

Macrofauna invertebrada da serapilheira em ambientes de montanhas no estado do Rio de Janeiro

Invertebrate macrofauna in litter of mountain environments in the state of Rio de Janeiro

Macrofauna invertebrada de la hojarasca en ambientes montañosos del estado de Río de Janeiro

Recebido: 20/06/2024 | Revisado: 27/06/2024 | Aceitado: 28/06/2024 | Publicado: 30/06/2024

Cyndi dos Santos Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1407-8701>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: ferreiracyndi@gmail.com

Sandra Santana de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3599-8344>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: sandraslima01@gmail.com

Aurea Pinto dos Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4382-9671>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: aureapinto44@gmail.com

Irene da Silva Coelho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1357-2529>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: irenecoelho@ufrj.br

Marcos Gervasio Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1402-3612>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: gervasio@ufrj.br

Resumo

O conhecimento sobre o impacto gerado na atividade biológica nos solos é fundamental, visto que os organismos presentes desempenham papel essencial em diversos processos que ocorrem no ambiente edáfico. Esse estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes manejos na macrofauna invertebrada presente na serapilheira em ambientes de montanha do estado do Rio de Janeiro. Foram selecionadas duas áreas agrícolas, sendo uma cultivada com tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e outra com milho (*Zea mays* L.), além de uma área de fragmento florestal. A amostragem de macrofauna invertebrada da serapilheira foi realizada a partir de um gabarito com 25 x 25 cm, sendo coletadas cinco amostras por área. Os organismos foram identificados e quantificados para estimar a densidade de indivíduos por metro quadrado e cálculo da frequência, riquezas e índices ecológicos. Além disso, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA). Nas áreas com cultivo de tomate e milho foram observadas baixas frequências da macrofauna invertebrada. A baixa densidade de grupos nas áreas de cultivo resultou em menores valores de riqueza e diversidade. Os valores observados nas áreas de cultivos, estão diretamente relacionados ao manejo adotado em ambas as áreas. Na área de floresta foram verificados valores de frequência, densidade, riqueza e índices ecológicos em conformidade com a estabilidade de um sistema natural. O sistema de manejo do solo, com cultivo convencional e utilização de agrotóxico, influenciou de forma negativa a comunidade de organismos da macrofauna da serapilheira.

Palavras-chave: Fauna epígea; Bioindicadores; Sustentabilidade agrícola.

Abstract

Knowledge about the impact generated by biological activity in soils is fundamental, as the organisms present play an essential role in various processes that occur in the soil environment. This study aims to evaluate the effect of different management practices on the invertebrate macrofauna present in litter in mountain environments in the State of Rio de Janeiro. Two agricultural areas were selected, one cultivated with tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and the other with corn (*Zea mays* L.), in addition to a forest fragment area. Sampling of invertebrate macrofauna from the litter was carried out using a 25 x 25 cm template, with five samples being collected per area. The organisms were identified and quantified to estimate the density of individuals per square meter and to calculate frequency, richness, and ecological indices. Furthermore, the data were subjected to principal component analysis (PCA). In areas with tomato and corn cultivation, low frequencies of invertebrate macrofauna were observed. The low density of groups in

the cultivation areas resulted in lower values of richness and diversity. The values observed in the cultivation areas are directly related to the management practices adopted in both areas. In the forest area, values of frequency, density, richness, and ecological indices were consistent with the stability of a natural system. The soil management system, with conventional cultivation and the use of pesticides, negatively influenced the community of litter macrofauna organisms.

Keywords: Epigeal fauna; Bioindicators; Agricultural sustainability.

Resumen

El conocimiento sobre el impacto que se genera sobre la actividad del suelo es fundamental, ya que los organismos presentes juegan un papel esencial en varios procesos del suelo. Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes manejos sobre la macrofauna de invertebrados presentes en la hojarasca en ambientes montañosos del Estado de Rio de Janeiro. Se seleccionaron dos áreas agrícolas: cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y otro con maíz (*Zea mays L.*), además de una zona de fragmento de bosque. El muestreo de macrofauna de invertebrados de la hojarasca se realizó mediante una plantilla de 25 x 25 cm, recogiendo cinco muestras por área. Los organismos fueron identificados, cuantificados para estimar la densidad de individuos por metro cuadrado y calcular la frecuencia, riqueza e índices ecológicos. Además, los datos se sometieron a un análisis de componentes principales (PCA). En zonas con cultivo de tomate y maíz se observaron bajas frecuencias de macrofauna de invertebrados. La baja densidad de grupos en las áreas de cultivo resultó en bajos valores de riqueza y diversidad. Los valores observados en las zonas de cultivo están directamente relacionados con el manejo adoptado en ambas zonas. En el área forestal se verificaron valores de frecuencia, densidad, riqueza e índices ecológicos acordes con la estabilidad de un sistema natural. El sistema de manejo del suelo, con cultivo convencional y uso de pesticidas, influyó negativamente en la comunidad de organismos de la macrofauna de la hojarasca.

Palabras clave: Fauna epigea; Bioindicadores; Sostenibilidad agrícola.

1. Introdução

No estado do Rio de Janeiro, a região Serrana apresenta grande importância, sendo considerada o principal polo de produção de olerícolas do Estado, correspondendo no ano de 2022 com 28,7% da produção estadual (IBGE, 2023). A produção está principalmente destinada ao mercado interno, sendo assim considerada uma atividade de grande relevância para a economia do município, contribuindo para a geração de emprego e renda local (Silva & Patron, 2024). Destacando-se a produção de couve-flor, tomate, brócolos, repolho, feijão-de-vagem, ervilha, salsa, coentro, alface, cenoura e beterraba (Grisel & Assis, 2020).

A Região Serrana foi submetida à ocupação humana que se reporta ao século XIX, crescendo a partir de cidades que se basearam em áreas intramontanas, como Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo (Dantas et al., 2005). As áreas dessa região apresentam uma grande diversidade de solos, desde aqueles pouco espessos, até aqueles profundos e muito lixiviados, destacando-se Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos Álicos, os fatores clima e relevo, considerados os principais para a sua formação, como um clima úmido e ameno (Pereira et al., 2022).

Devido a sua geomorfologia com topografia acidentada e associada às práticas agrícolas não conservacionistas, adotadas pela maioria dos produtores da região, verifica-se a ocorrência de fragilidade natural em grande parte dos municípios, intensificando processos de deslizamento de terra, provocando assim a degradação ambiental e tragédias socioambientais (Rodrigues et al., 2018, Assefa et al., 2020, Kong et al., 2022, Silva & Patron, 2024). Os processos erosivos são considerados uma das principais causas da degradação do solo em paisagens agrícolas inclinadas (Mariappan et al., 2022).

Nesse sentido, essa região do estado do Rio de Janeiro apresenta uma forte limitação quanto ao manejo agrícola do solo pelos produtores rurais, em função do relevo acidentado, sendo também observado um conjunto de vales de topografia ondulada, fortemente ondulada e montanhosa, com algumas encostas de relevo suave-ondulado e de vales estreitos (Cardozo et al., 2008, Pereira et al., 2022, Silva & Patron, 2024).

As principais práticas agrícolas na região são baseadas em uso intensivo de agrotóxicos e queima de resíduos culturais, ou seja, superfície desprotegida de cobertura vegetal, que em condições de relevo montanhoso, favorecem processos

erosivos, contribuindo para que a área apresente um alto potencial de vulnerabilidade de degradação ambiental (Cardozo et al., 2008, Rodrigues et al., 2018). Os resíduos vegetais depositados são fundamentais na dinâmica dos nutrientes da camada superficial do solo, pois, a serapilheira é o principal meio de aporte de nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Lopes et al., 2009).

Considerando a importância da cobertura do solo, o manejo dos resíduos vegetais contribui na diminuição da amplitude térmica e umidade no solo, bem como, dificulta os processos erosivos e a lixiviação de nutrientes (Alvarenga et al., 2001, Santana et al., 2018), além de favorecer a diversidade da fauna epígea, fornecendo melhores condições para os organismos do solo (Balin et al., 2017, Gazola et al., 2017).

O compartimento serapilheira também é habitat de uma grande diversidade de organismos, podendo ser encontrados tanto microrganismos, quanto organismos invertebrados. Logo a biota que habita esse compartimento é representada por esse conjunto de organismos que exerce diversas atividades no solo, com inúmeras funções, variando em tamanho e ciclo de vida (Brown et al., 2015). Os invertebrados edáficos são classificados como micro, meso e macrofauna (Swift et al., 1979, Baretta et al., 2011). E são comumente utilizados para monitorar e avaliar o efeito dos sistemas de manejo, uma vez que respondem rapidamente ao estresse do meio, por apresentarem várias gerações em pouco tempo e serem facilmente amostrados (Moreira et al., 2013, Lima et al., 2019). Além da intrínseca relação com as características químicas, teor de matéria orgânica do solo e a regulação de toda a biologia do solo (Moreira, 2010, Ferreira et al., 2019).

A fauna invertebrada participa e desenvolve atividades que estão diretamente relacionadas à disponibilidade de matéria orgânica, por se tratar da fonte de nutrientes e energia aos organismos do solo (Pes & Arenhardt, 2015). Nesse sentido, desempenha papel fundamental no sistema, atuando na fragmentação de resíduos vegetais, ciclagem e liberação de nutrientes, regulação da biomassa microbiana, manutenção da matéria orgânica, além de possuírem grande contribuição em relação a agregação do solo, por meio da melhoria das propriedades físicas, sendo estas de grande relevância para o crescimento vegetal (Brown et al., 2015, Lima et al., 2020).

A macrofauna é a principal responsável pela fragmentação da serapilheira (Prescott & Vesterdal, 2021), nessa relação a macrofauna do solo atua, também, na redistribuição de C e N nas frações da matéria orgânica particulada e da matéria orgânica associada aos minerais (Craig et al., 2022). A atividade de bioturbação de alguns invertebrados pode alterar o microambiente do solo e os teores dos nutrientes, podendo ser citados Fe, Ca, Mg e Al, e afetando desta forma ainda mais o ciclo da matéria orgânica (Arrazola-Vásquez et al., 2022, Vidal et al., 2023). Portanto, ter um entendimento adequado dessas áreas é fundamental, uma vez que esses habitats desempenham funções essenciais na regulamentação dos serviços ecossistêmicos, os quais resultam em ganhos para a comunidade (Ferreira et al., 2023).

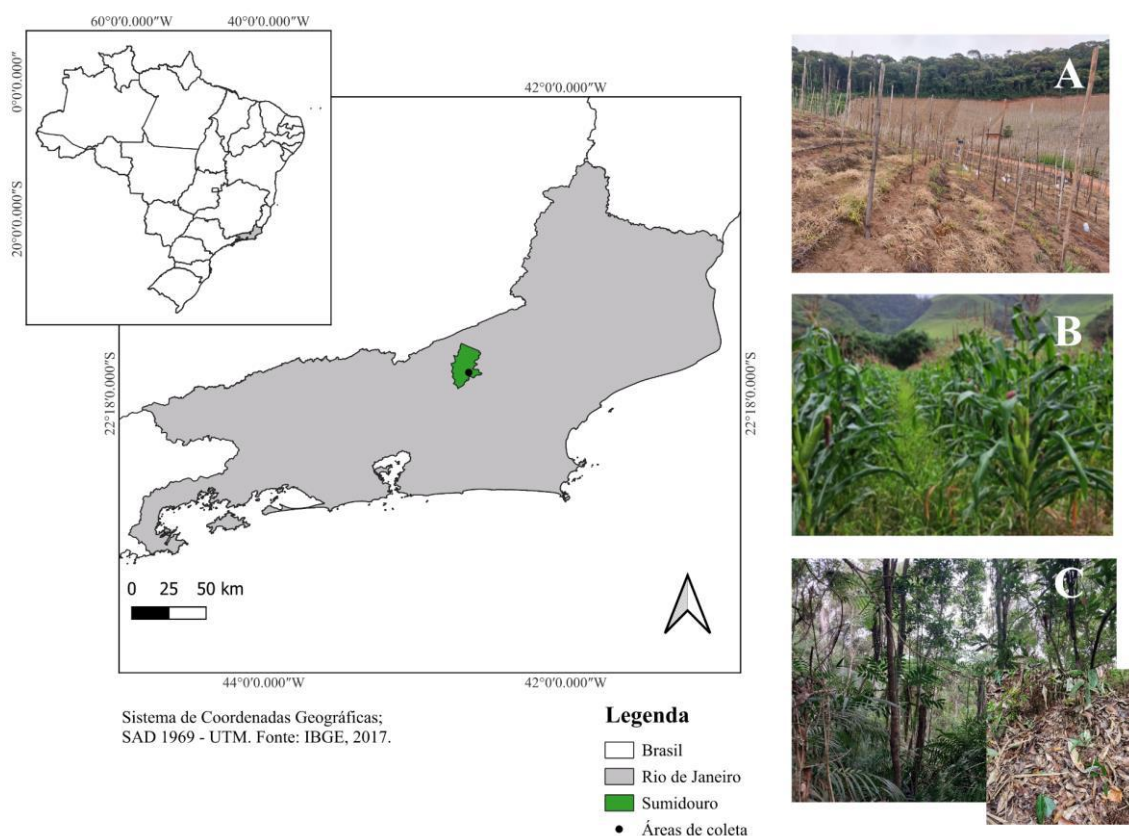
Considerando que grande parte dos grupos da fauna invertebrada vivem na serapilheira, a qual tem um papel fundamental, em virtude do aporte de material vegetal que fornece abrigo e alimento para a comunidade de invertebrados reconhecidamente importantes. Portanto, sendo a camada mais superficial, com alta sensibilidade às ações antrópicas, o monitoramento da comunidade de invertebrados que habitam a serapilheira é relevante, uma vez que podem prever sobre o impacto do sistema de manejo adotado. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes manejos na macrofauna invertebrada presente na serapilheira em ambientes de montanha do estado do Rio de Janeiro.

2. Metodologia

O estudo foi realizado no município de Sumidouro, localizado na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). A escolha das áreas ocorreu com o auxílio do Google Earth, e também com base no histórico do manejo adotado e da

cobertura vegetal presente. Foram selecionadas duas áreas de produção agrícola, uma com cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) e outra com milho (*Zea mays L.*), situadas nas coordenadas geográficas 22° 09' S de latitude e 42° 38' W de longitude, respectivamente. Além dessas, uma área com fragmento florestal, caracterizada pelo baixo grau de intervenção antrópica, sob a coordenada geográfica 22° 16' S de latitude e 42° 31' W de longitude.

Figura 1 - Localização das áreas de estudo, (A) tomate, (B) milho, (C) floresta, no município de Sumidouro, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A região é caracterizada pelo clima do tipo Cfb na classificação de Köppen (1948), com alta umidade e verão ameno, sendo registradas uma média de temperatura e pluviosidade média anual de 18,1 °C e 2.174 mm. Os solos das áreas de estudo foram classificados como Cambissolos Húmicos (Santos et al., 2018).

A amostragem de macrofauna invertebrada da serapilheira foi realizada a partir de um gabarito metálico com dimensões de 25 x 25 cm para a coleta da serapilheira, sendo selecionados cinco pontos distribuídos aleatoriamente em cada área de estudo. O material foi coletado manualmente e transferido para sacos devidamente identificados. Posteriormente, o material foi disposto em bandejas para a coleta dos invertebrados com o auxílio de pinças e acondicionados em potes contendo álcool 70%. A identificação e quantificação dos organismos foi realizada em laboratório, com auxílio de lupa binocular, considerando os grandes grupos taxonômicos de acordo com Pereira et al. (2018).

Posteriormente a identificação e quantificação dos organismos, procedeu-se com os cálculos, sendo realizado a estimativa da densidade da macrofauna invertebrada, expressa pelo número de indivíduos por metro quadrado, para cada área do estudo. Em seguida foram calculados a frequência de grupos, as riquezas média e total, os índices ecológicos para a

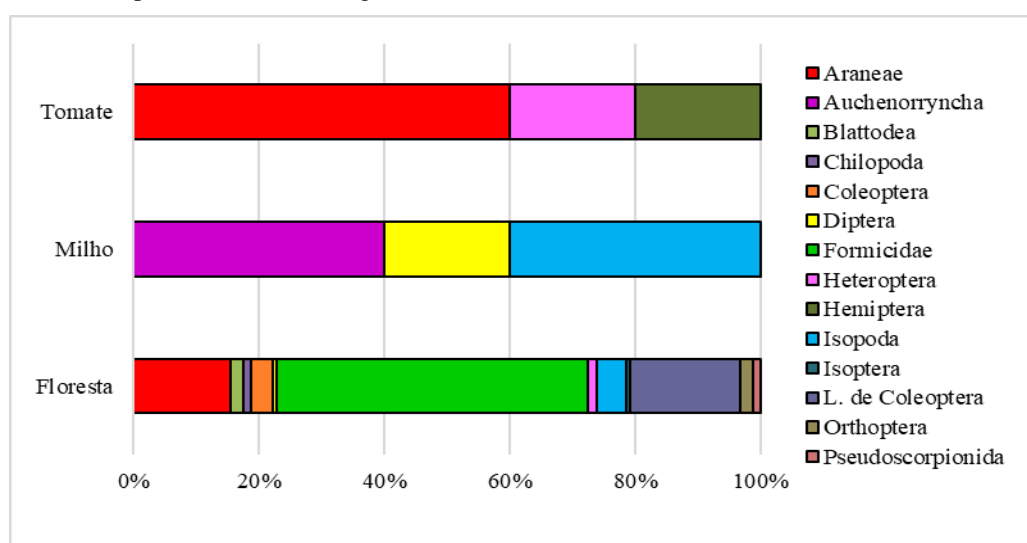
comparação das comunidades da macrofauna, sendo o índice de diversidade de Shannon ($H = -\sum p_i \cdot \log p_i$, onde $p_i = n_i/N$, n_i = densidade de cada grupo, $N = S$ da densidade de todos os grupos), índice de equitabilidade de Pielou: $e = H/\log R$, em que: R = riqueza, representada pelo número de grupos taxonômicos. Adicionalmente, os dados foram analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado, e foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk & Bartlett. Em seguida foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA). Por fim, foi realizada uma análise não paramétrica, análise de componentes principais (PCA) para a verificação da distribuição dos grupos da macrofauna invertebrada da serapilheira nas diferentes áreas, por meio do software R (RStudio, 2023).

3. Resultados e Discussão

Quanto à frequência relativa da macrofauna invertebrada presente na serapilheira, verificou-se baixa frequência de organismos nas áreas de cultivo (Figura 2). Na área com cultivo de tomate, foi observada apenas a presença dos grupos Araneae, Heteroptera e Hemiptera. Enquanto na área com cultivo de milho, verificou-se os grupos Auchenorrhyncha, Diptera e Isopoda. Em relação a área de floresta, observou-se maior frequência de grupos da macrofauna, com predomínio dos grupos Formicidae, Larva de Coleoptera e Araneae (Figura 2).

A baixa frequência de organismos nas áreas cultivadas pode indicar que o manejo adotado nessas áreas está promovendo alterações quantitativas e qualitativas na comunidade de invertebrados epígeos. Fato que indica a necessidade de um manejo com o emprego de um maior número de práticas conservacionistas visando uma maior cobertura do solo com resíduos vegetais, de forma a promover uma maior diversidade de indivíduos da fauna. Diversos autores têm mostrado que o manejo com cobertura do solo promove a maior frequência e diversidade de grupos da fauna invertebrada tanto na serapilheira, quanto no solo (Coelho et al., 2021, Lima et al., 2021, Ribeiro Neto et al., 2024).

Figura 2 - Frequência relativa (%) dos grupos da macrofauna invertebrada da serapilheira, nas áreas de cultivo de tomate, milho e floresta, no município de Sumidouro, região Serrana do Rio de Janeiro.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação à densidade e riqueza de indivíduos presentes na serapilheira (Tabela 1), verificou-se que as áreas de cultivo não diferiram entre si, sendo nessas observados os menores valores, enquanto na área de floresta foram registrados os maiores valores, tanto de densidade, como de riqueza. No que se refere ao índice de diversidade de Shannon, entre as áreas de cultivo (Tabela 1), na área de milho foi observado o melhor valor em relação à área de tomate. Enquanto na área de floresta foi observado o melhor índice de diversidade. Esses valores podem indicar que o manejo adotado nas áreas de cultivo não está promovendo boas condições para o desenvolvimento da comunidade invertebrada da serapilheira, visto que houve uma acentuada redução da riqueza de indivíduos quando comparada com a área de floresta. Resultados semelhantes foram observados por Santos et al. (2024) em área com usos de agrotóxico comparativamente à floresta.

Tabela 1 - Densidade, riqueza e índices ecológicos da macrofauna invertebrada da serapilheira nas áreas de cultivo de tomate, milho e floresta, no município de Sumidouro, região Serrana do Rio de Janeiro.

Áreas	Indivíduos.m ⁻²	Erro Padrão	Riqueza Total	Shannon	Pielou
Tomate	16,00	10,32	3	1,37	0,86
Milho	16,00	16,00	3	1,52	0,96
Floresta	483,20*	253,17	14*	2,39	0,63

Valores seguidos de asterisco (*) diferem dos demais na mesma coluna de acordo com o teste de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores.

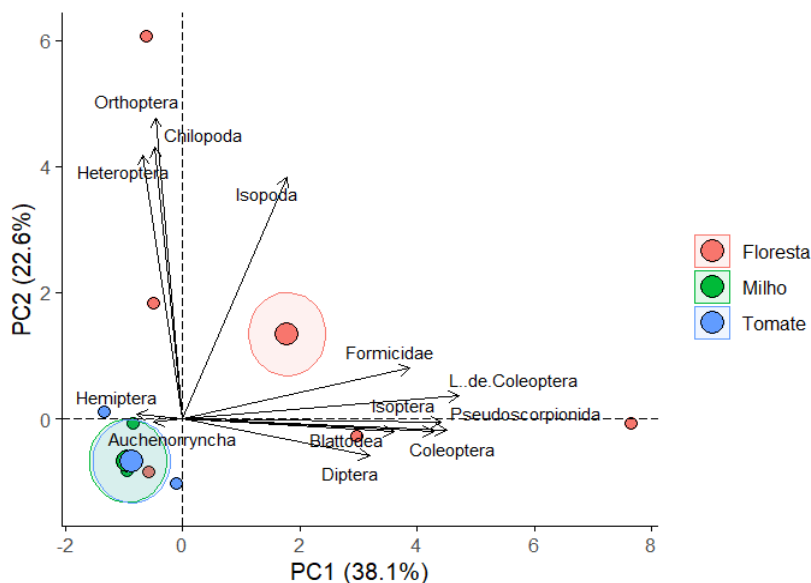
Quanto aos valores de Pielou, que indica o equilíbrio da diversidade e equitabilidade dos indivíduos na área, observou-se valores variando de 0,86 a 0,96 nas áreas de cultivo de tomate e milho respectivamente, enquanto na área de floresta observou um valor inferior. Porém, esses valores mais altos em ambas as áreas de cultivo são resultado da baixa densidade de organismos presentes nos sistemas, enquanto na área de floresta a densidade de indivíduos foi mais alta, influenciando na redução da equitabilidade. Por outro lado, o baixo índice de Pielou na área de floresta está diretamente relacionado à maior ocorrência do grupo Formicidae (Figura 2). Esse grupo foi comumente observado em maior densidade em diversos agroecossistemas (Coelho et al., 2021, Lima et al., 2021, Ribeiro Neto et al., 2024, Santos et al., 2024). O grupo Formicidae apresenta um papel essencial no ambiente, atuando na fragmentação dos resíduos vegetais, além de apresentar forte interação com outros organismos do solo, desenvolvendo atividades essenciais na decomposição do material vegetal, ciclagem de nutrientes e agregação do solo (Lavelle et al., 2020, Lima et al., 2021, Morlue et al., 2021).

Em estudo realizado por Silva et al. (2021) os maiores valores de diversidade, equitabilidade, riqueza e densidade foram observadas em área de floresta. A maior densidade de organismos na área de floresta pode estar relacionada com a maior diversidade da cobertura vegetal, refletindo em uma maior heterogeneidade de nichos ecológicos. Porém, é importante destacar que sistemas com manejos mais conservacionistas, sem revolvimento ou utilização de agrotóxicos, podem promover valores de densidade e diversidade semelhantes ou melhores, quando comparados a áreas de floresta como verificado por Matos et al. (2020).

De acordo com a análise de componentes principais (PCA) referente aos organismos presentes na serapilheira, a soma dos eixos 1 e 2 explicou 60,7% da variabilidade total, sendo que a PC1 explicou 38,1 % e a PC2 22,6 % (Figura 4). Verifica-se

a nítida separação dos grupos de organismos das áreas de cultivo agrícola da área de floresta, destacando-se os grupos com maiores densidades na área de floresta.

Figura 3 - Análise de componentes principais dos organismos presentes na serapilheira nas áreas de tomate, milho e floresta, no município de Sumidouro, região Serrana do Rio de Janeiro.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação às áreas de cultivo, observou-se uma baixa densidade e diversidade de organismos. Esse fato pode estar relacionado ao manejo adotado nessas áreas, uma vez que foram submetidas ao uso de agrotóxico e manejo convencional. Tendo em vista a sensibilidade dos organismos às intervenções no ambiente, estudos como de Coimbra et al. (2007) e Mussury et al. (2002) também verificaram a redução desses, em áreas com cultivo convencional, sendo observado um maior número de organismos em áreas com manejo orgânico em pomar, bem como em pastagens sem uso de agrotóxicos. Avaliando áreas com cultivo de cana-de-açúcar submetido ao manejo com agrotóxico, Santos et al. (2024) verificaram resultados semelhantes aos observados nesse estudo, sendo observada uma redução acentuada da diversidade de organismos nas áreas de monocultivo em relação à área de floresta.

Para os grupos Pseudoscorpionida, Coleoptera, Larva de Coleoptera e Formicidae observou-se um agrupamento por terem sido verificados apenas na área de floresta, contribuindo com altos valores de densidade nesta área. Entre esses, os grupos Larva de Coleoptera e Formicidae são considerados por alguns autores como “engenheiros do ecossistema” por participarem de processos de fragmentação decomposição de resíduos vegetais (Formicidae), além de atuarem na movimentação de partículas do solo, ajudando na aeração (Lavelle, 1996, Brown et al., 2015).

4. Conclusão

O sistema de manejo do solo, com cultivo convencional e utilização de agrotóxico, influenciou a comunidade de organismos da macrofauna da serapilheira, de forma negativa, podendo resultar em outros problemas nos sistemas, considerando a importância dessa comunidade para a manutenção da saúde do solo.

Referências

- Alvarenga, R. C., Cabezas, W. A. L., Cruz, J. C. & Santana, D. P. (2001). Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em periódico indexado* (ALICE).
- Arrazola-Vasquez, E., Larsbo, M., Capowicz, Y., Taylor, A., Sandin, M., Iseskog, D. & Keller, T. (2022). Earthworm burrowing modes and rates depend on earthworm species and soil mechanical strength. *Apl. Solo Eco.* 178, 104568.
- Assefa, F., Elias, E., Soromessa, T. & Ayele, G. T. (2020). Efeito das mudanças nas práticas de gestão do uso da terra nas propriedades físico-químicas do solo na bacia hidrográfica de Kabe, Etiópia, *Air Soil. Água Res.* 13. <https://doi.org/10.1177/1178622120939587>
- Balin, N. M., Bianchini, C., Ziech, A. R. D., Luchese, A. V., Alves, M. V. & Conceição, P. C. (2017). Fauna edáfica sob diferentes sistemas de manejo do solo para produção de cucurbitáceas. *Scientia Agraria*, 18(3), 74-84.
- 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., Antonioli, Z. I., Decaens, P. M., Lavelle, P. M., Souza, J. P. & Carvalho, F. (2015). Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico* (ALICE).
- Cardozo, S. V., Pereira, M. G., Ravelli, A. & Loss, A. (2008). Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(3), 515-527.
- Coelho, V. O., Ribeiro Neto, A., Anhô, A. C. B. M., Lima, S. S., Vieira, D. M. S., Perda, A. & Torres, J. L. R. (2021). Macrofauna do solo como bioindicador da qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S.l.] 6, e54210616118. Doi: 10.33448/rsd-v10i6.16118.
- Coimbra, J. L. M., Santos, J. C. P., Alves, M. V. & Barzotto, I. (2007). Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. *Revista Ceres*, 54(313), 271-277.
- Craig, M., Gryer, K., Beidler, K., Brzostek, E., Frey, S., Grandy, A., Liang, C. & Phillips, R. (2022). Rapidly decomposing litter increases soil carbon in temperate forests, but not through microbial physiological traits. *Nat. Commun.* 13: 1229.
- Dantas, M. E., Shinzato, E., Medina, A. I. M., Silva, C. R., Pimentel, J., Lumberas, J. F. & Calderano, S. B. (2001). *Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro*. CPRM, Brasília.
- Gazola, C. V., Lopes, F. H. A., Prates, T. X., Carvalho, J. P. & Silva, R. A. (2017). Benefícios das plantas de cobertura e plantio direto em sistemas de agricultura orgânica regenerativa—uma visão geral. *Revista Conexão Eletrônica*, 14(1), 474-484.
- Grisel, P. & Assis, R. L. (2020). Condicionantes agroeconômicos para adoção de práticas sustentáveis em ambientes de montanha em Nova Friburgo (RJ). *Nativa*, 8(5), 687-697.
- Ferreira, C. R., Guedes, J. N., Rosset, J. S., Anjos, L. H. C. & Pereira, M. G. (2019). Diversidade da macrofauna edáfica em áreas manejadas sob plantio direto em diferentes períodos. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(2), 599-610. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p599>
- Ferreira, C. S., Lima, S. S., Sampaio, I. U. M., Ramos, A. P., Coelho, I. S. & Pereira, M. G. (2023). Agricultura em Ambiente de Montanha. In: *Economia Ecológica, território e desenvolvimento sustentável: perspectivas e desafios* - Volume 3.1 ed.: Editora Científica Digital, 162-179.
- IBGE. (2023). Explica - pib. <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>
- Kong, J., He, Z., Chen, L., Zhang, S., Yang, R. & Du, J. (2022). Variabilidade de elevação em e controles sobre a sensibilidade à temperatura da decomposição da matéria orgânica do solo em florestas alpinas. *Ecosfera* 13 (4), e4010.
- Köppen W. (1948). Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México. *Fondo Cult. Econ.* 479p.
- Lavelle, P. (1996). Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3-16.
- Lavelle, P., Spain, A., Fonte, S., Bedano, J. C., Blanchart, E., Galindo, V., Grimaldi, M., Jimenez, J. J., Velasquez, E. & Zangerle, A. (2020). Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica*, 105:103561. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561>.
- Lima, S. S., Aquino, A. M., Silva, R. M., Matos, P. S. & Pereira, M. G. (2021). Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45: e0200156. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200156>
- Lima, S. S., Benazzi, E. S., Oliveira, N. C. R. & Leite, L. F. C. (2019). Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. *Revista Agrária*, 12(45), 328-337, <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i45.8975>.
- Lima, C. S., Dalzochio, M. S., Silva, E. F. & Périco, E. (2020). Macrofauna edáfica e sua relação com sazonalidade em sistema de uso do solo, bioma cerrado. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(2), 1-13. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0001>
- Lopes, J. F. B., Andrade, E. M., Lobato, F. A. O., Palácios, H. A. Q. & Arraes, F. D. D. (2009). Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. *Revista Agroambiente Online* 3:72-79.
- Mariappan, S., Hartley, I. P., Cressey, E. L., Dungait, J. A. J. & Quine, T. A. (2022). Enterro no solo reduz a decomposição e compensa as perdas de carbono do solo induzidas pela erosão no Himalaia indiano. *Globo. Alterar Biol.* 28, 1643-1658. <https://doi.org/10.1111/gcb.15987>.

- Matos, P. S., Fonte, S. J., Lima, S. S., Pereira, M. G., Kelly, C., Damian, J. M., Fontes, M. A., Chaer, G. M., Brasil, F. C. & Zonta, E. (2020). Linkages among soil properties and litter quality in agroforestry systems of southeastern Brazil. *Sustainability*, 12: 2-22. <https://doi.org/10.3390/su12229752>
- Moreira, F. M. S., Cares, J. E., Zanetti, R. & Sturmer, S. L. (2013). *O Ecossistema Solo: Componentes, Relações Ecológicas e Efeitos na Produção Vegetal*. UFLA, Lavras-MG.
- Moreira, J. F. (2010). *Fauna do solo como bioindicador no processo de revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trometas - PA*. Seropédica, RJ.
- Morlue, B., Kamau, S., Ayuke, F. O. & Kironchi, G. (2021) Land use change, but not soil macrofauna, affects soil aggregates and aggregate-associated C content in central highlands of Kenya. *J Soils Sediments*, 21: 1360-1370. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02895-1>
- Mussury, R. M., Scalon, S. D. P. Q., Silva, S. V. D. & Soligo, V. R. (2002). Study of Acari and Collembola populations in four cultivation systems in Dourados-MS. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45, 257-264.
- Pes, L. Z. & Arenhardt, M. H. (2015) *Solos*. Santa Maria: UFSM, Colégio Politécnico: Rede e-Tec Brasil.
- Pereira, M. G., Cabreira, W. V., Lima, S. S., Rocha, J. E., Santos, R. N. & Silva, R. G. (2018). *Manual de coleta e identificação da fauna edáfica*. Agência Brasileira do ISBN. Seropédica, 44p.
- Pereira, M. G., Fontana, A., Ribeiro, J. C., Silva Neto, E. C. & Junior, C. R. P. (2022). *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, 61. Embrapa.
- Prescott, C. E. & Vesterdal, L. (2021). Decomposition and transformations along the litter-to-soil organic matter continuum in forest soils. *F. Eco. Gerenciar*. 498: 119522.
- R Development Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria.
- Ribeiro Neto, Á., Lima, S. S., Thurler, R. T., Vieira, D. M. S., Loss, A., Sampaio, I. U. M., Coelho, V. O. & Torres, J. L. R. (2024). Edaphic Macrofauna in Areas Cultivated with Irrigated Brassica Under No-Tillage System. *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 18(4), e04654. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-024>
- Rodrigues, J. A., Libonati, R., Peres, L. F. & Setzer, A. (2018). Mapeamento de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro Utilizando o Satélite Landsat-8 Durante a Seca de 2014. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41: 318-327. <http://dx.doi.org/10.11137/20181318327>
- Santana, J. S., Lima, E. F., Komatsu, R. S., Silva, W. A. & Ribeiro, M. I. D. (2018). Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. *Enciclopédia biosfera*, 15(27), 22-42.
- Santos, H. G, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbriera, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B. & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5 ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 356 p.
- Santos, E. F., Lima, S. S., Ferreira, C. S., Santos, M. S. & Silva, K. L. F. (2024). O impacto do manejo da cana-de-açúcar com controle químico e biológico sobre a fauna epigea. *RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 17 (2).
- Silva, A. B. & Patron, F. (2024). Entre terra e trabalho: investigação da história da agricultura familiar nas montanhas de Nova Friburgo, Rio de Janeiro. *Revista Tópicos*. Doi: 10.5281/zenodo.10655082
- Silva, R. M., Silva, R. M., Lima, S. S., Souza, J. R. M., Souza, J. K. M., Ribeiro, G. T. & Chaer, G. (2021). M Soil macrofauna as a bioindicator of soil quality in successional agroforestry systems. *Research, Society and Development*, 10(10), e580101019144-e580101019144.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Univ of California Press.
- Vidal, A., Blouin, M., Lubbers, I., Capowiez, Y., Sanchez-Hernandez, J., Calogiuri, T. & Van-Groenigen, J. (2023). The role of earthworms in agronomy: consensus, new insights and remaining challenges. *Av. Agro*. 181, 1-78. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2023.05.001>