

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE  
DOURADOS FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**ENTOMOFAUNA EPIGEICA NO CONJUNTO SERRAPILHEIRA-SOLO  
COMO BIOINDICADORA DE MANEJO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E  
VARIÇÕES CLIMÁTICAS**

DANIEL RODRIGUES MANZATO

KARINE GONSALES MOUASSAB

Dourados, MS

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE  
DOURADOS FACULDADE DE CIÊNCIAS**

DANIEL RODRIGUES MANZATO

KARINE GONSALES MOUASSAB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados, como  
parte das exigências do Curso de Bacharelado em  
Agronomia, para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Dourados, MS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M296e Manzato, Daniel Rodrigues  
ENTOMOFAUNA EPIGEICA NO CONJUNTO SERRAPILHEIRA-SOLO COMO  
BIOINDICADORA DE MANEJO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E VARIAÇÕES CLIMÁTICAS  
[recurso eletrônico] / Daniel Rodrigues Manzato, Karine Gonsales Mouassab. -- 2024.  
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: . Cleberton Correia Santos .  
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. qualidade do solo. 2. bioindicadores. 3. índices ecológicos. 4. micro-habitat. 5. Shan. I.  
Gonsales Mouassab, Karine. II. Santos, . Cleberton Correia. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

ENTOMOFAUNA EPIGEICA NO CONJUNTO SERRAPILHEIRA-SOLO COMO  
BIOINDICADORA DE MANEJO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E VARIAÇÕES  
CLIMÁTICAS

Por

Daniel Rodrigues Manzato

Karine Gonsales Mouassab

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 22 de Novembro de 2024

Documento assinado digitalmente  
 **CLEBERTON CORREIA SANTOS**  
Data: 06/12/2024 00:02:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos  
Orientador – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente  
 **ELISSANDRA PACITO TORALES**  
Data: 06/12/2024 18:08:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Elissandra Pacito Torales  
Membro da banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente  
 **JULIANA MILENE SILVERIO**  
Data: 06/12/2024 15:06:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Me. Juliana Milene Silverio  
Membro da banca – UFGD/FCA

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por tudo que ele me proporcionou ao longo da minha caminhada tanto dentro como fora da universidade, por cuidar sempre de mim e da minha família para que eu pudesse estar bem emocionalmente para lidar com todas as preocupações da faculdade.

Quero agradecer imensamente a minha família, minha mãe Lucineide Sanches Rodrigues e meu irmão Douglas Rodrigues Manzato por todo apoio tanto emocional, quanto financeiro e por nunca terem medido esforços para me ajudar a caminhar, crescer e conquistar meus sonhos, não só no período acadêmico, como em toda minha vida.

Também gostaria de agradecer a todos os demais membros da minha família que de alguma forma influenciaram na minha caminhada de vida e formação.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, que desde o início sempre se mostrou disponível, paciente, atencioso e empenhado em nos ensinar e transmitir seus conhecimentos da melhor forma possível.

A minha amiga conquistada dentro da universidade Karine Gonsales Mouassab, pela amizade, companheirismo e por sempre estar ao meu lado durante toda a caminhada acadêmica.

A todos os amigos que conquistei durante a graduação, principalmente Gustavo Coelho Arantes, que também esteve sempre ao meu lado tornando este período de formação mais alegre, leve e tranquilo e a todos os membros da terra fértil, pelo auxílio no desenvolvimento das atividades desenvolvidas na universidade.

Daniel Rodrigues Manzato

## **Entomofauna epigeica no conjunto serrapilheira-solo como bioindicadora de manejo em sistemas agrícolas e variações climáticas**

### **RESUMO**

Os organismos representantes da entomofauna invertebrada epigeica são extremamente sensíveis a alterações de manejo e condições climáticas e podem ser considerados como bioindicadores de qualidade de manejo. Objetivamos conhecer a dinâmica da entomofauna epigeica em diferentes sistemas agrícolas e variações climáticas. A amostragem da fauna invertebrada epigeica foi realizada utilizando armadilhas de queda “*pitfall*” em quatro sistemas agrícolas: a) sistema agroflorestal, b) consórcio de espécies frutíferas nativas, c) pomar de maracujazeiro, d) cultivo de moringa, além de um fragmento florestal referencial (e), em dois períodos: outono e verão. Os organismos coletados foram classificados em categoria de Ordem, Classe ou Família, determinando a frequência relativa, abundância, riqueza, serrapilheira e os índices ecológicos de diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e Índice de Pielou ( $e$ ). Foram capturados 3.049 e 3.789 organismos no outono e verão, respectivamente. Em geral, o volume de serrapilheira foi maior no período de verão, especialmente no SAF e moringa, indicando maior deposição de material vegetal, consequentemente atribuindo um solo de maior qualidade devido ao acúmulo de matéria orgânica e proteção, além de micro-habitat e fonte alimentar para os organismos epigeicos. Os grupos com maior frequência foram os Collembola e Formicidae, no período de outono, especialmente na moringa. No verão, os Formicidae foram predominantes em todos os sistemas, especialmente no sistema agroflorestal e no pomar de maracujazeiro, com variações entre os outros grupos. Os maiores valores do índice de diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) ocorreram no sistema Moringa durante o verão, seguido pelo sistema de plantas nativas. No período de outono, o sistema maracujazeiro apresentou o maior valor de  $H'$ . A entomofauna invertebrada epigeica demonstrou que os sistemas agrícolas são sustentáveis, sendo bioindicadores de qualidade de manejo do solo desses agroecossistemas.

**Palavras-chave:** qualidade do solo, bioindicadores, índices ecológicos, micro-habitat, Shan

## **Abstract**

The epigeic invertebrate entomofauna is highly sensitive to management practices and climatic conditions, serving as bioindicators of soil quality. This study aimed to analyze the dynamics of epigeic entomofauna across different agricultural systems and environmental variations. Sampling was conducted using pitfall traps in five systems: a) agroforestry system, b) native fruit species consortium, c) passion fruit orchard, d) moringa cultivation, and e) a reference forest fragment, during two seasons: autumn and summer. The collected organisms were classified into taxonomic groups (Order, Class, or Family) and analyzed for relative frequency, abundance, richness, litter accumulation, and ecological indices, including Shannon-Weaver ( $H'$ ) and Pielou ( $e$ ). A total of 3,049 and 3,789 organisms were captured in autumn and summer, respectively. Litter volume was higher in summer, particularly in agroforestry and moringa systems, suggesting enhanced soil quality through increased organic matter and habitat provision. Collembola and Formicidae were the dominant groups in autumn, with Formicidae prevailing across all systems in summer. The highest Shannon-Weaver diversity indices ( $H'$ ) were recorded in the moringa system during summer, followed by the native species consortium. The findings highlight that epigeic invertebrates are effective bioindicators, demonstrating the sustainability and soil quality of these agroecosystems.

**Keywords:** soil quality, bioindicators, ecological indices, microhabitat, Shannon-Weaver index.

non-Weaver.

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Sistemas e períodos de avaliação.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Acúmulo de serapilheira.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Amostragem da fauna invertebrada epigeica.....</b>	<b>8</b>
<b>2.5. Indicadores ecológicos.....</b>	<b>9</b>
<b>2.6. Análise de dados.....</b>	<b>9</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da dinâmica da diversidade biológica no solo é fundamental para a construção de sistemas agrícolas sustentáveis, sendo variável aos manejos e espécies presentes nessas áreas (BACH et al., 2020). Na última década as pautas de discussão dos objetivos sustentáveis têm aumentado e o uso dos recursos naturais renováveis de maneira intensiva ou inapropriada tem ocasionado a redução nos padrões de serviços ecossistêmicos, aumentando a magnitude de degradação (SILVA et al., 2021), um processo que, em certos cenários, pode ser irreversível (SOBUCKI et al., 2019).

O impacto dos manejos Sistema Agroflorestal (SAF), Consórcio de Espécies Frutíferas Nativas (Na), Pomar de Maracujazeiro (Ma), Cultivo de Moringa (Mo), Fragmento Florestal Referencial (FF), reflete em alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, incluindo a diminuição dos níveis de nutrientes e matéria orgânica (GÓES et al., 2021) e os organismos no solo são imprescindíveis, pois participam da decomposição de materiais orgânicos por serem detritívoros ou outras funções bioecológicas (BACK et al., 2024).

Os organismos do solo presentes da entomofauna invertebrada epigeica também conhecidas como “engenheiros do ecossistema” são utilizados como bioindicadores de manejo e qualidade do solo em sistemas agrícolas ou naturais (SILVA et al., 2021), pois são extremamente sensíveis a qualquer alteração ambiental.

Um indicador de qualidade eficaz é aquela propriedade ou função, devendo estar associada aos processos relacionados com a transformação do solo, resultantes das práticas agrícolas implementadas no sistema agrícola (PESSOTO et al., 2020). Os indicadores biológicos epigeicos são organismos vivos que habitam a camada superficial do solo e na serrapilheira, englobando uma ampla variedade de espécies que desempenham diversas e complexas funções nesse ambiente (SILVA et al., 2021), por serem altamente funcionais e sensíveis, esses indicadores biológicos conseguem identificar mudanças resultantes do manejo do solo (SILVA et al., 2021). Os indicadores biológicos são mais sensíveis do que os indicadores químicos e físicos para identificar precocemente as alterações que ocorrem no solo devido ao seu uso e manejo (COSTA et al., 2021).

Os organismos que habitam o solo desempenham um papel crucial, Pois são decompositores de matéria orgânica, uma vez que a taxa de decomposição da serapilheira influencia diretamente os níveis de ciclagem de nutrientes, o que por sua vez indica a qualidade do solo (GUIMARÃES et al., 2021). A composição da comunidade da fauna de invertebrados do solo varia de acordo com o tipo e a qualidade da cobertura vegetal presente, o que influencia em condições ideais, tais como temperatura, umidade e disponibilidade de alimentos (GÓES et al., 2021). Além disso, a dinâmica dos organismos do solo é variável com as condições climáticas, especialmente térmicas e pluviométricas, influenciando os recursos alimentícios e micro-habitat. Os sistemas agrícolas abordados neste trabalho representam diferentes práticas de manejo e contextos produtivos, visando compreender suas influências na dinâmica da entomofauna epigeica e na qualidade do solo. O sistema agroflorestal combina espécies arbóreas e culturas agrícolas, promovendo a biodiversidade e a sustentabilidade por meio de práticas como adubação orgânica e uso de cobertura vegetal. O consórcio de espécies frutíferas nativas se destaca pelo manejo agroecológico, com foco na conservação do solo e no uso de resíduos vegetais. O pomar de maracujazeiro apresenta um modelo intensivo, com preparo do solo utilizando adubos verdes para melhorar sua fertilidade. Já o cultivo de moringa inclui práticas de poda e manejo simplificado, enquanto o fragmento florestal referencial serve como padrão de condição natural, permitindo a comparação dos sistemas manejados com um ecossistema nativo. Esses cenários possibilitam avaliar como as práticas agrícolas influenciam os indicadores biológicos e ecológicos do solo.

Portanto, é crucial adotar práticas de manejo do solo que levem em conta sua complexidade e restrições. Essas práticas devem visar a sua regeneração e criar condições para que possa ser utilizado pelas futuras gerações, uma vez que o solo pode se tornar um recurso finito se não for manejado de maneira adequada (SILVA et al., 2021). Essas práticas podem ajudar na avaliação de impactos e no desenvolvimento de estratégias de manejo do solo (COSTA et al., 2021). O monitoramento de bioindicadores, como a fauna do solo, é um método fundamental nas estratégias para promover práticas sustentáveis (BACK et al., 2024).

Considerando o papel dos organismos do solo e suas interações ecológicas e a dinâmica dos sistemas agrícolas em relação aos diferentes métodos de manejo aplicados, hipotetizamos que (i) os manejos e espécies nos sistemas agrícolas

influenciam a dinâmica da fauna invertebrada epigeica e que (ii) essas respostas de indicadores ecológicos são variáveis aos períodos de coleta em função de diferentes condições ambientais. Assim, objetivamos conhecer a dinâmica da entomofauna epigeica em diferentes sistemas agrícolas e variações climáticas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado no período de maio de 2022 a dezembro de 2023 em diferentes sistemas agrícolas localizados no município de Dourados, Mato Grosso do Sul (latitude 22° 13' 16" S Longitude 54° 48' 20" W), Brasil. O clima na região de Dourados é caracterizado como clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos (FIETZ et al., 2008), no qual Dourados apresenta períodos com baixa e alta precipitação pluviométrica. As temperaturas no município de Dourados se dividem em dois períodos com valores médios acima de 20 °C (agosto a abril), a temperatura na região atinge seu pico nos meses de dezembro e janeiro. Já com valores abaixo desse índice (maio a julho), as temperaturas mais baixas são registradas em julho e junho (FIETZ et., 2008).

### **2.2. Sistemas e períodos de avaliação**

A amostragem da fauna invertebrada epigeica foi realizada em cinco sistemas agrícolas: a) sistema agroflorestal, b) consórcio de espécies frutíferas nativas, c) pomar de

maracujazeiro, d) cultivo de moringa e, fragmento florestal referencial (e) (Figura 1 e 3), cuja caracterizações encontram-se abaixo.

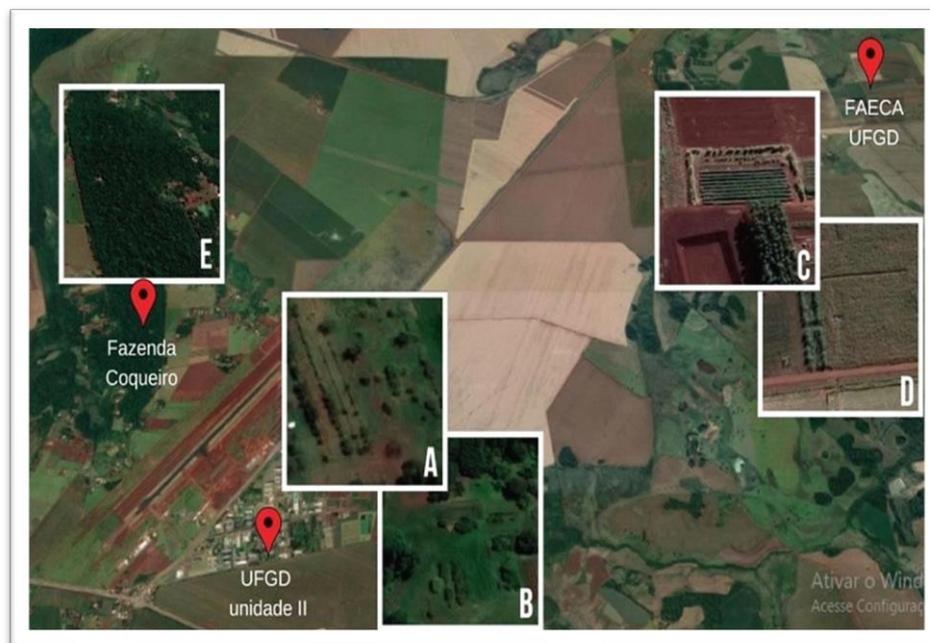


FIGURA 1. A) sistema agroflorestal; B) consórcio de espécies frutíferas nativas; C) pomar de Maracujazeiro; D) cultivo de moringa; E) fragmento florestal referencial em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

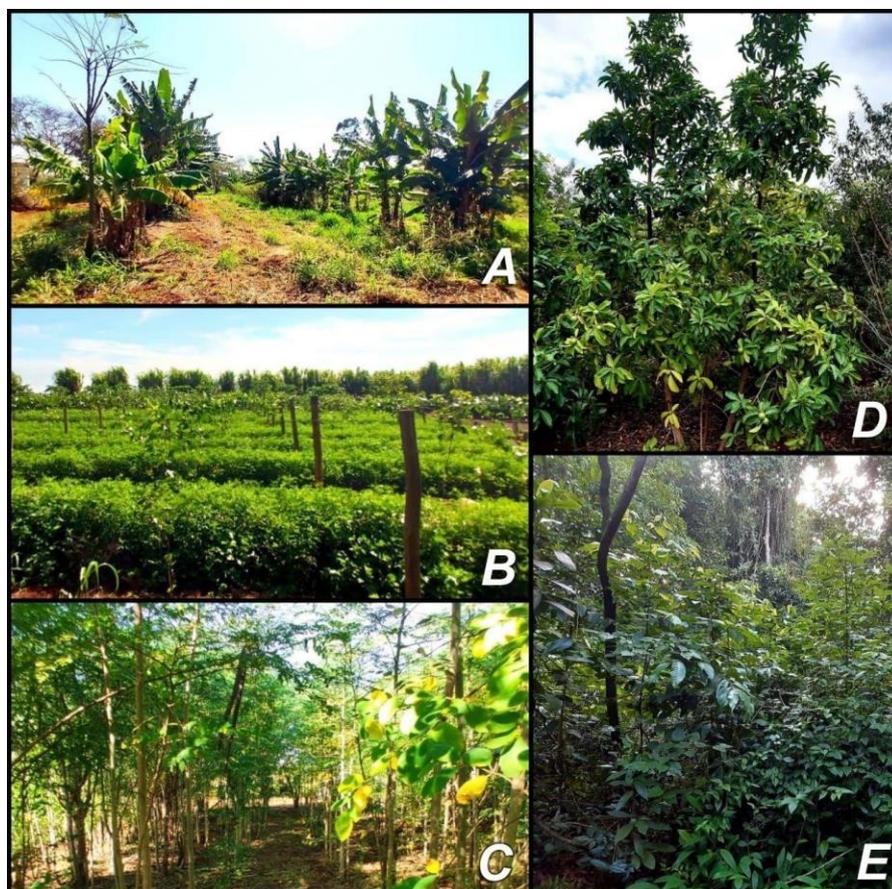


FIGURA 2. A) sistema agroflorestal; B) pomar de maracujazeiro; C) cultivo Moringa; D) consórcio de espécies frutíferas nativas e E) fragmento florestal referencial. Fonte: os autores

A) Sistema Agroflorestal – SAF (22°11'43.5"S e 54°56'12.7"W): área localizada na Faculdade de Ciências Agrárias, da UFGD, sendo constituída de área com 0,16 ha. O sistema foi implantado em 22 de agosto de 2019. Em 19/12/2019 realizou-se a implantação do sistema de irrigação por aspersão no local tendo uma roçada e capina inicial. Houve também uma gradagem e aplicação de calcário incorporado (1 t ha) para o preparo da área, utilizando posteriormente esterco bovino e cobertura seca, como palha de capim, tendo o mesmo sistema de irrigação retirado em 07/04/2020. As mudas utilizadas no transplante foram de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), ipê (*Handroanthus* spp.), limão taiti (*Citrus latifolia*), embaúba (*Cecropia* spp.), laranja (*Citrus sinensis*) entre outros, doadas pelo Instituto do Meio Ambiente (IMAM) de Dourados e pelo Horto de plantas medicinais da UFGD. Após a instalação do SAF, uma vez por semana, pessoas interessadas em colaborar na mão de obra, se disponibilizam a realizar o manejo da área, como poda de plantas, roçada, supressão de plantas daninhas, monitoramento de doenças e insetos-praga, semeadura e plantio de mudas. Em 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou pandemia de coronavírus, o que resultou na interrupção do sistema agroflorestal da faculdade e nos cuidados realizados pelas pessoas envolvidas. Essa situação trouxe desafios significativos, afetando as atividades e o manejo do sistema.

B) Consórcio de duas espécies frutíferas e nativas – Na (22°11'42.6"S e 54°56'07.9"W): implantadas em 2015/16, na qual as espécies foram a *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. e *Allophylus edulis* (A.St.-Hil., A. Juss. & Amp. Cambess.) Hieron. ex Niederl., são cultivadas sob manejo agroecológico no Horto de Plantas Medicinais da UFGD. Aos 15 dias após o corte dos adubos verdes, as mudas das duas espécies foram transplantadas para o local definitivo, ao apresentarem média de altura de 7 cm e 8 cm, respectivamente. Os espaçamentos utilizados foram de 1,00 m entre linhas e 0,60 m entre plantas para ambas as espécies. Desde 2020 não é feita capina, deixando os resíduos das folhas das duas espécies sobre o solo.

C) Pomar de maracujazeiro – Ma (22°13'56.6"S e 54°59'20.6"W): na área de 600 m<sup>2</sup> mantida pelos alunos do mestrado da Universidade Federal da Grande Dourados. Em 24/03/2022, a área destinada ao Maracujazeiro era inicialmente composta por crotalária,

que foi utilizada para o preparo do solo. Esse cultivo anterior teve como objetivo melhorar as condições do solo antes da instalação do Maracujazeiro, garantindo um ambiente mais favorável para o seu desenvolvimento. Na primeira coleta as plantas estavam em fase inicial de crescimento e entre as fileiras tinham *Crotalaria* sp., enquanto que no segundo período as plantas estavam bem desenvolvidas, apresentando maior volume e área foliar e não continha plantas de cobertura entre as fileiras dos maracujazeiros.

D) Cultivo de moringa (*Moringa oleifera* L.) – Mo (22°14'11.4"S e 54°59'22.1"W): sem dados. Não mais presente em 2024. No primeiro período de amostragem as plantas estavam bem desenvolvidas, enquanto que no segundo período, semanas antes a amostragem havia sido realizada poda das árvores e as mesmas estavam em fase de rebrota, e alguns galhos e folhas estavam sobre o solo.

E) Fragmento florestal referencial – FF (22°12'39.0"S e 54°55'09.4"W): área localizada na fazenda Coqueiro, entrada na Rodovia Dourados - Itahum MS 162, próximo à UFGD (3 km). Tem-se como um padrão referencial de condição natural uma vegetação identificada como floresta estacional semidecidual, a qual não foi feita a catalogação. De acordo com Gomes et al. (2007), essa região possui  $\cong$  54 ha.

A coleta da entomofauna invertebrada epigeica foi realizada em dois períodos, uma no período de outono (t1) e outra no verão (t2) (Figura 3). A primeira coleta foi realizada no ano de 2022, poucos meses antes do inverno, com variações significativas de temperatura e pluviosidade. A segunda coleta ocorreu entre o final de 2022 e o início de 2023, em uma estação do ano diferente da primeira coleta, durante um período chuvoso. A temperatura mínima ocorrida no período da primeira coleta foi de 8 °C no mês maio de 2022, e a máxima 22 °C, registrado em junho de 2022, com a pluviosidade em junho de 2022 com o nível abaixo de 5 mm, a temperatura máxima na segunda coleta no mês de dezembro foi 32 °C, e a mínima 16 °C, sendo a pluviosidade na segunda coleta 45 mm (EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE, 2023).

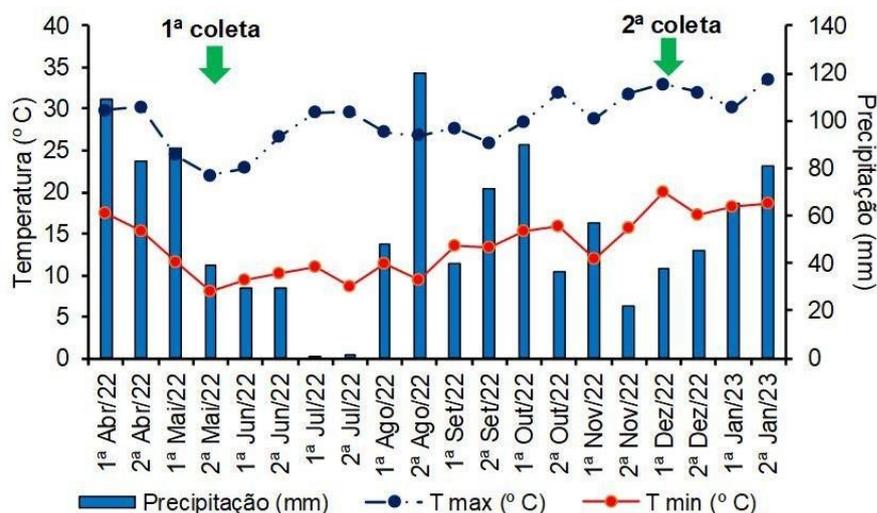


FIGURA 3. Precipitação (mm) e temperatura (T) obtidas pela Estação Meteorológica presente na Fazenda Experimental da UFGD, proveniente da Embrapa Agropecuária Oeste em período anterior e durante a coleta da fauna invertebrada epigeica.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos arranjados em esquema fatorial 5 x 2 (sistemas Agrícolas x períodos de coleta), com cinco repetições e cada unidade experimental foi constituída por um recipiente.

### 2.3. Acúmulo de serapilheira

Em cada unidade amostral foram coletadas amostras de serapilheira, de maneira abrangente, utilizando um gabarito de 25 x 25 cm, foram coletados todos os materiais vegetais presentes sobre o solo (Figura 4a), incluindo folhas, ramos e partes reprodutivas em vários estágios de decomposição. No caso de gramíneas, considerou-se serapilheira o material solto das gramíneas e depositado no solo. O material foi armazenado em sacos de papel Kraft® e submetido à secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C durante 72 horas.

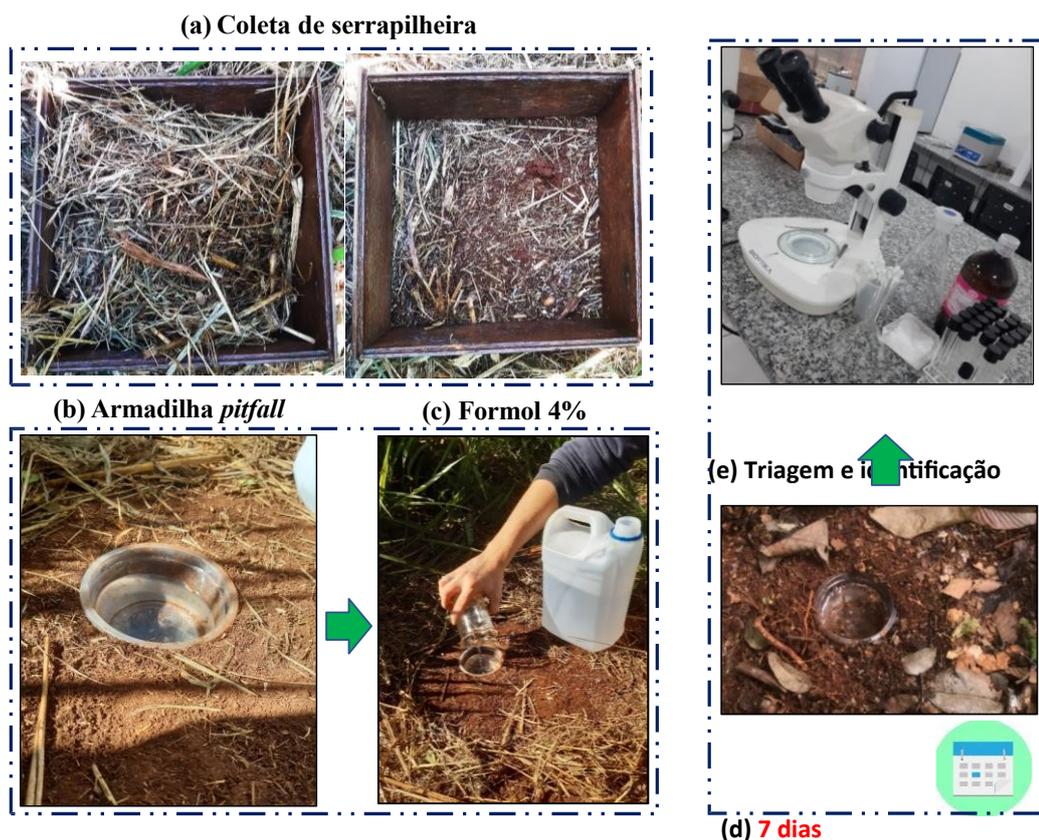


FIGURA 4. Coleta de serrapilheira (a), instalação das armadilhas de queda *pitfall* (c), adição de formol (d), retirada das armadilhas (e) e triagem de identificação da entomofauna invertebrada epigeica em diferentes sistemas agrícolas e fragmento florestal referencial. Fonte: os autores

#### 2.4. Amostragem da fauna invertebrada epigeica

Para a captura da fauna invertebrada epigeica foram utilizadas armadilhas do tipo de queda “*pitfall traps*” (GREENSLADE; GREENSLADE, 1964), no qual em cada área se instalaram cinco recipientes plásticos de 200 mL com dimensão de 15,0 x 7,5 cm (Figura 4b), preenchidos com 150 mL de solução conservante de formol a 4% (Figura 4c) e adição de três gotas de detergente neutro para reduzir a tensão superficial da solução. Os recipientes foram distribuídos com equidistância de cinco metros ao longo de um transecto, desconsiderando 2,5 m de cada lado da bordadura em todos os sistemas.

As armadilhas foram dispostas com a abertura rente ao solo para queda dos organismos, por sete dias, e após esse período foram recolhidas e transportadas até o Laboratório de Microscopia, da Faculdade de Ciências Agrárias, na UFGD para realização da triagem manual e acondicionamento dos organismos em recipientes preenchidos com álcool 70%. Os organismos da entomofauna invertebrada epigeica foram identificados utilizando estereoscópio (lupa binocular) (Figura 4f), e posterior contagem, em nível de grandes grupos taxonômicos atuantes no conjunto serrapilheira-solo. A classificação

taxonômica ocorreu em nível de Classe, Ordem ou Família (Figura 5) de acordo com Manual de Entomologia Agrícola (GALLO et al., 1998) e outros materiais de apoio.



FIGURA 5. Catalogação de algumas espécies constituintes da entomofauna invertebrada epigeica capturadas através da armadilha “*pitfall*” em diferentes sistemas agrícolas e fragmento florestal referencial. Fonte: os autores

## 2.5. Indicadores ecológicos

Os indicadores avaliados foram os seguintes: a) frequência relativa (representatividade percentual de cada grupo de organismo em relação a quantidade indivíduos em cada sistema); b) abundância: número de indivíduos por armadilha; c) riqueza: número de grupos taxonômicos; d) índice de diversidade de Shannon-Wiener, que é definido por:  $(H') = -\sum p_i \cdot \log p_i$ , em que  $p_i = n_i/N$ , onde  $n_i$  = abundância de cada grupo e  $N$  = abundância total (SHANNON; WEAVER, 1949). Também foi calculado o índice de equitabilidade de Pielou ( $e = H/\log S$ , onde  $H$  = índice de Shannon e  $S$  = número total de grupos na comunidade) (PIELOU, 1977).

## 2.6. Análise de dados

Os dados foram transformados em  $\sqrt{(x + 0,5)}$  e submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), as médias foram

comparadas pelo teste de Tukey para os diferentes sistemas e teste t de Bonferroni para épocas de coleta, todos a  $p \leq 0,05 \pm$  desvio padrão, utilizando o *software* SISVAR. Os dados de frequência relativa, índices de diversidade de Shannon-Weaver e de equitabilidade de Pielou foram apresentados de maneira descritiva, sem aplicar análise estatística.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas avaliados e as variações climáticas em função dos períodos de coleta influenciaram a dinâmica da entomofauna invertebrada epigeica e a quantidade de serrapilheira sobre o solo, confirmando nossa hipótese inicial. Os valores da riqueza e abundância bem como índices ecológicos variaram entre os sistemas, mas que em geral indicaram que os manejos são sustentáveis e contribuem na resiliência ecológica, mas que no período de verão a abundância e riqueza tende a ser mais elevada. O volume de serrapilheira sobre o solo variou significativamente entre os sistemas nas duas estações avaliadas (Figura 6).

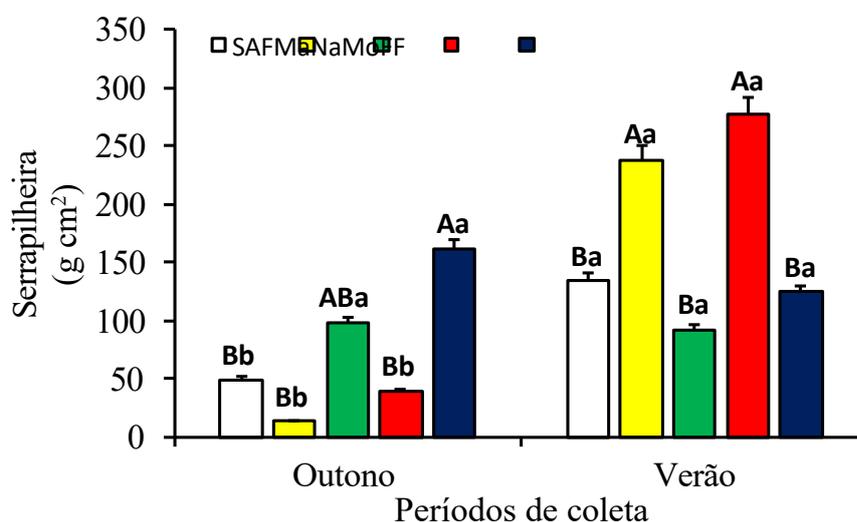


FIGURA 6. Acúmulo de serrapilheira sobre o solo em diferentes sistemas agrícolas e fragmento florestal em dois períodos de coleta. Letras maiúsculas comparam os sistemas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) e letras minúsculas comparam os períodos de coleta pelo teste t de Bonferroni ( $p \leq 0,05$ )  $\pm$  erro padrão. SAF: sistema agroflorestal, Ma: maracujazeiro, Na: Consórcio de duas espécies frutíferas e nativas, Mo: moringa e FF: fragmento florestal.

Durante o período de outono, os sistemas SAF, maracujazeiro e a moringa apresentaram menor volume de serrapilheira, diferindo estatisticamente apenas do fragmento florestal, Pode ser pelas espécies florestais que são decíduas/caducas, que perdem suas folhas no outono/inverno, acumulando material orgânico no solo. Em contrapartida, no verão, há um aumento na velocidade de decomposição. No verão os sistemas com maracujazeiro e moringa apresentaram maior acúmulo de serrapilheira,

diferindo dos demais sistemas, indicando incremento na deposição de material orgânico no solo das espécies vegetais nos sistemas. Esse aumento se deve ao fato de que nesse período as plantas de maracujazeiro estavam mais desenvolvidas, favorecendo deposição de folhas sobre o solo. Similarmente, no sistema com moringa o aumento se deve ao fato de que foi realizada uma poda das árvores, no qual folhas, galhos ficaram sobre o solo, além de maior presença de gramíneas nessa área.

O acúmulo de serrapilheira no período de outono pode ser relacionado à maior atividade biológica e decomposição acelerada das folhas e galhos das espécies encontradas nos respectivos sistemas por formarem um microclima mais favorável. Esse fenômeno é esperado, pois a umidade facilita a atividade dos decompositores e, conseqüentemente, a formação de húmus (GONÇALVES et al., 2020).

Comparativamente, o pomar de maracujazeiro e o cultivo de moringa no período de outono apresentaram menor aporte de serrapilheira, possivelmente devido à menor diversidade de espécies vegetais e à prática de manejo que pode ter interferido na cobertura do solo. Essa informação corrobora com as propostas por Passinato (2022), na qual as condições climáticas, as propriedades do solo e a vegetação exercem uma influência significativa nos padrões de deposição e decomposição da serrapilheira.

Durante o período de verão, houve aumento expressivo na produção de serrapilheira em todos os sistemas, com exceção do FF. Os sistemas com moringa e maracujazeiro destacaram-se, apresentando os maiores valores de serrapilheira ( $> 200 \text{ g cm}^2$ ) devido ao desenvolvimento das plantas de maracujazeiro e poda da moringa, resultando em acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo. Em contraste, o sistema FF apresentou os menores valores em ambos os períodos, sugerindo menor aporte de material orgânico.

O aumento da serrapilheira no período de verão pode ser explicado pela maior senescência foliar, uma estratégia de plantas para reduzir a transpiração e conservar água em condições de estresse hídrico, conforme relatado por Vogt et al. (1986) e Scurlock et al. (2002). A maior produção de serrapilheira em sistemas agroflorestais (como SAF e moringa) corrobora estudos que indicam que sistemas com maior diversidade de espécies e estrutura complexa tendem a produzir mais serrapilheira, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e melhoria das propriedades do solo (POWERS, 2020; HERNÁNDEZ et al., 2022).

No geral foram coletados 6.838 organismos, distribuídos em 3.049 e 3.789 no outono e verão, respectivamente. A frequência relativa dos grupos epigeicos variaram

entre os sistemas e períodos de avaliação (outono e verão) (Tabela 1). No outono, o grupo Collembola foi o que apresentou maior frequência em todos os sistemas, especialmente no cultivo de moringa, seguido por Formicidae, que também teve alta frequência em vários sistemas. No verão, Formicidae predominou em todos os sistemas, com destaque para o sistema agroflorestal e o pomar de maracujá; nesse mesmo período o grupo Diptera aumentou a frequência, especialmente nas nativas, moringa e FF. Em termos de frequência geral, o verão apresentou maior abundância, indicando um aumento na atividade biológica durante esse período.

TABELA 1. Frequência relativa (%) de organismos invertebrados epigeicos em diferentes sistemas de base sustentável e fragmento florestal referencial (FF).

Grupos	SAF	Maracujá	Nativas	Moringa	FF
	<b>Outono</b>				
Colembolla	48,94	59,36	67,91	71,79	69,29
Homoptera	-	-	-	-	-
Díptera	3,94	2,26	1,55	0,02	10,23
Coleoptera	6,05	2,16	5,22	3,24	7,08
Diplopoda	0,26	-	-	0,08	-
Lepidoptera	0,26	0,09	-	-	-
Aranae	1,31	0,98	0,64	0,59	0,78
Hemíptera	-	0,78	0,09	-	-
Hymenoptera	-	-	-	-	-
Isoptera	0,52	-	0,64	0,17	-
Psocoptera	1,84	0,29	0,18	0,08	-
Formicidae	32,89	31,65	23,55	16,15	11,81
Orthoptera	1,57	2,07	0,18	5,38	-
Opilionida	-	0,09	-	-	-
Chilopoda	-	-	-	-	-
Thysanoptera	2,36	-	-	-	-
Larvas	-	0,09	-	-	-
Dermaptera	-	-	-	0,17	0,78
Heteroptera	-	-	-	-	-
Lumbricidae	-	0,09	-	-	-
Diplura	-	-	-	-	-

Total de grupos	11	12	9	10	6
<b>Verão</b>					
Colembolla	19,37	24,34	22,31	29,23	10,87
Homoptera	0,13	-	-	-	-
Diptera	16,90	11,70	34,91	30,50	28,80
Coleoptera	4,16	2,34	4,75	13,55	10,87
Diplopoda	1,69	0,09	0,41	-	-
Lepidoptera	-	0,09	0,20	0,63	1,08
Aranae	2,08	1,03	1,85	0,42	3,80
Hemiptera	-	-	-	-	-
Hymenoptera	0,78	-	-	-	-
Isoptera	0,13	10,58	-	2,11	5,97
Psocoptera	0,13	-	0,20	-	-
Formicidae	49,54	48,50	34,71	20,55	35,32
Orthoptera	2,21	0,84	0,20	0,21	1,63
Chilopoda	0,26	-	-	-	-
Thysanoptera	0,91	0,18	-	0,42	-
Larvas	1,17	-	0,41	1,69	0,54
Diplura	-	-	-	0,42	-
Dermaptera	-	0,09	-	-	0,54
Gastropoda	-	-	-	0,21	-
Heteroptera	0,39	0,18	-	-	-
Lumbricidae	0,13	-	-	-	-
Symphyla	-	-	-	-	0,54
Total de grupos	16	12	10	12	11

Os maiores valores do grupo Collembola no outono se deve as maiores precipitações alguns dias antes da instalação das armadilhas nessa época, indicando maior umidade do ambiente. Essa informação é reforçada pelo fato desse grupo de organismo ser sensível a mudanças na umidade (MEDEIROS et al., 203). Durante o outono, a menor temperatura e a decomposição mais lenta favorecem a acumulação de serrapilheira, que serve como abrigo e alimento, aumentando a presença desses organismos. Os Collembola desempenham papéis essenciais como detritívoros, facilitando a decomposição da matéria

orgânica e regulando as populações de microrganismos (NUNES et al., 2018). Esse grupo serve como fonte de alimento para diversos organismos do solo, incluindo ácaros, nematoides e aranhas (ROSA et al., 2024).

As formigas são altamente adaptáveis a temperaturas mais elevadas e umidade moderada (GUIMARÃES et al., 2021). Sugerimos que o verão proporcionou condições ideais para suas atividades, incluindo forrageamento e reprodução, e há maior disponibilidade de recursos alimentares devido ao aumento de matéria orgânica em decomposição.

As formigas são essenciais para a biodiversidade, desempenhando um papel fundamental na organização das comunidades de invertebrados (GUIMARÃES et al., 2021). Elas são importantes para a avaliação ambiental devido à sua ampla distribuição, alta abundância e facilidade de coleta, além de exercerem funções ecológicas variadas nos ecossistemas (BACK et al., 2024). Formigas cortadeiras são importantes pragas na agricultura. Em sistemas agrícolas não é interessante ter no local de cultivo. Discorra sobre esse assunto.

No que se refere ao grupo Diptera, Segundo Dávila et al. (2022), ao se alimentarem de matéria orgânica em decomposição, contribuem para a reciclagem de nutrientes e a formação de húmus no solo. Assim, a ocorrência dessa ordem é fundamental para ocorrência de ciclagem de nutriente (MANUIAMA et al., 2024). Seu aumento no verão pode estar associado que esse grupo tende a prosperar em condições úmidas e quentes, que favorecem o crescimento de organismos decompositores e produção de matéria orgânica, resultando em uma abundância de recursos alimentares (BACK et al., 2024).

A entomofauna desempenha papel fundamental na manutenção da qualidade do solo, contribuindo para a fragmentação e decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (MENANDRO et al., 2019). A alta densidade de organismos na área de cultivo de moringa pode ser atribuída às condições favoráveis de umidade e à disponibilidade de matéria orgânica.

A abundância de indivíduos encontrada no sistema agroflorestal indica um solo saudável e equilibrado, e que segundo Silva et al. (2021) essas condições são essenciais para a sustentabilidade agrícola, inclusive favorecendo os inimigos naturais, como as formigas cortadeiras, como as dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, são um grande desafio em sistemas orgânicos devido à dificuldade de controle sem o uso de pesticidas sintéticos. Elas podem desfolhar rapidamente as plantas, comprometendo a produtividade. Estratégias como barreiras físicas, agentes biológicos (*Metarhizium* ou *Beauveria*) e

cultivos repelentes, como mamona, podem auxiliar no manejo, mas exigem monitoramento constante. Sua presença representa um risco significativo para a sustentabilidade do plantio orgânico, especialmente considerando que embora tenha apresentado alto número de indivíduos, os mesmos eram pertencentes a diferentes grupos funcionais (riqueza), contribuindo na cadeia trófica e ecológica da entomofauna, não tendo predominância

A abundância foi significativamente maior no período verão para a maioria dos sistemas, especialmente no maracujazeiro e moringa, que apresentou o maior pico de abundância (> de 250 ind. m<sup>2</sup>). O sistema FF, no entanto, manteve baixas densidades em ambos os períodos (Figura 7a).. O aumento da abundância no período de verão pode estar ligado ao acúmulo de serrapilheira, que oferece um habitat favorável e uma fonte de recurso alimentar para muitos organismos do solo, como microrganismos e invertebrados. Esses organismos desempenham papéis cruciais na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes (WARDLE, 2002; GARCÍA-PALACIOS et al., 2013). Além disso, a variação na abundância entre os sistemas sugere que a complexidade estrutural e a diversidade vegetal, como observado no SAF e maracujazeiro, são fundamentais para manter altas densidades de organismos.

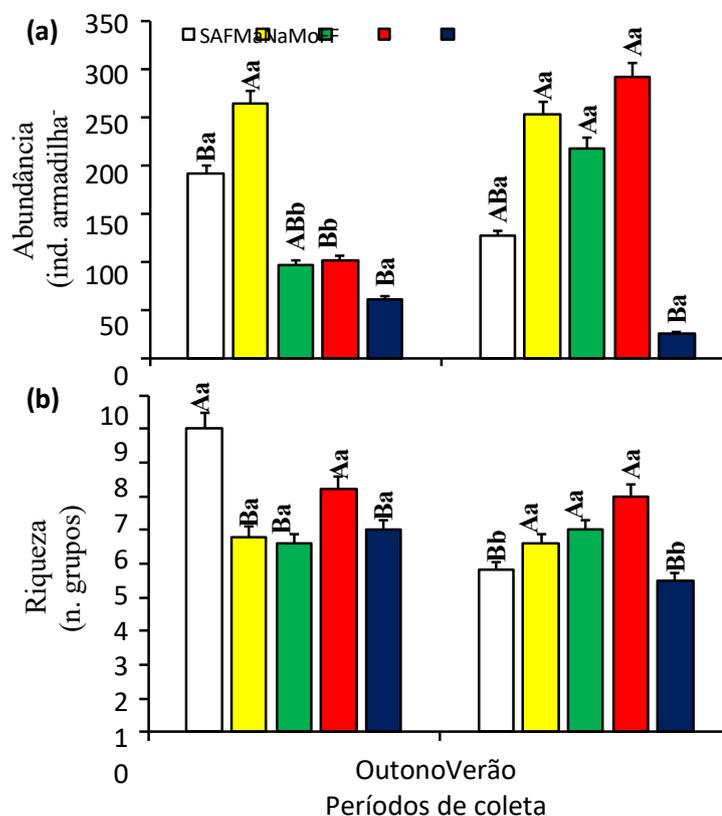


FIGURA 7. Valores médios de abundância (a) e riqueza (b) da entomofauna invertebrada epigeica em diferentes sistemas agrícolas e fragmento florestal em dois períodos de coleta. Letras maiúsculas comparam os sistemas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) e letras minúsculas comparam os períodos de coleta pelo teste t de Bonferroni ( $p \leq 0,05$ )  $\pm$  erro padrão. SAF: sistema agroflorestal, Ma: maracujazeiro, Na: Consórcio de duas espécies frutíferas e nativas, Mo: moringa e FF: fragmento florestal.

Outro ponto importante a ser destacado é que o aumento da abundância de organismos epigeicos na área de cultivo de moringa no verão em comparação ao outono se deve ao fato de que nesse período realizou-se uma poda drástica das plantas e no período de rebrota e algumas gramíneas, contribuindo na oferta de recurso alimentar para os organismos da fauna epigeica e temperaturas amenas sobre o solo.

A abundância foi maior em sistemas com plantas nativas e SAF, especialmente no período de outono, enquanto que o fragmento florestal apresentou os menores valores (Figura 7a). A alta abundância de organismos em sistemas com plantas nativas pode estar associada à manutenção de características ecológicas que suportam ampla gama de organismos, alinhando-se com o descrito por Gonçalves et al. (2020) sobre a decomposição e a ciclagem de nutrientes em ambientes tropicais.

A riqueza de grupos, representando o número de diferentes grupos taxonômicos presentes, foi consistentemente maior nos sistemas SAF e maracujazeiro, especialmente no período de verão. O FF, por outro lado, apresentou uma queda acentuada na riqueza durante o período de verão, o que pode ser atribuído à menor diversidade estrutural e à capacidade limitada desse sistema em suportar uma ampla variedade de espécies em condições adversas.

A maior riqueza nos sistemas SAF e moringa respectivamente pode estar relacionada à presença de diferentes estratos vegetativos, presença de plantas daninhas e gramíneas, microhabitats que suportam uma diversidade maior de organismos. Esses sistemas agroflorestais combinam árvores com culturas agrícolas, criando uma matriz heterogênea que suporta uma maior variedade de flora e fauna. A diversidade estrutural especialmente contendo espécies florestais aumenta a heterogeneidade dos recursos e condições microclimáticas, promovendo a coexistência de várias espécies conforme observado em nosso estudo.

Por outro lado, A redução da riqueza no sistema agroflorestal (SAF) durante o verão pode estar relacionada à intensa presença de formigas cortadeiras, que tendem a predominar em sistemas com menor diversidade estrutural. Em cultivos agrícolas,

especialmente no modelo orgânico, a atividade dessas formigas é prejudicial, pois elas desfolham as plantas rapidamente, comprometendo a produtividade e a saúde do sistema. Isso evidencia o impacto negativo dessas formigas na sustentabilidade do SAF, onde a diversidade de espécies é crucial para o equilíbrio ecológico e a viabilidade do cultivo., restando apenas nas laterais algumas plantas de cana de açúcar e bananeiras, o que refletiu no aumento da frequência relativa desse grupo; além disso, boa parte da vegetação que se apresentava nesse sistema eram apenas gramíneas, o que reduziu os recursos alimentícios para os organismos epigeicos, favorecendo sua migração para áreas mais favoráveis de sobrevivência.

A riqueza foi maior na moringa, nativas e maracujazeiro durante o período de outono, indicando maior diversidade de espécies neste sistema, enquanto o fragmento florestal apresentou a menor riqueza, principalmente no período de verão. A maior riqueza observada em SAF durante o período outono pode indicar um ambiente mais estável e resiliente a variações climáticas, como sugerido por Costa et al. (2021). Embora no período de verão as temperaturas tenham sido mais elevadas, os sistemas, exceto o FF, tenham apresentado maior cobertura sobre o solo pela presença de serrapilheira. Os valores mais baixos de serrapilheira da FF no verão é reflexo do número elevado de clareiras existentes nessa área, resultando em menor capacidade de suporte para diferentes grupos de organismos.

Em geral, os valores do índice de equitabilidade de Pielou ( $e$ ) foram maiores, exceto para maracujazeiro, na coleta de verão (Tabela 2). Por outro lado, os valores do índice de diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) foram opostos ao de  $J$ . A equitabilidade de Pielou ( $e$ ) foi maior em sistemas com plantas nativas, especialmente durante o período seco. O fragmento florestal e o SAF mostraram valores mais baixos de equitabilidade, especialmente durante o período chuvoso.

TABELA 2. Índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e índice de equitabilidade de Pielou ( $e$ ) dos organismos constituintes da fauna invertebrada epigeica em diferentes sistemas agrícolas de base sustentável e fragmento florestal, em dois períodos de coleta.

Sistemas	$H'$	$e$
<b>Outono</b>		
SAF	0,26	0,49
Maracujazeiro	0,86	2,60
Nativas	0,18	0,51

Moringa	0,29	0,52
FF	0,02	0,04
<b>Verão</b>		
SAF	0,34	0,50
Maracujazeiro	0,70	1,50
Nativas	1,29	3,76
Moringa	1,38	2,84
FF	0,09	0,35

O maior valor de  $e$  dos sistemas com plantas nativas indica uma distribuição mais uniforme das espécies, refletindo um ecossistema mais equilibrado. A menor equitabilidade no fragmento florestal pode ser um indicador de possíveis distúrbios ecológicos, resultando em uma dominância de poucas espécies, conforme sugerido por Ivanilda de Aguiar, Maria, et al (2021). A alta diversidade e equitabilidade são indicativas de um ambiente estável e resiliente, capaz de sustentar uma ampla variedade de organismos (Lynette et al., 2024). Esses resultados reforçam a importância de práticas de manejo que promovam a biodiversidade e a saúde do solo (COSTA et al., 2021).

A equitabilidade, que mede a uniformidade na distribuição dos grupos taxonômicos, foi maior no período de verão para todos os sistemas, com destaque para o maracujazeiro. A equitabilidade mais alta no período de verão sugere que, embora o número total de organismos aumente, a distribuição entre os diferentes grupos se torna mais uniforme. Essas informações reforçam a necessidade de diversificar os sistemas de cultivo e adotar práticas que aumentem a complexidade estrutural e funcional das áreas agrícolas (ALTIERI, 1999; TSCHARNTKE et al., 2005), tal como observado em nosso estudo.

Este aumento na equitabilidade pode ser interpretado como uma resposta adaptativa ao estresse ambiental, onde a dominância de poucos grupos é reduzida, permitindo que outros grupos aumentem em proporção. Em ambientes mais homogêneos ou estressantes, a equitabilidade tende a aumentar, uma vez que a competição é mais equilibrada (TILMAN, 1996; MOUILLOT et al., 2013). No caso do sistema FF, a baixa equitabilidade indica uma predominância de poucos grupos, possivelmente devido à baixa diversidade de recursos e nichos disponíveis.

Os resultados deste estudo têm importantes implicações para o manejo sustentável dos sistemas agrícolas e agroflorestais. A maior produção de serrapilheira e a alta riqueza e abundância nos sistemas SAF, maracujazeiro e moringa sugerem que esses sistemas são mais resilientes e capazes de sustentar uma biodiversidade rica, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis. Estes sistemas não apenas melhoram a saúde do sistema solo através da adição de matéria orgânica, mas também abrigam uma comunidade biológica diversificada que pode contribuir para o controle de pragas e a polinização, reduzindo a necessidade de insumos externos.

Em contraste, o sistema FF, mostrou desempenho inferior em todos os parâmetros, sugerindo duas hipóteses: i) indicando a fragilidade desse modelo frente às adversidades climáticas e a menor capacidade de suporte à biodiversidade ou ii) os sistemas agrícolas avaliados apresentam alto nível de equilíbrio ecológico, até maior que o FF. Ressaltamos que no verão embora os valores de riqueza tenham sido menores, numericamente no total observou-se maior número de grupos do que no verão, Sugere-se que novos estudos complementares sejam realizados com intuito de conhecer o nível de resiliência e plasticidade dos sistemas e dinâmica biológica de outros grupos funcionais nessas áreas.

Os resultados deste estudo mostram que a entomofauna epigeica desempenha um papel fundamental como bioindicadora da qualidade do manejo agrícola e das variações climáticas nos sistemas estudados. A diversidade e a abundância de organismos variaram entre os sistemas agrícolas e o fragmento florestal, bem como entre as estações do ano. Em geral, o período de verão apresentou maior abundância e deposição de serrapilheira, criando um micro-habitat que favorece a atividade biológica e a sustentabilidade do solo, especialmente nos sistemas agroflorestal, moringa e maracujazeiro. Esses sistemas demonstraram ser mais resilientes e com maior capacidade de sustentar a biodiversidade, contribuindo para um equilíbrio ecológico que beneficia a sustentabilidade agrícola.

## 4 CONCLUSÃO

A utilização da entomofauna epigeica como bioindicador mostrou-se eficaz na avaliação da qualidade do solo, evidenciando como a composição da fauna responde de maneira sensível e dinâmica às mudanças ambientais e práticas de manejo. Isso reforça a importância da adoção de práticas agrícolas sustentáveis que promovam a preservação da biodiversidade e a saúde do solo. A partir dos resultados, recomenda-se que estudos futuros incluam análises mais detalhadas de outros grupos funcionais e a avaliação de ciclos sazonais em diferentes condições climáticas para melhor compreender a resiliência e a plasticidade dos sistemas agrícolas.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A.** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 74, p. 19–31, 1999.
- BACH, E. M.; WALL, D. H.; BARBERCHECK, M. E.** Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future. *Sustainability*, v. 12, n. 7, p. 2662–2684, 2020.
- BACK, P. I. K.; SILVA, R. M.; COSTA, K. D. S.** Soil organisms as bioindicators of soil quality and environmental sustainability. *Biodiversity Review*, v. 23, n. 2, p. 100, 2024.
- COSTA, K. D. S.; MARTINS, M. R.; SILVA, R. M.** Soil quality: Biological indicators for sustainable management. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021.
- DÁVILA, G. D. L. C. C.; RENDÓN, J. A. S.; DE LEÓN LIMA, D. P.** Soil macrofauna: composition, variation and use as bioindicators of soil quality and use impact. *Acta Botânica Cubana*, v. 221, 2022.
- EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE.** Climate guide. 2023. Available at: <https://clima.cpao.embrapa.br/>. Accessed on: Oct. 13, 2024.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.** The climate of the Dourados region, MS. 2nd ed. Dourados: Embrapa (MS), 2008. Documents, 92.
- GALLO, D.** *Manual of agricultural entomology*. 2nd ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1998. 645 p.
- GARCÍA, P. P.; ESPINOSA, J. J.; DE LA FUENTE, A. L.** Ecosystem processes associated with litter decomposition in Mediterranean shrublands. *Global Ecology and Biogeography*, v. 22, p. 364–376, 2013.
- GÓES, Q. R. D.; DA SILVA, M. M.; DE FREITAS, L. C.** Analysis of soil fauna in different land uses in the Pampa biome. *Ciência Florestal*, v. 31, p. 123–144, 2021.
- GOMES, A. A.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q.; et al.** Evaluation of the impact of fragmentation of native forests at Fazenda Azulão in Dourados-MS. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 31, n. 3, p. 612–618, 2007.
- GONÇALVES, B. N.; BORGES, R. N.; SILVA, J. R.** Near-surface and satellite remote sensing confirm drought legacy effect on tropical forest leaf phenology after 2015/2016 ENSO drought. *Remote Sensing of Environment*, v. 237, e111489, 2020.

- GREENSLADE, P. J. M.; GREENSLADE, P.** Invertebrates and environmental assessment. *Environment and Planning*, n. 3, p. 13–15, 1984.
- GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. M.; PEREIRA, C. L.** Soil fauna associated with different cultivation systems. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, e54610212787, 2021.
- HERNÁNDEZ, J. E.; CASTILLO, M. J.; GONZÁLEZ, R. M.** Contributions of agroforestry systems to biodiversity and nutrient cycling in tropical soils. *Journal of Sustainable Agriculture*, v. 44, n. 5, p. 854–869, 2022.
- LYNETTE, A.; SMITH, R.; JONES, P.** Soil biodiversity is essential for building environmental resilience. *Open Access Government*, pp. 382–383, 2024.
- MANUIAMA, R. A.; SILVA, P. R.; COSTA, K. D.** The use of soil insects as environmental quality indicators in Amazon soils. *Educamazônia: Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, v. 17, n. 1, p. 618–632, 2024.
- MEDEIROS, G. D. S.; SOUZA, A. L.; FREITAS, F. R.** Two new species of Sminthuridae (Hexapoda, Collembola, Symphypleona) from Brazil with notes on *Denisiella Folsom & Mills* and *Sphaeridia Linnaniemi*. *ZooKeys*, v. 1173, p. 1–41, 2023.
- MENANDRO, L. M. S.; FREITAS, R. A.; CASTRO, J. P.** Soil fauna and sustainability in agroecological systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, e0180002, 2019.
- MOUILLOT, D.; VILLÉGER, S.; SCHERER-LORENZEN, M.; MASON, N. W. H.** Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality. *PLoS ONE*, v. 6, n. 3, e17476, 2011.
- NUNES, L. A. P. L.; SILVA, J. R.; SOUZA, R. A.** Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. *Brazilian Journal of Biology*, v. 79, n. 1, p. 45–51, 2019.
- PASSINATO, J.** Evaluation of soil health in agricultural systems under conservation agriculture in Brazil. Santa Maria, RS: [s. n.], 2022.
- PIELOU, E. C.** *Mathematical ecology*. New York: Wiley, 1977.
- POWERS, J. S.** The influence of tree species diversity on the production and decomposition of leaf litter in tropical forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, v. 458, p. 117–696, 2020.

**SCURLOCK, J. M. O.; JOHNSON, K.; OLSON, R. J.** Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*, v. 8, p. 736–753, 2002.

**SHANNON, C. E.; WEAVER, W.** *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

**SILVA, R. M.; COSTA, K. D. S.; PEREIRA, C. L.** Soil fauna as bioindicators of soil quality in sugarcane cultivation: A theoretical reference. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 10, e239101018741, p. 5–13, 2021.

**TILMAN, D.** Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology*, v. 77, p. 350–363, 1996.

**VOGT, K. A.; GRIER, C. C.; VOGT, D. J.** Production, turnover, and nutrient dynamics of aboveground and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, v. 15, p. 303–377, 1986.

**WARDLE, D. A.** *Communities and ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton: Princeton University Press, p. 325–400, 2002.

**ZEPPELLINI, D.; BELLINI, B. C.** Collembola Lubbock, 1870. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S.; CONSTANTINO, R. (Eds.). *Insects of Brazil: Diversity and taxonomy*. 2nd ed. Manaus: INPA, 2024. p. 141–154.