Soil Ecology**. Volume 193, 2024.

MORLUE, B.; KAMAU, S.; AYUKE, F. O.; KIRONCHI, G. Land use change, but not soil macrofauna, affects soil aggregates and aggregate-associated C content in central highlands of Kenya. **J Soils Sediments**, v. 21, p. 1360-1370, 2021.

NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Sob Pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

OLAYEMI, O. P.; SCHNEEKLOTH, J. P.; WALLENSTEIN, M. D.; TRIVEDI, P.; CALDERÓN, F. J.; CORWIN, J.; FONTE, S. J. Soil macrofauna and microbial communities respond in similar ways to management drivers in an irrigated maize system of Colorado (USA). **Applied Soil Ecology**, v. 178, 104562, 2022.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica. *In: Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais*. Embrapa, p. 121-154, 2015.

PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; RIBEIRO, J. C.; SILVA NETO, E. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R. Solos e sistemas de uso e manejo em ambientes de montanha, Mar de Morros e Tabuleiros Costeiros. *In: Manejo do Solo em Sistemas Integrados de Produção*, 2022. 61 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria; 2023.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, A. M.; LIMA, S. S.; BERBARA, R. L. L. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com oleráceas em microbacia hidrográfica, após desastre ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1764-1775, 2015.

SEEBER, J.; STEINWANDTER, M.; TASSER, E.; GUARIENTO, E.; PEHAM, T.; RÜDISSE, J.; SCHLICK-STEINER, B. C.; STEINER, F. M.; TAPPEINER, U.; MEYER, E. Distribution of soil macrofauna across different habitats in the Eastern European Alps. **Scientific Data**. v. 9, n. 632, 2022.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Sci. Agron. Maringá**, v. 30, p. 725-731, 2008.

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

SOUZA, T.; KORMANN, S.; LAURINDO, L. K.; SILVA, L. J. R.; NASCIMENTO, G. S.; LUCENA, E. O. Variabilidade Temporal da Fauna Edáfica e seus Grupos Funcionais em Sistema Agroflorestal. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 1-10, 2022.

STORK, N. E. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? **Annual Review of Entomology**, 2018.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. Blackwell: Blackwell Scientific Publications, Studies in Ecology, v. 5. 1979.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes**. International Resource Panel. 2024.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes, **Acta Oecologica**, v. 100, 2019.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 1-19, 2000.

ZANGERLÉ, A.; PANDO, A.; LAVELLE, P. Do earthworms and roots cooperate to build soil macroaggregates? A microcosm experiment. **Geoderma**, 167-168, p. 303-309, 2011.