UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS JABOTICABAL

MIRMECOFAUNA E ACAROFAUNA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS ADJACENTES A CULTURA DA CANA-DE- AÇÚCAR

Yasmin Esteves Izidro

Bióloga

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

MIRMECOFAUNA E ACAROFAUNA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS ADJACENTES A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Aluna: Yasmin Esteves Izidro

Orientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola).

2024

I98m

Izidro, Yasmin Esteves
Mirmecofauna e Acarofauna de fragmentos florestais adjacentes à cultura da cana-de-açúcar / Yasmin Esteves Izidro. -- Jaboticabal, 2024
68 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Odair Aparecido Fernandes

1. Conservação biológica. 2. Fauna edáfica. 3. Serviços ecossistêmicos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MIRMECOFAUNA E ACAROFAUNA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS ADJACENTES A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: YASMIN ESTEVES IZIDRO
ORIENTADOR: ODAIR APARECIDO FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES (Participaçao Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Agronomia - UFRGS (Porto Alegre

Documento assinado digitalmente
SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Data: 08/03/2024 16:51:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE (Participaçao Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de março de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Yasmin Esteves Izidro nasceu em 13 de abril de 1999 na cidade de Pratápolis, no Estado de Minas Gerais, filha de Salete Aparecida Pereira e Thiago Izidro. Ingressou no curso de Ciências Biológicas, na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) - Câmpus de Passos, em 2017. Obteve título de Bióloga em janeiro de 2021. Em 2017 iniciou seu primeiro estágio voluntário realizado no laboratório de Entomologia da Universidade do Estado de Minas Gerais. Posteriormente trabalhou no projeto intitulado "Levantamento preliminar da biodiversidade da entomofauna associados ao girassol (*Helianthus annuus*; Asteraceae) com Bolsa de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em conjunto com o INCT Hympar Sudeste, sob a Orientação da Prof. Dra. Sônia Lúcia Modesto Zampieron. No início de 2019 desenvolveu um projeto de extensão intitulado "Biojoias - Sustentabilidade, arte e cultura" juntamente com o querido Prof. Dr. Juliano Fiorelini Nunes, com bolsa oferecida pelo Programa de Apoio a Projeto de Extensão da UEMG (PAEx). Além do desenvolvimento de outros projetos de extensão relacionados na área de Botânica e Ecologia trabalhando com besouros polinizadores e preservação ambiental sob a orientação do também querido Prof. Dr. Hipólito Ferreira Paulino Neto. Em março de 2021 ingressou no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) da UNESP/FCAV - Câmpus de Jaboticabal, com bolsa pela CAPES – Demanda Social, sob orientação do Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes.

“Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”

Antoine-Laurent de Lavoisier

A todos aqueles que acreditam na vida, em si mesmos e na força que existe dentro de nós.

OFEREÇO

Aos meus pais, por todo amor, dedicação e apoio para que eu sempre fosse feliz e corajosa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir trilhar caminhos tão virtuosos e por me preencher de vontade de viver.

À minha família por toda dedicação e por sempre acreditarem no meu potencial. Agradeço aos meus pais, Salete e Thiago que são meus exemplos de força, amor e dedicação. Aos meus irmãos, Ytallo, Ísis, Iori e Valentin por sempre me oferecerem amor incondicional. E, aos meus padrinhos Marisa e Roberto, por serem tão presentes em minha vida.

Ao meu namorado, Emanuel, por me apoiar incansavelmente, e aos meus amigos Gustavo, Maria Eduarda, Rodolfo, Amanda, Nádia e Gabriela que sempre estiveram na minha vida me impulsionando a ser melhor.

Ao Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes, pela orientação, paciência e confiança em mim e no trabalho desenvolvido nesses anos de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc. 2017/25258-1).

À minha parceira de Projeto, Sabrina Juvenal de Oliveira, por todo companheirismo, dedicação e apoio para realização deste trabalho, sem sua ajuda não seria possível.

Aos meus colegas da FCAV, André, João Marcelo, Gabriel, Thaynara, Vinícius, Gabriela, Marina, Beliza, Luís Eduardo, Luís Augusto, Gustavo, Juliana, Lana, Claudiane, por fazerem destes anos felizes e mais leves; em especial meu querido amigo João Rafael por todo apoio, principalmente nas análises estatísticas.

Às minhas companheiras de casa, Bruna, Milena Giovanna e Val Pereira, por serem pessoas tão especiais em minha vida e por todo tempo compartilhado.

Ao Me. Vinícius Borges e todos do laboratório de Acarologia, Departamento de Entomologia e Acarologia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) por todo auxílio e ensinamentos com os ácaros.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

Com todo meu amor e gratidão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 5
2.1 Estrutura da paisagem 5
2.2 Fragmentos florestais 6
2.3 Fauna edáfica 7
2.4 Influência das paisagens sobre organismos edáficos 10
3. MATERIAL E MÉTODOS 12
3.1 Caracterização da área 12
3.2 Métodos de coleta 14
3.3 Identificação 16
3.4 Análise estatística 17
4. RESULTADOS 20
4.1 Mirmecofauna 20
4.1.2 Análise multivariada sobre a composição da mirmecofauna 25
4.2 Acarofauna 30
5. DISCUSSÃO 38
6. CONCLUSÕES 46

MIRMECOFAUNA E ACAROFAUNA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS ADJACENTES A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - A fauna edáfica é caracterizada por sua diversidade e capacidade de reprodução, tornando esses organismos de solo excelentes bioindicadores da qualidade ambiental; porém a interface agroecossistema/fragmentos florestais ainda precisa ser melhor compreendida. Objetivou-se neste trabalho caracterizar a Mirmecofauna e Acarofauna associadas a fragmentos de floresta e áreas adjacentes de cana-de-açúcar, bem como antecipar os potenciais serviços ecossistêmicos oferecidos por estes grupos. O estudo foi conduzido durante o período de inverno (julho/agosto) e verão (novembro/dezembro) de 2022 em dez áreas na região de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Utilizando armadilhas pitfall e amostras indeformadas de solo para extração em funil de Berlese. Foram identificados 42 grupos taxonômicos. Dos espécimes de Formicidae coletados, foram identificadas oito subfamílias, 22 gêneros e 30 morfoespécies. Myrmicinae foi a subfamília mais representativa, com sete gêneros, seguida de Ponerinae (4 gêneros) e Formicinae (2 gêneros). Foram extraídos um total de 1484 ácaros nas 800 amostras coletadas. A sazonalidade foi um fator determinante para abundância de ácaros. Os resultados mostraram que os fragmentos de mata mostraram ser um ambiente alternativo efetivo para grupos cuja funcionalidade podem prestar serviços ecossistêmicos com potencial para contribuir em programas de controle biológico de pragas.

Palavras-chave: ambiente natural, conservação dos insetos, fauna edáfica, serviços ecossistêmicos

MYRMECOFAUNA AND ACAROFAUNA OF FORESTS FRAGMENTS ADJACENT TO SUGARCANE CULTIVATION

ABSTRACT - The soil fauna is characterized by its diversity and reproduction capacity, making these soil organisms excellent bioindicators of environmental quality; however the agro-ecosystem/forest fragments interface still needs to be better understood. The objective of this work was to characterize the Myrmecofauna and Acarofauna associated with forest fragments and adjacent sugarcane areas, as well antecipate potential ecosystem services offered by these groups. The study was conducted during the winter (July/August) and summer (November/December) period of 2022 in ten areas in the Jaboticabal region, São Paulo, Brazil. Using pitfall traps and undisturbed soil samples for extraction in a Berlese funnel. It was identified 42 taxonomic groups. Of the Formicidae specimens collected, eight subfamilies, 22 genera and 30 morphospecies were identified. Myrmicinae was the most representative subfamily, with seven genera, followed by Ponerinae (4 genera) and Formicinae (2 genera). A total of 1484 mites were extracted from the 800 samples collected. Seasonality was a determining factor for mite abundance. The results showed that forest fragments proved to be an effective alternative environment for groups whose functionality can provide ecosystem services with the potential to contribute to biological pest control programs.

Keywords: ecosystem services, insect conservation, natural environment, soil fauna

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição taxonômica e função ecológica da mirmecofauna presente em áreas de cultivo cana-de-açúcar e fragmentos florestais de mata atlântica na região Jaboticabal-SP utilizando armadilhas pitfall (convencional e modificada) nos períodos de inverno (jul-ago/2022) e verão (nov-dez/2022)..... 21

Tabela 2. Resultados da análise multivariada não paramétrica (Permanova) sobre a dispersão dos dados quanto à estrutura e tipos de ambiente. 25

Tabela 3. Resultados da análise de homogeneidade multivariada de dispersão..... 26

Tabela 4. Comparação de dissimilaridades entre gêneros de formigas encontrados em cana e floresta..... 27

Tabela 5. Comparação de dissimilaridades entre gêneros de formigas encontrados em matas de galeria e plateau 29

Tabela 6. Diversidade total da acarofauna presentes em áreas de cultivo cana-de-açúcar e fragmentos florestais de mata atlântica na região Jaboticabal-SP utilizando o Método de Berlese-Tullgren nos períodos de inverno e verão. 31

Tabela 7. Resultados da análise multivariada não paramétrica sobre a dispersão dos dados quanto à estrutura e tipos de ambiente. 34

Tabela 8. Resultados da análise de homogeneidade multivariada de dispersões (Betadisper) da acarofauna. 35

Tabela 9. Comparação de dissimilaridades entre coortes de ácaros encontrados em matas de galeria e plateau 36

Tabela 10. Comparação de dissimilaridades entre coortes de ácaros encontrados no inverno e verão..... 37

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Localização das áreas de estudo (fragmentos de matas associadas a cana-de-açúcar) da mirmecofauna e acarofauna edáfica na região de Jaboticabal-SP. (Fragmentos de florestas – galeria sinalizados em vermelho; Fragmentos de floresta – Plateau sinalizados em amarelo). 13

Fig. 2. Fragmento ao longo de vales de rios, classificados como Galeria (A); Fragmento localizado em encostas e planaltos, classificados como Plateau (B). 14

Fig. 3. Armadilhas pitfalls modificadas dispostas na superfície para avaliação da movimentação de artrópodes 16

Fig. 4. Análise de componentes principais (PCA) da Mirmecofauna coletada das armadilhas Pitfall comuns. (A) Contribuição dos gêneros; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão). 22

Fig. 5. Análise de componentes principais (PCA) da Mirmecofauna coletada das armadilhas Pitfall modificadas. (A) Contribuição dos gêneros; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão). 24

Fig. 6. Análise de componentes principais (PCA) da acarofauna coletada nas 10 áreas estudadas. (A) Contribuição das coortes; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão). 33

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, a expansão da fronteira agrícola emerge como uma das principais causas da deterioração da biodiversidade (Haan et al., 2020). O aumento contínuo de áreas dedicadas à monocultura está diretamente associado ao crescimento da demanda por insumos, como fertilizantes, herbicidas e inseticidas, culminando em impactos adversos sobre a diversidade biológica do ambiente (Sánchez et al., 2013). Diante disso, torna-se premente a necessidade de priorizar a implementação de medidas que promovam práticas agrícolas mais ecologicamente sustentáveis, buscando conciliar a produção agrária com o desenvolvimento rural e a preservação dos recursos naturais, assim como é crucial reconhecer a importância dos serviços ecossistêmicos prestados por organismos viventes em ecossistemas naturais ou seminaturais.

Os organismos de solo, principalmente aqueles considerados bioindicadores, desempenham funções vitais na promoção da biodiversidade e na prestação de serviços essenciais, quais sejam os serviços ecossistêmicos, que contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano e consistem em recursos oferecidos por um ecossistema natural e as espécies que os compõem (Mooney, 1997). De acordo com Millenium Ecosystem Assessment (2005) esses serviços estão agrupados em quatro grupos: cultural, provisão, regulação e suporte. A maioria dos serviços prestados nessas categorias são realizados pelos insetos, pois o funcionamento dos ecossistemas naturais ou manejados dependem do papel ecológico dos insetos visto que a diversidade de espécies de artrópodes com diferentes funcionalidades (predadores, parasitoides, saprófagos e polinizadores) é muito grande (Ehrlich et al., 1980; Boer, 1981; Gurr et al., 2017).

Os fragmentos florestais são exemplos de ambientes não cultivados que abrigam uma grande diversidade de artrópodes que prestam serviços essenciais para o equilíbrio natural e exercem funções que beneficiam o ambiente agrário, como o controle de pragas (Andow, 1991). Além dos serviços prestados, os fragmentos possuem maiores e mais diversos recursos quando comparado a ambientes de cultivo, normalmente restritos a monoculturas, principalmente pelo fato de haver menos atividades que geralmente causam algum tipo de perturbação aos artrópodes (Koleff, 2003). Assim, os insetos têm uma alternativa de ambiente, onde se refugiam, hibernam e dessa maneira recuperam energia e maximizam os serviços prestados nas áreas cultivadas, no caso em específico, os canaviais (Gurr et al., 2017).

A paisagem que abrange o estado de São Paulo, em sua maioria, inclui florestas tropicais, ecossistemas característicos da Mata Atlântica (Rezende et al., 2018). Grande parte das florestas tropicais no estado de São Paulo foram transformadas com a intensificação das atividades antrópicas convertendo a paisagem natural em pequenas manchas em formas de fragmento, encontrando-se assim, geralmente isoladas em matrizes agrícolas ou urbanas, sendo distribuídas por fragmentos em torno de monoculturas (Rodrigues e Bononi, 2008; Valente et al., 2017). Inicialmente, o Estado de São Paulo era majoritariamente composto por Mata Atlântica, abrangendo 80% de seu território. No entanto, apenas 14% desse território preserva essa característica, sendo identificado por meio de fragmentos florestais dispersos (Mct, 2017). Foi demonstrado que a fragmentação desses habitats simplifica a paisagem impactando os processos ecológicos e, consequentemente, levando à perda de biodiversidade (Tannier et al., 2016) que resulta em mudanças nos serviços ecossistêmicos prestados à agricultura (Hatt et al., 2018).

A fauna do solo é caracterizada por sua alta diversidade e rápida capacidade de reprodução, tornando esses organismos excelentes bioindicadores da qualidade e do grau de degradação do solo (Ranjith, 2022). Suas propriedades e funções oferecem informações valiosas para avaliar o estado do ecossistema (Wink, 2005). A análise da presença de organismos específicos ou da comunidade, juntamente com a investigação dos processos biológicos, como a modificação da estrutura do solo e os níveis de decomposição, possibilitam a avaliação da saúde do ambiente (Landis et al., 2000; Dainese et al., 2019).

A escolha de formigas e ácaros como bioindicadores é respaldada por suas características distintas, que os tornam sensíveis às mudanças ambientais. Formigas, ao prontamente refletirem alterações no uso da terra (Carvalho et al., 2020), fornecem informações sobre a saúde do ecossistema, enquanto sua diversidade indica a variedade de nichos (McGeoch, 1998 Bharti et al., 2016). Os ácaros, por sua abundância e diversidade, são indicativos da qualidade do solo, reagindo a mudanças nas condições ambientais (Baretta, 2010). Ambos desempenham funções ecológicas vitais, tornando seu estudo essencial para compreender os impactos das práticas agrícolas e ambientais na sustentabilidade dos ecossistemas (Moskowitz et al., 2020). Além disso, um dos motivos da escolha destes artrópodes foi a abundância dos mesmos em ambos os ambientes, e pelos diferentes hábitos que esses grupos possuem, podendo dessa maneira oferecer uma abordagem integrada para avaliar a saúde e a sustentabilidade ambiental.

Considerando a relevância dos serviços ecológicos desempenhados pelos organismos do solo em ambientes naturais e cultivados, bem como o fato da cultura da cana-de-açúcar também abrigar inúmeras espécies de artrópodes que realizam diferentes tipos de interações (Zhang et al., 2019) objetivou-se neste trabalho

identificar a Mirmecofauna e Acarofauna associadas a fragmentos de floresta e áreas adjacentes de cana-de-açúcar em duas estações do ano (inverno e verão). Com isso, além da caracterização das comunidades, buscou-se inferir eventual movimentação desses artrópodes em relação a estrutura da paisagem (fragmento de floresta e cana de açúcar), bem como antecipar os potenciais serviços ecossistêmicos oferecidos por estes grupos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estrutura da paisagem

A configuração espacial dos elementos naturais, seminaturais e antrópicos, conhecida como paisagem, desempenha um papel fundamental na prestação de diversos serviços ecossistêmicos, tais como a ciclagem de nutrientes do solo, a polinização de plantas, a conservação da água e o controle natural de pragas (Metzger, 2001; Power, 2010). Estes serviços são vitais tanto para as necessidades humanas quanto para a preservação da biodiversidade. No entanto, é importante destacar que a organização da paisagem pode impactar a disponibilidade e interação desses serviços de forma multifacetada (Rieb e Bennett, 2020).

A concepção de paisagem remonta ao século XIX, quando a geografia emergiu como disciplina científica. As discussões sobre esse conceito foram marcadas por abordagens variadas, reflexo das correntes sociais e filosóficas predominantes na época controle (Bertrand, 1971; Bianchi et al., 2016). A paisagem pode ser compreendida como um conjunto dinâmico de unidades heterogêneas interativas ou como um sistema composto por formações naturais e seminaturais que oferecem serviços e recursos naturais (Zamberletti et al., 2021). A análise das paisagens contempla as relações entre seus diversos componentes, considerando as dimensões estruturais, funcionais e dinâmicas-evolutivas (Stevanato et al., 2022). Em linhas gerais, o estudo das paisagens demanda a avaliação de elementos físicos ou culturais interconectados no espaço e no tempo. Aspectos cruciais na investigação de uma paisagem incluem sua estrutura, composição e função (Metzger; 2012). A estrutura diz respeito à organização das unidades, à distribuição dos elementos e às suas

interconexões, enquanto a composição abrange a diversidade de elementos ou espécies em uma determinada região (Blitzer et al., 2012). Por fim, a função engloba todos os processos, desde a ciclagem de materiais até a definição do papel ecológico desempenhado por cada espécie (Haan et al., 2020).

Nesse contexto, uma série de estudos tem sido conduzida para avaliar as implicações das proporções variáveis de elementos distintos na paisagem sobre a abundância de pragas e o controle biológico, considerando diversas escalas espaciais e temporais (Holland et al., 2016; Tscharntke et al., 2016; Haan et al., 2020). A presente revisão explora as intrincadas interações entre habitats semi naturais e agrícolas, examinando o papel e a influência das paisagens sobre a fauna edáfica, particularmente as formigas e os ácaros. Além disso, aborda estratégias de gestão ambiental visando a preservação dos serviços ecossistêmicos proporcionados pela configuração da paisagem.

2.2 Fragmentos florestais

A fragmentação florestal é definida como o procedimento pelo qual áreas de vegetação natural são interrompidas por barreiras, sejam elas de origem antropogênica ou natural (Santos et al., 2017). Essa divisão abrupta de uma área florestada acarreta alterações significativas nas condições ambientais, obstruindo a circulação de animais, pólen e sementes (Viana, 1990). Os fragmentos resultantes operam como "ilhas de diversidade", circundadas por áreas não florestadas (Brady et al., 2011).

A Mata Atlântica apresenta uma divisão em duas regiões principais, cada uma exibindo tipos distintos de vegetação: a floresta tropical ao longo da costa e a floresta semidecídua no interior (Oliveira-Filho e Fontes, 2000). O interior, por sua vez, é

subdividido entre a floresta semidecídua que ocorre em áreas de planalto chamadas de **Plateau** e as florestas de **Galeria**, que estão presentes ao longo das margens dos rios (Vieira et al., 2018, Cario, 2020). No contexto da Mata Atlântica, a fragmentação do habitat e o emprego do solo para atividades agrícolas surgem como as principais causas de sua degradação, representando desafios significativos para a preservação do ecossistema (Carvalho et al., 2009). Essas paisagens, caracterizadas pela predominância de práticas agrícolas, configuram mosaicos dinâmicos suscetíveis a fatores ambientais induzidos e agravados pela intervenção humana, acarretando consequências irreversíveis para a biodiversidade (Mace et al., 2012)

Os ecossistemas adjacentes a áreas agrícolas desempenham um papel crucial na provisão de condições propícias, tanto em termos de abrigo quanto de alimento, para sustentar populações de predadores e parasitoides (Gagic et al., 2018; Blassioli-Moraes et al., 2022). Embora esses habitats sejam benéficos para os inimigos naturais, é importante destacar que, em determinados contextos, os fragmentos de vegetação natural também podem conferir vantagens a espécies consideradas pragas (Collinge, 2000, Vasconcelos et al., 2006).

2.3 Fauna edáfica

A análise da presença e da composição das comunidades do solo tem sido uma área de estudo frequente, dada a importância fundamental desses organismos na regulação dos sistemas agrícolas (Devide; Castro, 2008). As características das populações da fauna edáfica são manifestadas por meio das comunidades formadas, as quais se revelam sensíveis às condições ambientais, tornando-se indicadores valiosos da qualidade do solo (Baretta et al., 2011).

Segundo as observações de Louzada e Zanetti (2013), os insetos despontam como uma alternativa promissora como bioindicadores na recuperação de áreas degradadas, destacando-se por sua notável abundância, ciclo de vida breve, facilidade de amostragem e sensibilidade a alterações ambientais. Além disso, Nunes (2010) realça a eficácia da fauna do solo como indicador, devido à sua ampla diversidade e rápida capacidade de reprodução, sendo que suas propriedades e funções refletem a qualidade ou o grau de degradação do solo.

Esses invertebrados assumem um papel vital na preservação da qualidade do solo, promovendo a redistribuição de nutrientes e matéria orgânica por meio de suas atividades biodinâmicas. Ao participarem ativamente em diversos níveis tróficos na cadeia alimentar, contribuem de maneira significativa para o equilíbrio do ecossistema (Lee, 1994; Shukla et al., 2013).

Uma categorização relevante da fauna do solo compreende a mesofauna edáfica, que inclui artrópodes que habitam as camadas subterrâneas e possuem diâmetro corporal inferior a 2 mm (Swift; Heal; Anderson, 1979). Esta categoria engloba Acari, Collembola, Symphyla e insetos de diversas ordens (Aquino; Correia; Badejo, 2006), ocupando os espaços porosos do solo sem a capacidade de criar suas próprias galerias, tornando-se altamente suscetíveis a perturbações, como a compactação do solo (Heisler; Kaiser, 1995). Essa mesofauna desempenha funções vitais para o ecossistema, como a decomposição e a ciclagem de nutrientes, ressaltando a importância de estudos que investiguem os fatores bióticos e abióticos responsáveis pelo desequilíbrio nas comunidades (Gongalsky et al., 2016).

Um outro grupo, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) também revelam uma notável sensibilidade às modificações ambientais, consolidando-se como indicadores de qualidade ambiental (Martins et al., 2011). Ademais, sua função como indicadoras

da diversidade biológica as transforma em organismos modelo para a compreensão da influência de variáveis bióticas, abióticas e atividades antrópicas sobre a biodiversidade (Apolinário et al., 2019; Gongalsky et al., 2016).

É de grande importância salientar que os fatores ambientais podem impactar de forma diversificada as diferentes espécies de formigas, considerando a variedade de hábitos alimentares, padrões de nidificação e áreas de forrageamento dentro da família Formicidae (Kaspari, 2000; Dalotto et al., 2018). Dessa forma, os fatores que exercem influência significativa sobre as formigas epigéicas podem diferir daqueles que afetam a mirmecofauna arborícola. Nesse contexto, é possível observar que as variações ambientais também podem moldar a composição das guildas de formigas (Souza et al., 2023).

O termo "bioindicador" é empregado para designar organismos capazes de expressar respostas biológicas que evidenciam os impactos de poluentes, seja em si mesmos, nas populações, comunidades ou ecossistemas circundantes (Marion, 2011; Gongalsky et al., 2016). Esses indicadores biológicos desempenham um papel crucial em avaliações diversas, abrangendo desde mudanças em habitats e destruição do ambiente natural até a contaminação por metais pesados, produtos químicos usados em culturas e outros poluentes, reabilitação de áreas degradadas, sucessão da vegetação e o tipo de manejo adotado (Andréa, 2010).

Devido à sua destacada diversidade e rápida capacidade de reprodução, a fauna do solo e da serapilheira emerge como indicadora biológica, oferecendo insights valiosos sobre a qualidade do solo e seu grau de degradação (Risch et al., 2005; Jílková et al., 2011). A avaliação desses fatores pode envolver a identificação de organismos específicos, a análise da comunidade e a observação de processos

biológicos, como modificações na estrutura do solo e níveis de decomposição (Wink et al., 2005; Souza et al., 2023).

2.4 Influência das paisagens sobre organismos edáficos

A organização do habitat pode exercer impactos notáveis na quantidade de uma espécie em uma área específica, influenciando processos como reprodução, dispersão e mortalidade, incluindo as interações com seus inimigos naturais (Haan; Zhang; Landis, 2020). Em ambientes agrícolas, a presença de áreas naturais e seminaturais pode ter efeitos sobre o desenvolvimento e os danos causados por espécies de insetos-praga (Petit et al., 2021). No entanto, a influência da configuração da paisagem sobre essas pragas frequentemente se apresenta como uma trama complexa, podendo ser contraditória ou específica para cada grupo taxonômico. Assim, a compreensão das relações entre fontes e sumidouros de insetos em fragmentos próximos às culturas torna-se vital para otimizar estratégias de manejo de pragas e prever ocorrências de infestações (Dunning et al., 1992; Duarte et al., 2018).

A limitada diversidade de habitats em ambientes agrícolas é comumente interpretada como favorável ao aumento populacional de pragas de insetos, constituindo uma desvantagem para os inimigos naturais (Gurr, 2017; Deguini et al., 2021). Aspectos como interações tróficas, incluindo a predação intraguilda, práticas agrícolas, a suscetibilidade das culturas e condições abióticas são alguns dos elementos que contribuem para esse cenário (Jonsson et al., 2010; Karp et al., 2018).

Ao analisar os serviços ecossistêmicos proporcionados por um determinado ambiente, diversos fatores devem ser levados em consideração, sendo a avaliação de aspectos da biodiversidade uma medida essencial (Mace et al., 2012). O estudo conduzido por Mace e colaboradores (2012) delineou a interação entre os serviços

ecossistêmicos e a biodiversidade de várias formas distintas. Entretanto, o incremento da diversidade na paisagem pode impor desafios às populações de pragas, evidenciando assim, os possíveis serviços ecossistêmicos que podem ser oferecidos por diferentes tipos de paisagens (Tscharntke et al., 2016; Goethe et al., 2022).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado na região de Jaboticabal - SP, cujo clima é caracterizado como sendo subtropical-mesotérmico, inverno seco e uma estação chuvosa de verão, com precipitação anual de 1285 mm, temperatura média de 22 °C e umidade relativa média de 70,6%, Bioma Mata Atlântica. Foram adotados 10 fragmentos de Mata Atlântica (Fig. 1), dos quais cinco representaram fragmentos florestais ao longo de vales de rios, classificados como matas de galeria e cinco em encostas e planaltos, classificados como matas de plateau (Fig. 2) (Greggio et al., 2009; Santos et al., 2018) com cultivos de cana-de-açúcar em seu entorno. Em cada fragmento foi estabelecido uma área retangular (parcela) de 50 x 20 m. A área de cana-de-açúcar adjacente à parcela do fragmento de floresta foi utilizada para as avaliações realizadas neste agrossistema. Foi mantida a distância mínima de 1 km entre os locais estudados para assegurar independência entre as áreas de estudo. As parcelas foram divididas em subparcelas de 10 x 20 m.

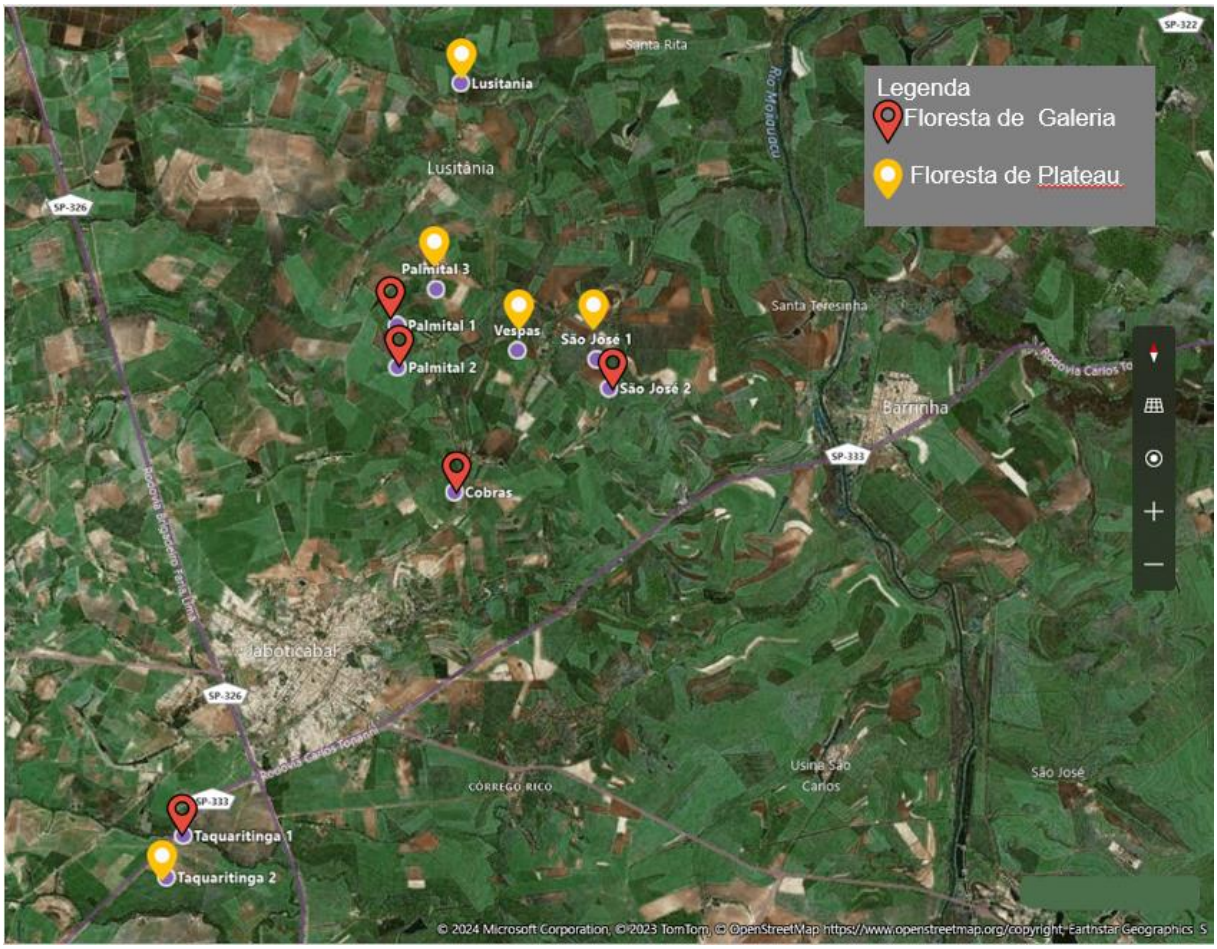


Fig. 1. Localização das áreas de estudo (fragmentos de matas associadas a cana-de-açúcar) da mirmecofauna e acarofauna edáfica na região de Jaboticabal-SP. (Fragmentos de florestas – galeria sinalizados em vermelho; Fragmentos de floresta – Plateau sinalizados em amarelo).

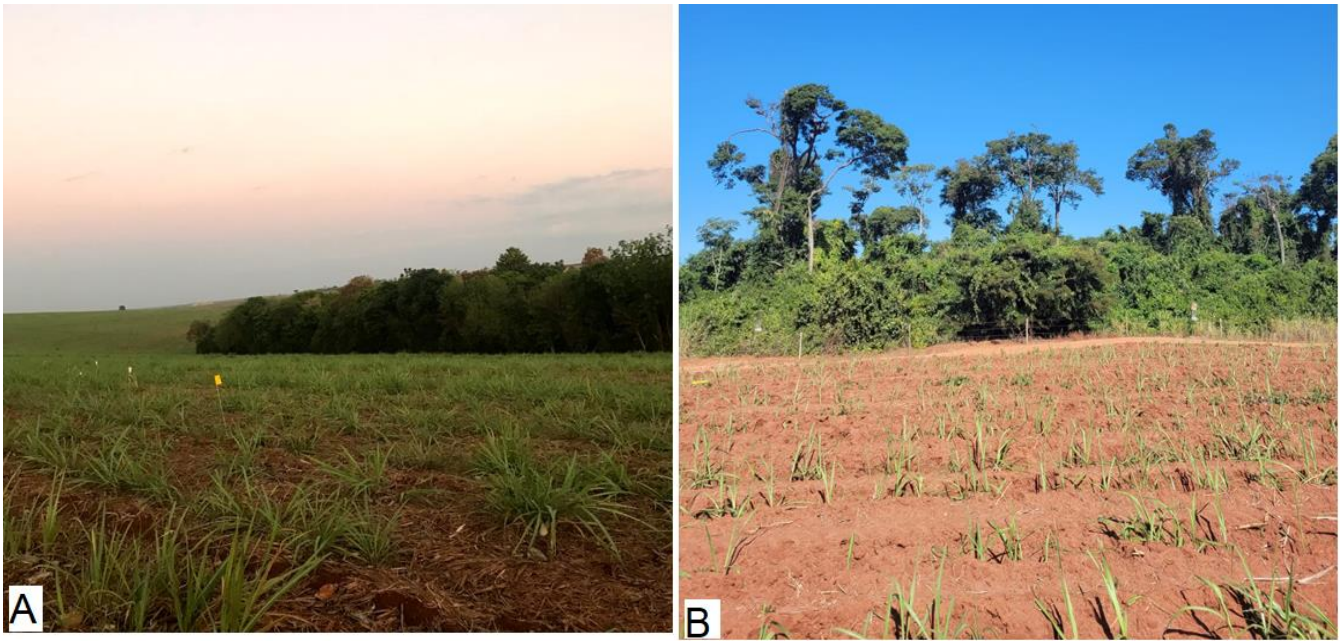


Fig. 2. Fragmento ao longo de vales de rios, classificados como Galeria (A); Fragmento localizado em encostas e planaltos, classificados como Plateau (B).

3.2 Métodos de coleta

As coletas foram realizadas por meio de dois tipos de armadilhas passivas: armadilha de queda (*pitfall*) e amostras de solo para extração pelo método de Berlese-Tullgren. No caso da armadilha de queda, foram adotados dois modelos. Um deles foi a armadilha *pitfall* convencional, que consistiu em recipientes enterrados no solo de maneira que a abertura ficasse ao nível da superfície. Estas armadilhas continham uma solução de 100 mL (96 mL de água + 2 mL de formaldeído + 2 mL de detergente) para evitar a fuga dos artrópodes capturados e mantê-los conservados (Baker, 1996; Hohbein e Conway, 2018). Para verificar a movimentação dos artrópodes entre os habitats, oito armadilhas *pitfall* (modificadas) foram instaladas paralelamente na borda dos dois ambientes (fragmento de mata e cana), respectivamente. As *pitfalls* modificadas foram constituídas de canos de PVC (50 mm de diâmetro x 3 m de comprimento), enterrados e ajustados ao nível do solo contendo copos plásticos de

700 mL em uma das extremidades de cada (Fig. 3). Para isso, foram instaladas quatro armadilhas, lado a lado, em dois pontos ao longo das bordas do fragmento florestal, mantendo-se distância de 15 m entre elas. Esse padrão de disposição foi repetido nas bordas dos campos de cana-de-açúcar, com as armadilhas alinhadas exatamente opostas às do ambiente florestal.

Foi também adotado o Método de Berlese-Tullgren descrito por Franklin e Moraes (2006), que é utilizado para coleta de macro e microartrópodes do solo. As amostras de serapilheira/solo para extração de ácaros edáficos foram retiradas com auxílio de um cilindro metálico (5cm de altura x 9cm de diâmetro), que permite coleta indeformada, colocadas em saco plástico e, posteriormente, levadas ao laboratório para extração dos artrópodes. Para este método, foram coletadas 40 amostras de solo em cada área, sendo metade em cada um dos habitats. As amostras permaneceram no coletor sob luzes incandescentes por no mínimo sete dias para assegurar que os artrópodes fossem extraídos e coletados em pote plástico contendo álcool 70% para conservação.

As coletas foram realizadas em duas estações: inverno e verão. A primeira coleta foi realizada durante a estação de inverno (julho a agosto) e a segunda no verão (novembro a dezembro) de 2022. As armadilhas ficaram expostas em cada área por um período de 48h.



Fig. 3. Armadilhas p*itfalls* modificadas dispostas na superfície para avaliação da movimentação de artrópodes

3.3 Identificação

O material foi levado ao laboratório de Ecologia Aplicada (APECOLAB), do departamento de Ciências da Produção Agrícola localizado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV- UNESP) Campus de Jaboticabal-SP, para triagem e identificação. As formigas foram separadas por morfoespécies e, sempre que possível identificadas ao menor nível taxonômico utilizando chaves taxonômicas para os diversos grupos encontrados (Gallo et al., 2002; Carvalho e Mello Patiu, 2008; Borror et al., 2011; Constantino et al., 2012; Lindquist et al., 2009; Rafael JA. et al. 2012).

Em relação aos ácaros, o material coletado em cada recipiente durante o processo de extração foi transferido para placas de Petri para posterior observação sob estereomicroscópio. Os ácaros passaram por um procedimento de montagem em

lâminas utilizando meio de Hoyer (Moraes e Flechtmann, 2008). Após a montagem, as lâminas foram submetidas a um período de 10 dias de desidratação em uma estufa a uma temperatura controlada de 45-50°C. Esses espécimes foram levados para o laboratório de Acarologia Agrícola, do Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP-Esalq) para identificação. As funções ecológicas de cada grupo foram baseadas em Silveira Neto et al. (1976).

3.4 Análise estatística

A associação dos artrópodes com os ambientes amostrados foi obtida por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), uma técnica de análise multivariada usada para analisar inter-relações entre muitas variáveis e explicar tais variáveis em termos de suas dimensões inerentes (Componentes) obtendo-se o valor de indicação para cada espécime. Os dados referentes às formigas, coletadas em armadilhas *pitfall* convencional e modificada, foram transformados em presença/ausência (0/1), pois os formicídeos apresentam diferenças no tamanho das colônias, bem como no comportamento social (recrutamento para forrageamento), que poderiam causar viés na análise caso a abundância (expressa em número de insetos) fossem utilizadas (Campana et al., 2020). Os dados referentes aos ácaros coletados das amostras de solo, por outro lado, foram mantidos em densidade observada (números em quantidade) em cada amostra composta, a partir do tipo de fragmento (plateau ou galeria) e estrutura (fragmento de floresta ou cana de açúcar). A partir da PCA foi construído um gráfico que contém a contribuição (em percentagem) dos gêneros para os componentes principais, de forma a compreender quais destes possuem maior relevância na variância dos dados entre os ambientes e um gráfico biplot que combina os marcadores de variáveis e indivíduos em um mesmo gráfico para entender

possíveis similaridades/diferenças entre ambientes. As análises e gráficos foram geradas no software R v 4.1.1 utilizando os pacotes FactoMineR 2.4 e factoextra v 1.0.7.

Ainda, uma segunda análise multivariada foi empregada. A Permutação da Análise de Variância Multivariada (PERMANOVA) foi utilizada por se tratar de um método de particionamento da variação em um conjunto de dados multivariados, delineado explicitamente no espaço de uma medida de dissimilaridade escolhida, em resposta a um ou mais fatores em uma análise de projeto de variância. Esse método, não paramétrico, facilita a realização de um particionamento clássico, semelhante à ANOVA, permitindo testes e estimativas de tamanhos de efeitos principais, termos de interação, estruturas hierárquicas, componentes aleatórios em modelos mistos, entre outros. Nesse estudo, ajustou-se a PERMANOVA com o índice de dissimilaridade de Jaccard binário para as formigas e não binário para os ácaros com 9999 permutações. Foram incluídas como variáveis independentes os tipos de fragmentos (galeria ou plateau), estrutura (fragmento de floresta e cana de açúcar) e estação do ano (inverno ou verão) para compreender seus efeitos nas comunidades de formigas e ácaros. Para isso, utilizou-se as funções 'adonis2' e 'anova' respectivamente do pacote vegan v.2.6-4 a $p<0,05$. Por se tratar de medidas repetidas no tempo, uma restrição da permutação utilizando a identificação de cada fragmento através do argumento “strata = ID_fragmento” foi configurada. A homogeneidade multivariada das variâncias foi testada usando a função ‘betadisper’, do pacote vegan. Em seguida, prosseguiu-se com a análise SIMPER (Análise de Percentagem de Similaridade) considerando 9999 permutações usando a função ‘simper’ do pacote vegan, a fim de identificar os gêneros e coortes mais influentes que contribuem para a dissimilaridade de Jaccard

na comunidade de formigas e ácaros (Oksanen et al. 2022). Para todas as análises houve a utilização da linguagem de programação R v 4.3.1.

4. RESULTADOS

4.1 Mirmecofauna

No estudo da mirmecofauna edáfica nos canaviais e fragmentos de mata atlântica adjacentes foram encontrados 38 grupos taxonômicos. Dos espécimes de Formicidae coletados, foram identificadas oito subfamílias, 22 gêneros e 30 morfoespécies. Myrmicinae foi a subfamília mais representativa, com nove gêneros, seguida de Ponerinae (4 gêneros) e Formicinae (2 gêneros) (Tabela 1).

4.1.1 Análise de Componentes Principais da Mirmecofauna

As subfamílias Myrmicinae e Ponerinae demonstraram uma notável presença nos fragmentos florestais em ambos os ambientes (Galeria e Plateau), quando comparadas com o ambiente cultivado (cana-de-açúcar). Além disso, a subfamília Myrmicinae se destacou pela maior quantidade de gêneros observados nos fragmentos florestais, principalmente os gêneros *Aphaenogaster e Dorymyrmex* (Figura 4A).

Em relação a contribuição dos gêneros e a sazonalidade, foi possível observar que dos 22 gêneros observados, 19 gêneros foram encontrados nos dois períodos sazonais, enquanto que apenas três destes (*Aphaenogaster*, *Crematogaster* e *Trachyrmyrmex*) foram encontrados somente durante as coletas do verão (Fig. 4).

Tabela 1. Descrição taxonômica e função ecológica da mirmecofauna presente em áreas de cultivo cana-de-açúcar e fragmentos florestais de mata atlântica na região Jaboticabal-SP utilizando armadilhas *pitfall* (convencional e modificada) nos períodos de inverno (jul-ago/2022) e verão (nov-dez/2022).

Taxon	Gênero	Grupo funcional
Hymenoptera		
Formicidae		
Dolichoderinae	*Dolichoderus* Lund, 1831	Predador
	Dorymyrmex Mayr, 1866	Predador
Ectatomminae	*Ectatomma* F. Smith, 1858	Predador
	Gnamptogenys Roger, 1863	Predador
Formicinae	*Plagiolepis* Mayr, 1861	Onívoro
	Camponotus Mayr, 1861	Onívoro
Myrmicinae	*Acromyrmex* Mayr, 1865	Herbívoro
	Atta Fabricius, 1804	Herbívoro
	Aphaenogaster Mayr, 1855	Predador
	Crematogaster Fabricius,1804	Onívoro
	Monomorium Mayr, 1855	Predador
	Mycocepurus Forel, 1893	Predador
	Pheidole Westwood, 1839	Onívoro
	Solenopsis Westwood, 1840	Onívoro
	Trachymyrmex Forel, 1893	Predador
Plagiolepidini	*Brachymyrmex* Mayr, 1868	Onívoro
Ponerinae	*Anochetus* Mayr, 1861	Predador
	Hypoponera Santschi, 1938	Predador
	Odontomachus Latreille, 1804	Predador
Pseudomyrmecinae	*Pachycondyla* F. Smith, 1858	Predador
Mutillidae	*Tetraponera* Smith, 1852	Predador
Sphaeropthalminae		Predador

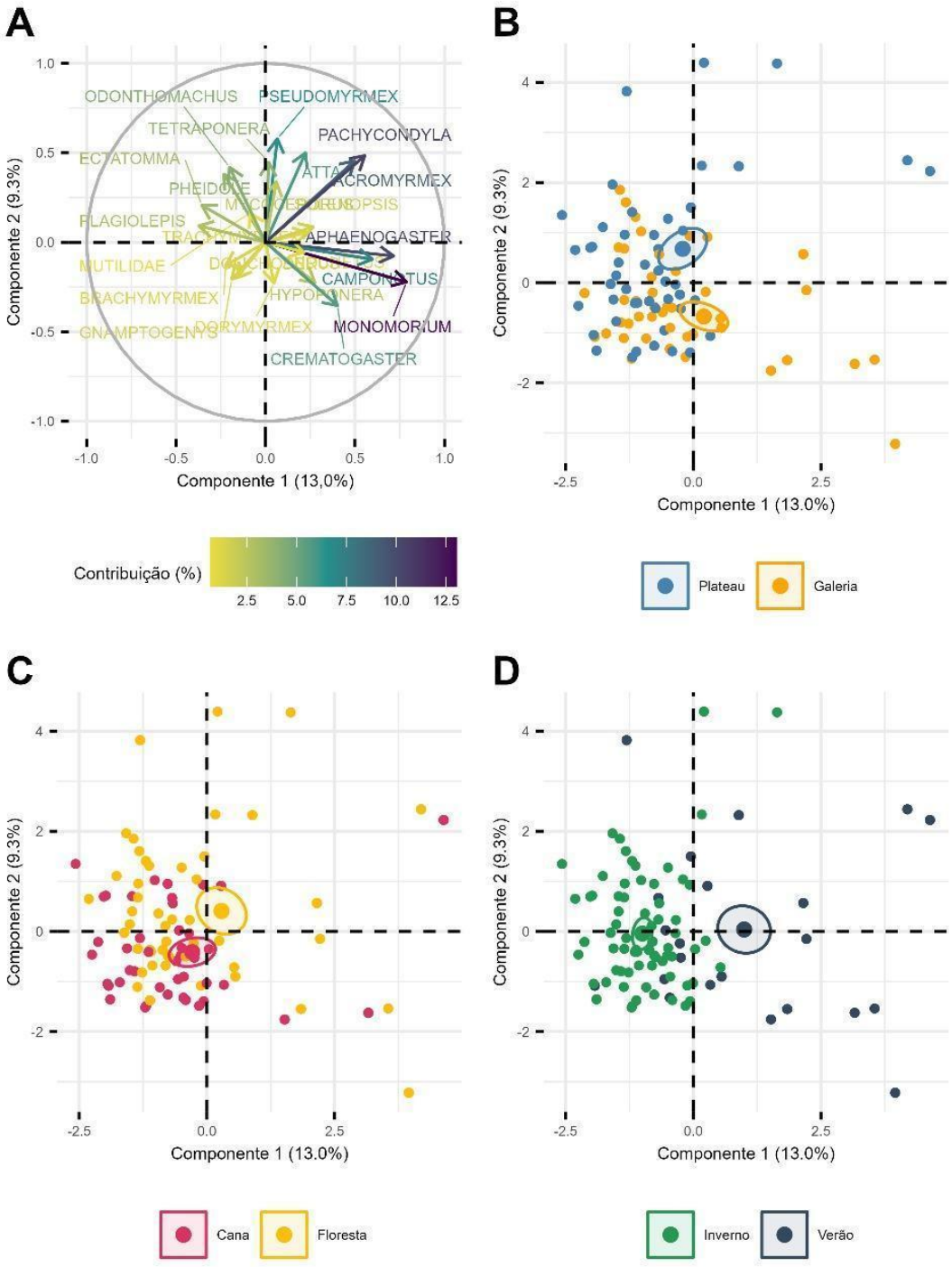


Fig. 4. Análise de componentes principais (PCA) da Mirmecofauna coletada das armadilhas *Pitfall* comuns. (A) Contribuição dos gêneros; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão).

Com relação ao grupo funcional (Tabela 1), o conjunto de gêneros de formigas predadoras foi o mais representativo, com 63,64%. O conjunto de formigas onívoras representou 27,27%, enquanto as herbívoras (cortadeiras) representaram 9,09% da composição total.

Os dados coletados das armadilhas *pitfalls* modificadas apontam similaridades entre a estrutura dos ambientes estudados e as armadilhas modificadas, através da análise de componentes principais (PCA) sobre a presença ou ausência dos mesmos gêneros em ambientes paralelos (Cana+Floresta) como mostrado na Fig. 3C, que permite identificar uma sobreposição nos dois ambientes. Os gêneros encontrados em comum nos ambientes estudados são similares, com destaque para *Dorymyrmex, Solenopsis, Anochetus* e *Plagiolepis* e *Pheidole,* que estão presentes em todos os ambientes.

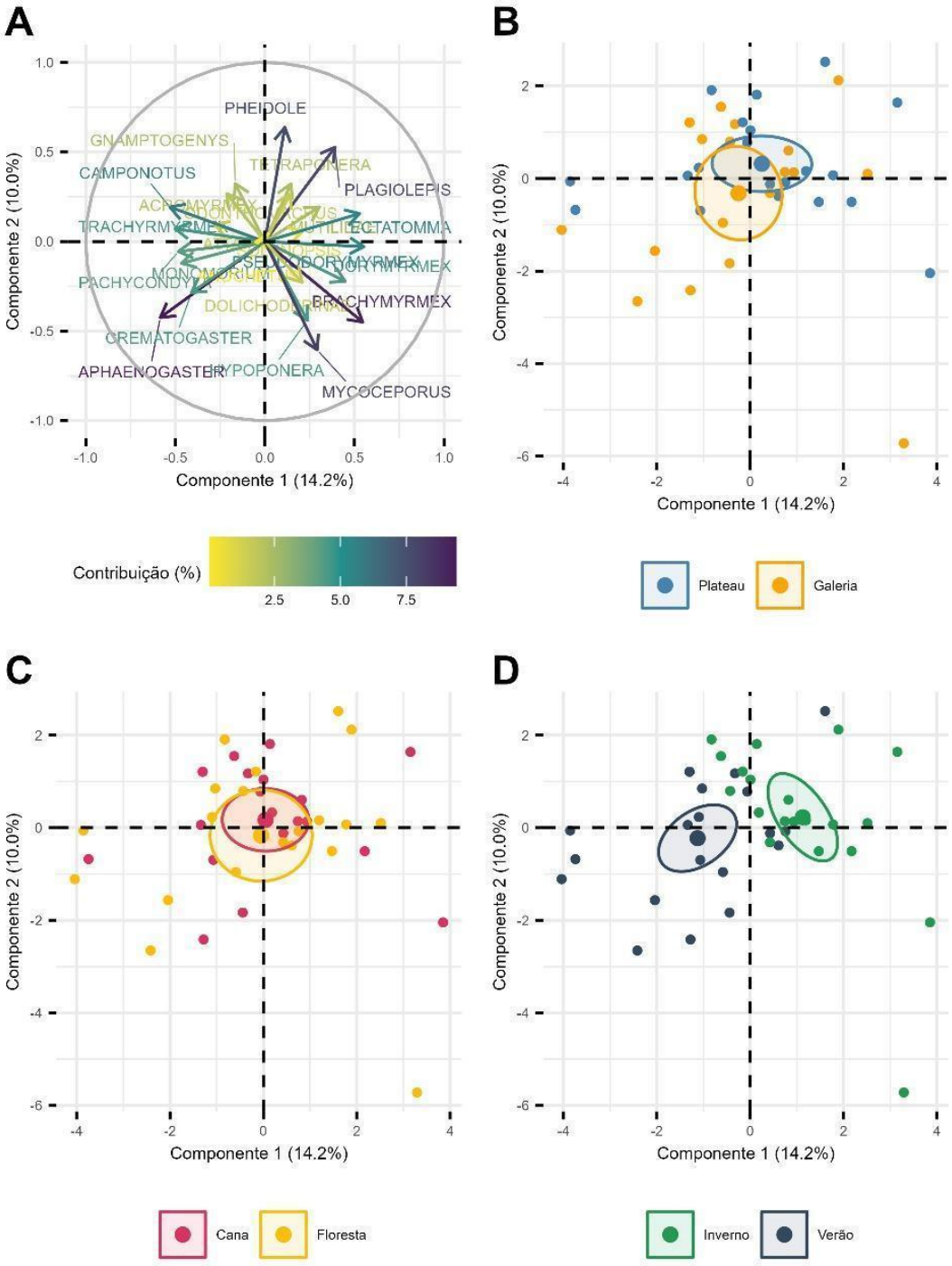


Fig. 5. Análise de componentes principais (PCA) da Mirmecofauna coletada das armadilhas *Pitfall* modificadas. (A) Contribuição dos gêneros; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão).

4.1.2 Análise multivariada sobre a composição da mirmecofauna

A análise multivariada apresentou diferenças significativas quanto à dispersão dos gêneros nos respectivos ambientes estudados. A Tabela 2 aponta diferenças significativas no tipo de estrutura (Cana/Floresta) e ainda na estrutura quando comparadas com tipo de fragmento (Plateau ou Cana) em relação aos pontos de dispersão.

Tabela 2. Resultados da análise multivariada não paramétrica (Permanova) sobre a dispersão dos dados quanto à estrutura e tipos de ambiente.

Fator	G.L.	S.Q.	F	R^2	p
Fragmento	1	1,146	3,7886	0,02236	0,1437
Estrutura	1	1,516	5,0115	0,02958	**0,0467**
Estação	1	4,241	15,3047	0,08276	**0,0472**
Fragmento x Estrutura	1	1,391	5,0203	0,02715	**0,0309**
Resíduo	156	47,192		0,92090	
Total	159	51,245		1,00000	

*G.L.= graus-liberdade; S.Q.= Soma de Quadrados

A análise Betadisper é uma análise de homogeneidade multivariada de dispersões de grupos para verificar se existe diferença de dispersão dos pontos dentro de cada grupo, sendo complementar à Permanova. Os resultados apontaram que a diferença significativa foi em relação não somente de dispersão, como também

intrinsecamente relacionada ao período sazonal amostrado (Tabela 3), evidenciando, que os períodos foram fatores determinantes na composição e dispersão dos artrópodes observados. O fator estação, determinante para presença ou ausência de formigas.

Tabela 3. Resultados da análise de homogeneidade multivariada de dispersão

Fator	G.L.	S.Q.	F	p
Fragmento	1	0,00081	0,0857	0,802
Resíduo	158	1,49815		
Estrutura	1	0,00072	0,0697	0,802
Resíduo	158	1,63309		
Estação	1	0,09884	13,425	**0,001**
Resíduo	158	1,16330		

*G.L.= graus-liberdade; S.Q.= Soma de Quadrados

Dos resultados representativos apontados pelo índice de dissimilaridade pela análise Simper, foram encontrados gêneros exclusivos em um dos ambientes. No ambiente seminatural das florestas, os gêneros exclusivos foram: *Aphaenogaster, Crematogaster, Dorymyrmex, Mutilidae, Mycoceporus e Pseudomyrmex*. Já no ambiente canavieiro, não foram encontrados gêneros exclusivos desse ambiente, porém isso não indica que os gêneros representativos não estavam presentes na cana (Tabela 4).

Tabela 4. – Comparação de dissimilaridades entre gêneros de formigas encontrados em cana e floresta

Gênero	Média	Desvio padrão	Abundância média Cana	Abundância média Floresta	Contribuição cumulativa	p
Aphaenogaster	**0,0481**	**0,0579**	**0,2125**	**0,4**	**0,0942**	**0,0046**
Pheidole	0,0531	0,0717	0,6375	0,8125	0,1772	0,066
Gnamptogenys	0,0153	0,0383	0,1375	0,0125	0,2594	0,1145
Dorymyrmex	**0,0649**	**0,0678**	**0,6375**	**0,35**	**0,3376**	**0,0002**
Plagiolepis	0,0566	0,066	0,45	0,2875	0,4147	0,1426
Atta	**0,0539**	**0,0587**	**0,275**	**0,475**	**0,4846**	**0,0082**
Trachymyrmex	0,0241	0,048	0,1	0,15	0,5453	0,4166
Pseudomyrmex	**0,0329**	**0,0514**	**0,05**	**0,3**	**0,6014**	**0,0002**
Camponotus	0,0572	0,0665	0,3625	0,45	0,6551	0,2171
Mutilidae	**0,0095**	**0,0323**	**0,0125**	**0,075**	**0,7028**	**0,0181**
Tetraponera	0,024	0,0483	0,1375	0,1125	0,7432	0,9957
Acromyrmex	0,0228	0,0407	0,1125	0,175	0,7818	0,164
Hypoponera	0,0131	0,0352	0,1	0,0375	0,8167	0,975
Solenopsis	**0,037**	**0,051**	**0,1375**	**0,3125**	**0,8516**	**0,0078**
Odonthomachus	0,0115	0,0343	0,025	0,0875	0,8848	0,046
Monomorium	0,0387	0,0541	0,2375	0,25	0,907	0,699
Brachymyrmex	0,0118	0,0411	0,075	0,0125	0,9261	0,9637
Pachycondyla	0,01	0,0277	0,05	0,075	0,9433	0,234

Anochetus	0,0278	0,0525	0,1375	0,15	0,96	0,4559
Mycoceporus	**0,0023**	**0,0145**	**0**	**0,025**	**0,9745**	**0,0073**
Dolichoderus	0,0266	0,0588	0,0875	0,1375	0,9883	0,3145
Ectatomma	0,0418	0,0635	0,2125	0,225	0,9967	0,99
Crematogaster	**0,0057**	**0,0225**	**0**	**0,0625**	**1,0000**	**0,0017**

Ainda, na análise de dissimilaridade, dos gêneros representativos, foi possível observar a predominância de gêneros nos diferentes tipos de fragmentos. Nos fragmentos de Galeria, apenas dois gêneros foram encontrados, *Gnamptogenys e Monomorium,* enquanto nos Fragmentos do tipo Plateau, os gêneros representativos foram *Pachycondyla, Pseudomyrmex, Odontomachus, Tetraponera* além da família Mutillidae, que foi também exclusiva dos fragmentos do tipo Plateau (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação de dissimilaridades entre gêneros de formigas encontrados em matas de galeria e plateau

Gênero	Média	Desvio padrão	Abundância média Galeria	Abundância média Plateau	Contribuição cumulativa	p
Aphaenogaster	0,0457	0,0568	0,3	0,3125	0,0883	0,9582
Pheidole	0,052	0,072	0,7	0,75	0,1719	0,668
Gnamptogenys	**0,0156**	**0,039**	**0,1375**	**0,0125**	**0,2554**	**0,0217**
Dorymyrmex	0,0605	0,0693	0,525	0,4625	0,3317	0,3641
Plagiolepis	0,0571	0,0669	0,3	0,4375	0,4077	0,0593
Atta	0,0523	0,0585	0,3125	0,4375	0,4744	0,1202
Trachymyrmex	0,0244	0,0491	0,1	0,15	0,5372	0,0997
Pseudomyrmex	**0,0317**	**0,0503**	**0,0625**	**0,2875**	**0,5991**	**0,002**
Camponotus	0,0572	0,066	0,475	0,3375	0,6509	0,2134
Mutilidae	**0,0095**	**0,0324**	**0,0125**	**0,075**	**0,6972**	**0,0294**
Tetraponera	**0,0254**	**0,0497**	**0,05**	**0,2**	**0,7376**	**0,0097**
Acromyrmex	0,0226	0,0404	0,125	0,1625	0,7765	0,649
Hypoponera	**0,0136**	**0,0355**	**0,125**	**0,0125**	**0,8136**	**0,0421**
Solenopsis	0,0354	0,0506	0,225	0,225	0,8493	0,619
Odonthomachus	**0,0117**	**0,0346**	**0,0125**	**0,1**	**0,8823**	**0,0111**
Monomorium	**0,0424**	**0,0542**	**0,3875**	**0,1**	**0,9051**	**0,0001**
Brachymyrmex	0,012	0,042	0,0375	0,05	0,9249	0,3971
Pachycondyla	**0,0105**	**0,0282**	**0**	**0,125**	**0,9424**	**0,0012**

Anochetus	0,0277	0,0521	0,1625	0,125	0,9595	0,8261
Mycoceporus	0,0023	0,0143	0	0,025	0,9748	0,0947
Dolichoderus	0,0266	0,0587	0,15	0,075	0,9887	0,3108
Ectatomma	0,043	0,0641	0,15	0,2875	0,9967	0,0695
Crematogaster	0,0055	0,0215	0,0625	0	1	0,21

4.2 Acarofauna

Em relação a Acarofauna, foram extraídos um total de 1.665 das 800 amostras coletadas. Esses ácaros pertencem às ordens Mesostigmata (Gamasina e Uropodina), Sarcoptiformes (Oribatida e Astigmatina) e Trombidiformes (Prostigmata) (Tabela 6). Os ácaros Mesostigmata da coorte Gamasina foram os mais representativos seguidos dos Sarcoptiformes da coorte Oritbatida. Os grupos menos abundantes foram os Trombidiformes e aqueles da coorte Uropodina.

Tabela 6. Diversidade total da acarofauna presentes em áreas de cultivo cana-de-açúcar e fragmentos florestais de mata atlântica na região Jaboticabal-SP utilizando o Método de Berlese-Tullgren nos períodos de **inverno e verão**.

Taxon	**N°. de indivíduos**
Mesostigmata	
Gamasina	877
Uropodina	52
Sarcoptiformes	
Oribatida	318
Astigmatina	372
Trombidiformes	
Prostigmata	46

Os Mesostigmata e os Astigmatina foram os grupos mais numerosos, como mostra a Tabela 6. Foram encontrados em números intermediários na área de vegetação natural e de cultivo de cana. Ainda, a análise de componentes principais indicou diferenças na distribuição das coortes em ambos ambientes (Cana e Floresta), conforme pode ser visualizado na Figura 4C. As coortes Astigmatina, Gamasina e Uropodina, estão mais distribuídas no ambiente seminatural, enquanto os Oribatídeos e Trombidiformes estão mais distribuídos no ambiente canavieiro.

Os oribatídeos e Trombidiformes (Prostigmata) foram muito mais abundantes na área de vegetação natural e muito menos abundantes na área de cana. Os Prostigmata foram sempre encontrados em números reduzidos, sendo, no entanto, mais numerosos cana, e em números semelhantes nas áreas de cultivo de cana.

Ainda assim, as áreas de cultivo de cana-de-açúcar apresentaram grande semelhança na abundância de ácaros edáficos de acordo com a proximidade com o fragmento de vegetação natural. As áreas de cultivo de cana-de açúcar próximas ao fragmento de Mata Atlântica (Plateau) exibiram maior abundância de ácaros edáficos predadores.

As diferenças mais significativas da acarofauna foram em relação à sazonalidade (Fig. 6D), evidenciando uma clara diferenciação entre o período de inverno, em que os ácaros foram muito mais abundantes com 1.191 indivíduos, comparados à estação verão, em que foram encontrados somente 474 ácaros. Isso corresponde a menos de 50% da abundância observada no inverno.

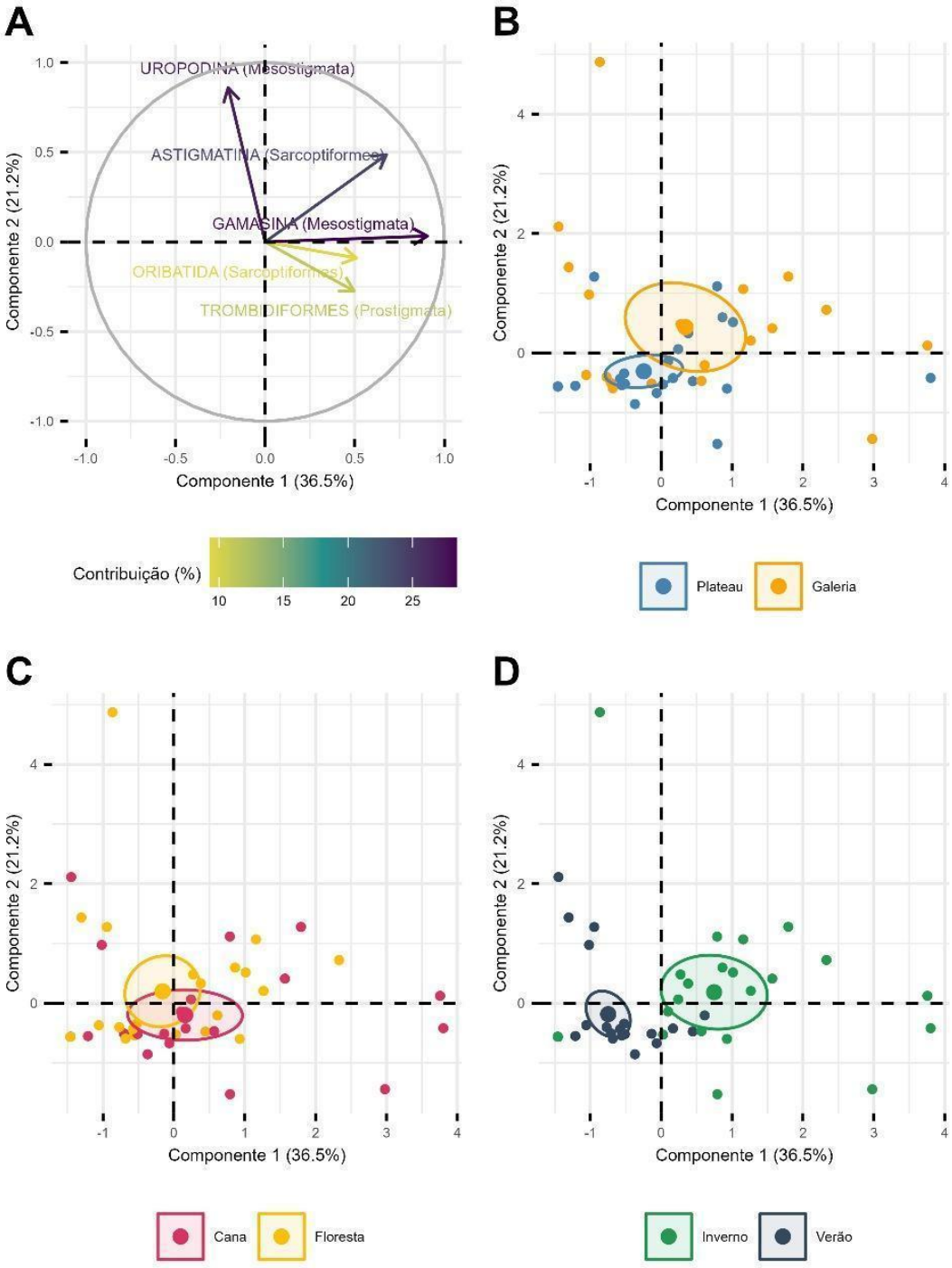


Fig. 6. Análise de componentes principais (PCA) da acarofauna coletada nas 10 áreas estudadas. (A) Contribuição das coortes; (B) Gráfico Biplot para os tipos de fragmentos (Plateau e Galeria); (C) Biplot para os dois ambientes avaliados (Fragmentos florestais e Cana-de-açúcar); (D) Biplot para estações sazonais (Inverno e Verão).

4.2.1 Análise multivariada da acarofauna edáfica

Diferente dos dados da mirmecofauna, em que a estrutura foi significativa, a análise multivariada apresentou resultados significativos quanto à estação e ao tipo de fragmento, provando que esses fatores foram importantes para a presença e dispersão dos ácaros (Tabela 7).

Tabela 7. Resultados da análise multivariada não paramétrica sobre a dispersão dos dados quanto à estrutura e tipos de ambiente.

Fator	G.L.	S.Q.	F	R2	p
Fragmento	1	0,5016	2,1363	0,04160	**0,0001**
Estação	1	1,6177	6,8895	0,13415	**0,0001**
Estrutura	1	0,2199	0,9365	0,01823	0,4803
Fragmento x Estação	1	0,5626	2,3961	0,04665	**0,0259**
Resíduo	39	9,1574		0,75937	
Total	43	12,0592		1,00000	

*G.L.= graus-liberdade; S.Q.= Soma de Quadrados

A análise Betadisper, complementar à Permanova, permitiu comprovar que quando os fatores não foram significativos, foi possível realizar uma nova análise excluindo esses fatores. Com isso, a análise Betadisper evidenciou que a estação foi o fator principal para presença, quantidade e dispersão dos dados da acarofauna (Tabela 8). Isso corrobora a análise de componentes principais que mostrou uma clara

diferença entre as estações de inverno e verão, sendo a estação de inverno 68,06 % vezes maior que o verão em relação ao verão 38,02%.

Tabela 8. Resultados da análise de homogeneidade multivariada de dispersões (Betadisper) da acarofauna.

Fator	G.L.	S.Q.	F	p
Fragmento	1	0,00114	0,049	0,829
Resíduo	42	0,97650		
Estrutura	1	0,00589	0,2542	0,612
Resíduo	42	0,97236		
Estação	1	0,10947	4,8224	**0,038**
Resíduo	42	0,95342		

*G.L.= graus-liberdade; S.Q.= Soma de Quadrados

Através da análise de percentagem de similaridade (Simper) foi observado resultado significativo enquanto ao tipo de ambiente. Apenas a coorte Gamasina apresentou-se mais abundante em florestas do tipo Galeria (22,55%) quando comparadas às florestas do tipo Plateau (Tabela 9).

Tabela 9. Comparação de dissimilaridades entre coortes de ácaros encontrados em matas de galeria e plateau

Gênero	Média	Desvio padrão	Abundância média Cana	Abundância média Floresta	Contribuição cumulativa	p
Oribatida	0,1288	0,1135	8,05	7,0417	0,3818	0,2487
Astigmatina	0,1393	0,1239	11,2	6,1667	0,6104	0,0899
Uropodina	0,0391	0,0637	2,1	0,7083	0,8217	0,0475
Gamasina	**0,2326**	**0,1527**	**22,55**	**17,75**	**0,9358**	**0,3003**
Trombidiformes	0,0695	0,1313	1,1	3,75	1	0,8415

A análise Simper sobre dissimilaridade apresenta resultados robustos certeiros quanto aos fatores analisados. Os resultados apresentados na Tabela 10 evidenciam que a sazonalidade foi um fator determinante na abundância de ácaros da coorte Astigmatina e Gamasina. Ambas coortes foram encontradas com maior abundância no inverno comparadas ao verão.

Tabela 10. Comparação de dissimilaridades entre coortes de ácaros encontrados no inverno e verão

Gênero	Média	Desvio padrão	Abundância média Verão	Abundância média Inverno	Contribuição cumulativa	p
Oribatida	0,1303	0,1191	4,75	10,8	0,3737	0,1337
Astigmatina	**0,19**	**0,1412**	**1,7917**	**16,45**	**0,6663**	**0,0001**
Uropodina	0,0309	0,0526	1,4167	1,25	0,867	1
Gamasina	**0,2427**	**0,1556**	**11,8333**	**29,65**	**0,9525**	**0,0285**
Trombidiformes	0,0555	0,0903	2,9583	2,05	1	1

5. DISCUSSÃO

A predominância das formigas das subfamílias Myrmicinae, Dolichoderinae, Formicinae e Ponerinae, conforme observado neste estudo, evidencia a ampla diversidade dentro da família Formicidae. A observação de uma maior presença de gêneros de formigas em fragmentos florestais, em contraste com os cultivos de cana-de-açúcar, indica uma influência significativa da agricultura,predominantemente baseada em monocultivo, sobre a diversidade desses insetos.

Esse fenômeno se deve à estrutura mais uniforme dos habitats nas plantações em comparação com os fragmentos, resultando em menor capacidade de sustentação para uma variedade de espécies (McIntosh, 1967; Rieb, 2020). Ambientes homogêneos, no que se refere aos recursos disponíveis, tendem a favorecer um número restrito de espécies que são competitivamente dominantes (Tilman, 1982). No contexto das formigas em ambientes agrícolas, predominam geralmente aquelas mais agressivas, dotadas de uma grande capacidade de recrutamento, como ocorre com formigas dos gêneros *Pheidole* e *Solenopsis* (Holway et al., 2002; Silva e Silvestre, 2004).

A composição de gêneros foi distinta entre as estruturas estudadas (Cana e Floresta). A menor prevalência de gêneros presentes na cana-de-açúcar e a maior nas áreas florestais é explicada devido à heterogeneidade e perturbação da vegetação existente. Ambientes agrícolas causam perturbação no sistema e podem aniquilar com as colônias, enquanto as que estão no ambiente semi natural se encontram protegidas (Chomicki e Renner, 2017).

Ao longo do tempo, práticas de manejo podem ter modificado a composição e a diversidade local de espécies, afetando a distribuição das formigas. Os fragmentos florestais servem possivelmente como refúgio (Santos et al., 2018), especialmente para a subfamília Myrmicinae que é considerada a maior e mais diversificada de formigas, tanto em termos regionais quanto globais, devido à sua notável capacidade de adaptação a uma ampla gama de nichos ecológicos (Holldobler e Edward, 1988). Há relatos da presença desse grupo especialmente em áreas de plantios mais abertos e ambientes não perturbados por preferirem locais com clima mais constante e maior riqueza de espécie de vegetação (Leal, 1993; King et al., 1998). Isso corrobora o resultado obtido no presente trabalho.

Além disso, tais práticas de manejo adotadas nas lavouras, que envolvem sucessivos plantios, revolvimento do solo e colheitas, resultam em uma alta frequência de perturbações sazonais. Essas perturbações mantêm a sucessão de espécies em estágios iniciais (Connell, 1978). Nos estágios iniciais, prevalecem as espécies pioneiras com uma significativa capacidade de colonização e dispersão (Esteca, 2021), evidenciando que a variação nas características ambientais pode alterar significativamente o padrão de riqueza de formigas em determinada região. Essas mudanças estão mais relacionadas à diversidade de habitats disponíveis localmente e outros fatores que atuam em escala próxima, como a estrutura física e as alterações antrópicas do ambiente, por exemplo. Conforme discutido por Rossi e Fowler (2004), esses fatores exercem uma influência fundamental na composição das comunidades de formigas em determinado local, pois refletem diretamente as condições e recursos disponíveis para esses insetos em sua área de atuação.

Os gêneros *Brachymyrmex, Odontomachus e Pheidole* são frequentemente encontrados de forma abundante em coletas de formigas de serapilheira em áreas florestadas, muitas vezes apresentando maior riqueza em relação a outros gêneros (Leal, 2002; Corrêa et al., 2006). Além disso, Fernandes (2003) mostrou resultados de que a elevada captura de espécies de *Pheidole* pode estar associada à sua eficiência no recrutamento em massa, comportamento bastante comum deste grupo (Santos et al., 2010). Essas características podem explicar a maior frequência de captura de espécies dos gêneros citados em ambientes não perturbados.

Por outro lado, um outro grupo funcional identificado e representativo foi o de formigas cortadeiras, composto por *Atta e Acromyrmex*, que consistem em formigas oportunistas associadas ao solo e vegetação (Silvestre e Silva, 2001). Este grupo foi observado mais frequentemente em áreas de plantio de cana-de-açúcar, que oferece abrigo e camada de folhas em decomposição, propícios para seu desenvolvimento (Rieb, 2020). Ainda, foram consideradas como herbívoras, porém são formigas cortadeiras cultivadoras de fungos.Formigas pertencentes a esses gêneros cortam e transportam pedaços vegetais, de plantas nativas e cultivadas, para dentro dos formigueiros onde, em câmaras especiais (denominadas panelas), são utilizados como substrato para o cultivo de um fungo simbionte, do qual se alimentam (Loeck et al., 2001; Hölldobler e Wilson, 1990).

Sabe-se que as espécies pertencentes ao gênero *Camponotus e Solenopsis* se destacam por sua notável agressividade ao explorar os recursos disponíveis nas amostras de serapilheira (Silva e Silvestre, 2004). Adicionalmente, os ninhos de Solenopsis são superficialmente localizados, o que resulta em sua representatividade significativa nas amostras das camadas mais superficiais do solo (Marinho et al.,

2002). Esse tipo de ninho é especialmente comum em ambientes agrícolas e naturais, sendo frequentemente observado (Delabie e Fowler, 1995).

Alguns estudos anteriores têm investigado a comunidade de formigas conforme se adentra a floresta (Carvalho e Vasconcelos, 1999; Silva et al., 2022). Entretanto, no presente estudo procurou-se verificar eventual movimentação em ambas as direções, ou seja, ao entrar na floresta e ao entrar na área de plantio de cana-de-açúcar. Embora armadilhas do tipo pitfall tenham sido modificadas e utilizadas neste estudo para compreender a questão da movimentação, as informações coletadas sobre a biodiversidade no agroecossistema de cana-de-açúcar associados a fragmentos florestais podem ser valiosas para futuras pesquisas relacionadas ao controle biológico. Conhecer a diversidade de artrópodes, incluindo os predadores, é essencial nessas investigações, uma vez que esses organismos desempenham um papel crucial no equilíbrio ecológico do agroecossistema e podem influenciar diretamente na dinâmica das populações de pragas e outros insetos (Goés, 2021).

Ainda, diversos são os estudos que apontam as formigas como eficazes agentes de controle de pragas em cana-de-açúcar (Rossi e Fowler, 2004; Araújo et al., 2005), porém pouco se sabe sobre os inventários de levantamento e identificação desse grupo nos ecossistemas naturais com adjacência a cana-de-açúcar e como tal informação permite prevenção ou remediação de impactos nos diferentes ambientes. Dentro deste cenário é possível esperar maiores benefícios advindos dos serviços ambientais que podem ser prestados pelas formigas, como controle de pragas nos cultivos, visto que os principais gêneros de formigas predadoras foram encontrados em ambos os ambientes de estudo.

A comparação entre os tipos de fragmentos, mostrou que de fato, os efeitos da fragmentação de habitats juntamente com a perturbação antrópica sobre o microclima

e a vegetação possibilitam a adaptação não só de formigas, mas de muitos grupos de insetos para colonizarem os agroecossistemas (Mcintyre, 2000). Houve uma predominância de apenas dois gêneros nos fragmentos de Galeria (*Gnamptogenys e Monomorium*), enquanto em fragmentos do tipo Plateau houve uma predominância de quatro gêneros (*Pseudomyrmex, Pachycondyla, Odontomachus, Tetraponera*) e uma família (Mutillidae).

Em relação a movimentação, as formigas predadoras mostraram-se presentes nos dois ambientes estudados (Cana e Floresta), com destaque para os gêneros *Dolichoderus, Dorymyrmex, Gnamptogenys, Hypoponera, Monomorium e Soleopsis*. Esses resultados indicam que, possivelmente, as espécies são similares, em composição, nos dois ambientes (fragmentos de floresta e cana-de-açúcar), o que pode estar relacionado com a hipótese de que há uma interação entre os dois ambientes permitindo movimentação dos artrópodes entre eles. Portanto, a necessidade de uma investigação mais detalhada nesse ecossistema específico é evidente. Todavia, é plausível considerar que as alterações antrópicas possam ter favorecido a mobilidade dos artrópodes entre diferentes áreas, acelerando a recolonização do ambiente após perturbações, como explica Santos et al. (2017). Além disso, a existência de uma maior heterogeneidade resultante dessa dinâmica pode levar a uma ampla disponibilidade de nichos e à redução da competição entre as espécies, o que, por sua vez, possibilita uma maior coexistência de diversidade em uma mesma área geográfica (Gurr, 2017; Deguini et al., 2021).

Em relação a acarofauna, a maior diversidade de ácaros na área de vegetação natural da Mata Atlântica, conforme observado neste estudo, era esperada devido a presença de uma ampla variedade de micro-habitats nesta região. Essa tendência também tem sido verificada em outras pesquisas relacionadas à acarofauna do Brasil

(Silva, 2002; Santos, 2013; Marticorena, 2017). A existência de diferentes microambientes na Mata Atlântica favorece a presença e a diversidade de ácaros, pois cada nicho pode oferecer condições e recursos específicos para esses organismos, permitindo sua adaptação e coexistência em maior número de espécies. Esses achados reforçam a importância da conservação desses ecossistemas naturais como meio de preservar a diversidade de ácaros e o equilíbrio ecológico da região.

Em todas as áreas de coleta, foi observada a presença de uma camada de serapilheira, que consiste em matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, depositada no solo. Os ácaros Gamasina, que são principalmente predadores, são favorecidos pela abundância de organismos encontrados na serapilheira e nas primeiras camadas do solo (Lee, 1974; Walter et al., 1988; Moraes et al., 2009). Isso pode ser explicado pela maior diversidade de substratos alimentares oferecidos na área de vegetação natural. Além disso, a diversidade de componentes vegetais nas áreas naturais, juntamente com a ausência de interferência antrópica, como o uso de implementos agrícolas, favorece a estruturação do solo, resultando em uma melhor porosidade. Isso, por sua vez, facilita a movimentação dos ácaros pelas camadas do solo enquanto procuram por alimento. A presença de uma rica camada de serapilheira e as características favoráveis do solo na vegetação natural são fatores essenciais que promovem o desenvolvimento e a diversidade dos ácaros Gamasina nessas áreas de estudo.

Em relação à sazonalidade, a maior proporção de ácaros Gamasina foi observada durante o período de inverno. Tal resultado pode ter sido influenciado pelo volume de precipitação maior visto que, apesar da média de pluviosidade ser considerada mais baixa no inverno, o período observado (inverno de 2022- Jul - Aago) apresentou-se incomum quando comparados a outros anos em que a precipitação

média é de 53mm, alcançando uma média de 125,6 mm (Group of Agrometeorological Studies - GAS - UNESP/FCAV). A umidade do solo também desempenha um papel crucial na comunidade de ácaros edáficos (Castilho et al., 2015). Durante o inverno, o aumento da precipitação pode favorecer condições mais úmidas no solo, o que pode ser favorável para o desenvolvimento e a atividade dos ácaros. A disponibilidade de água no solo é um fator importante que afeta sua sobrevivência, reprodução e mobilidade, e, portanto, pode explicar a maior presença desses ácaros durante esse período específico de coleta.

Os resultados apontaram que no inverno a presença dos ácaros foi bem maior em relação ao verão. Essa relação entre a sazonalidade e a abundância dos ácaros destaca a importância de considerar as condições climáticas e ambientais ao estudar a ecologia desses organismos, principalmente os ácaros predadores da família Phytoseiidae (coorte Gamasina), atualmente reconhecidos como os principais agentes de controle biológico de ácaros fitófagos em cultivos agrícolas. Nesta família encontram-se algumas espécies fundamentais para o manejo do ácaro-rajado no Brasil, tais como *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Stopar; Trdan; Bartol, 2020), além de predarem outros grupos de praga como o tripes do prateamento do amendoim*, Enneothrips enigmaticus* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae) (Valério, 2023).

Por fim, os resultados no presente trabalho evidenciam a urgência de adotar práticas agrícolas sustentáveis, visando aprimorar tanto a biodiversidade quanto os serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, os serviços fornecidos pela paisagem emergem como um campo de estudo dinâmico, que investiga não apenas a configuração espacial, mas também a influência de elementos externos nos ecossistemas. A implementação de práticas de gestão baseadas na biodiversidade revela-se um desafio complexo, demandando um conhecimento aprofundado, a

integração de práticas agrícolas e uma compreensão abrangente de processos ecológicos que se manifestam em diferentes escalas espaciais e temporais. Portanto, compreender minuciosamente a influência desses processos ecológicos sobre artrópodes edáficos representa um ponto crucial para a incorporação efetiva dos componentes da paisagem em programas de manejo, visando extrair o máximo benefício dos serviços prestados, com destaque para o controle biológico de pragas.

6. CONCLUSÕES

- O ambiente seminatural e, portanto, de menor perturbação antrópica, abriga maior diversidade de formigas e ácaros edáficos em relação ao ambiente agrícola.
- Há predominância de formigas e ácaros predadores nos fragmentos florestais, que podem funcionar como refúgio e suprir o serviço ecossistêmico de controle biológico.
- A comunidade de ácaros edáficos, diferentemente da mirmecofauna, apresenta sazonalidade.
- Ambientes de fragmentos florestais e de cana-de-açúcar apresentam similaridade entre as comunidades de formigas e ácaros edáficos.
- Embora diversos grupos de formigas e ácaros ocorram nos dois tipos de fragmentos Plateau e Galeria, o tipo de fragmento pode conter grupos exclusivos.
- Os fragmentos florestais são um ambiente alternativo efetivo para grupos cujas funções ecológicas contribuem com serviços ecossistêmicos.

7. REFERÊNCIAS

Andow DA (1991) Vegetational diversity and arthropod population response. **Annual review of entomology,** v. 36, n. 1, p. 561-586.

Andréa MM (2010) O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta zoológica mexicana**, v. 26, n. SPE2, p. 95-107.

Aquino AM, Aguiar-Menezes EL, Queiroz JM (2006) Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (“pitfall-traps”). Circular Técnica, 16. **Embrapa**. Rio de Janeiro. 8p.

Apolinário LCMH.et al., (2019) Diversity and guilds of ants in different land-use systems in Rio de Janeiro State, Brazil. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v.26, n.4, p. e20171152

Araújo RUA, Araújo MS, Gonring AHR, Guedes RNC (2005) Impacto da queima controlada da palhada da cana-de-açúcar sobre a comunidade de insetos locais. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 649-658.

Baretta D. et al., (2011) **Fauna edáfica e qualidade do solo.** Tópicos em ciência do solo, v.7, p.119-170.

Baretta D, Brown GG, Cardoso EJBN (2010) Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia. **Acta Zool. Mex**, Xalapa , v. 26, n. spe2, p. 135-150.

Bharti H, Bharti M, Pfeiffer M (2016) Ants as bioindicators of ecosystem health in Shivalik Mountains of Himalayas: assessment of species diversity and invasive species. **Asian myrmecology**, v. 8, n. 1, p. 65-79.

Bertrand, G (1971) Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, n. 13, p. 1-27.

Blitzer EJ, Dormann CF, Holzschuh A, Klein AM, Rand TA, Tscharntke T (2012) Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. Agriculture, **Ecosystems & Environment**, v. 146, n. 1, p. 34–43.

Blassioli-Moraes MC et al. (2022) Companion and smart plants: scientific background to promote conservation biological control. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 2, p. 171–187.

Brady MJ. et al. (2011) Matrix is important for mammals in landscapes with small amounts of native forest habitat. Landscape Ecology, v. 26, p. 617-628.

Boer PJ (1981) On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment. **Oecologia**, v. 50, n. 1, p. 39-53, 1981.

Borror DJ, Triplehorn CA,Johson NF (2011) **Estudos dos Insetos** (Tradução da sétima edição). Editora Cengage Learning, São Paulo.

Cagnolo, L., & Tavella, J (2015) The network structure of myrmecophilic interactions. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 5, p. 553-561.

Carvalho CJB, De Mello-Patiu CA (2008) Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. Revista Brasileira de Entomologia, v. 52, p. 390-406.

Carvalho FMV, Júnior PM, Ferreira L (2009) The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biol Cons** 142:351 1392-1403.

Carvalho FMV, Júnior PM, Ferreira L (2009) The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological conservation**, v. 142, n. 7, p. 1392-1403.

Carvalho KS, Vasconcelos HL (1999) Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. **Biological Conservation**, v. 91, n. 2-3, p. 151-157.

Cario M (2020) Plant and arthropod diversity in forest fragments with different levels of disturbance. **Life Sciences**. 03,014-501f

Castilho RC, Venancio R, Narita JPZ (2015) **Mesostigmata as biological control agents, with emphasis on Rhodacaroidea and Parasitoidea**. In: Carrillo D., Moraes GJ & Peña JE. (Eds.), Prospects for Biological Control of Plant Feeding Mites and Other Harmful Organisms. London, Springer, pp.1–31.

Chomicki G, Renner SS. (2017) The interactions of ants with their biotic environment. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 284, n. 1850, p. 2017-0013.

Corrêa MM, Fernandes WD, Leal IR (2006) Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera: Formicidae) em capões do Pantanal Sul Matogrossense: relações entre riqueza de espécies e complexidade estrutural da área. **Neotropical Entomology**, v. 35, p. 724-730.

Collinge SK (2000) Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization, and movement patterns. **Ecology**, v. 81, n. 8, p. 2211-2226.

Constantino R, Rafael JA, Melo GAR, Carvalho CD, Casari SA (2012) Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto: **Holos**, 810 p.

Connell JH (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. In: **Foundations of Ecology II**. University of Chicago Press p. 114-122.

Dauber J, Wolters V (2004) Edge effects on ant community structure and species richness in an agricultural landscape. **Biodivers Conserv** 13: 901–915.

Dalotto CES, Sühs RB, Dechoum MS, Pugnaire FI, Peroni N, Castellani TT (2018) Facilitation influences patterns of perennial species abundance and richness in a subtropical dune system. **AoB Plants**, v. 10, n. 2, p. ply017.

Deguine JP, Aubertot JN, Flor RJ, Lescourret F, Wyckhuys KAG, Ratnadass A. (2021) Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. **Agronomy for sustainable development** 41:38.

Deguine JP, Aubertot JN, Flor RJ, Lescourret F, Wyckhuys KAG, Ratnadass A. (2021) Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 3, p. 38.

Devide ACP, Castro CM (2008) **Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica. São Paulo**: Apta Regional, p.7.

Duarte GT et al (2018) The effects of landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. Landscape **Ecology**, v. 33, p. 1247-1257.

Dunning JB, Brent JD, H Ronald P (1992) Ecological processes that affect populations in complex landscapes. **Oikos**, p. 169-175.

Esteca, FDCN (2021) **Environmental management strategies for pest control in strawberry crop**. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brazil.

Ehrlich PR, Murphy DD, Singer MC, Sherwood CB, White RR, Brown IL (1980) Extinction, reduction, stability and increase: the responses of checkerspot butterfly (*Euphydryas*) populations to the California drought. **Oecologia**, v. 46, p. 101-105.

Fernandes WD (2003) Biodiversidade de formigas no Pantanal sul-mato-grossense. **Anais do XVI Simpósio de Mirmecologia**, Florianópolis, UFSC, 7-11.

Gagic V, Paull C, Schellhorn NA (2018) Ecosystem service of biological pest control in Australia: the role of non-crop habitats within landscapes. **Austral Entomology**, v. 57, n. 2, p. 194–206.

Gallo D et al. (2002) **Entomologia agricola**. 920 p.

Góes QR de, Freitas LDR, Lorentz LH, Vieira FCB, Weber MA (2021) Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal,** v. 31, p. 123-144.

Goethe J, Dorman, S, Wang H, Kennedy G, Huseth A (2022) Spatial and temporal patterns of *Frankliniella fusca* (Thysanoptera: Thripidae) in wheat agroecosystems. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, n. 5, p. 570-578.

Gongalsky KB. et al. (2016) Diversity of the Soil Biota in Burned Areas (Tver Oblast) of Southern Taiga Forests. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v. 49, p. 358-366.

Greggio TC, Pissarra TCT, Rodrigues FM (2009) Evaluation of forest fragment in JaboticabaL-SP. **Revista Árvore**, v. 33, p. 117-124.

Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You M (2017) Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. **Annual review of entomology,** v. 62, p. 91-109.

Guimarães, PR (2020) The structure of ecological networks across levels of organization. **Annual Review of Ecology**, Evolution, and Systematics, v. 51, p. 433-460.

Hatt S, Boeraeve F, Artru S, Dufrêne M, Francis F (2018) Spatial diversification of agroecosystems to enhance biological control and other regulating services: An agroecological perspective. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 600-611.

Haan NL, Zhang Y, Landis DA (2020) Predicting landscape configuration effects on agricultural pest suppression. **Trends in Ecology & Evolution,** v. 35, n. 2, p. 175–186.

Heisler C, Kaiser EA (1995) Influence of agricultural traffic and crop management on collembola and microbial biomass in arable soil. **Biology and Fertility of Soils,** v. 19, p. 159-165.

Holland JM, Bianchi FJ, Entling MH, Moonen AC, Smith BM, Jeanneret P (2016) Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies. **Pest Management Science**, v. 72, n. 9, p. 1638–1651.

Hölldobler B, Wilson EO. (1990) **The ants**. Harvard University Press.

Hölldobler B, Edward OW (1988) **Journey to the ants: A story of scientific exploration.** Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Jílková V, Matejí ˇ cek, ˇ L, Frouz J (2011) Changes in the pH and other soil chemical parameters in soil surrounding wood ant (Formica polyctena) nests. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 1, p. 72-76.

Jonsson M. et al. (2010) Habitat manipulation to mitigate the impacts of invasive arthropod pests. **Biological Invasions**, v. 12, n. 9, p. 2933–2945.

Karp DS. et al. (2018) Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 33, p. E7863-E7870.

Kaspari M (2000) A primer on ant ecology. Pp. 9-24. In: Agosti D, Majer JD, Alonso LE, Schultz TR (Org.), **Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity.** Smithsonian Institute Press, Washington. 280p.

King JR, Andersen AN, Cutter AD (1998) Ants as bioindicators of habitat disturbance: validation of the functional group model for Australia's humid tropics. **Biodiversity & Conservation**, v. 7, p. 1627-1638.

Koleff P, Gaston KJ, Lennon JJ (2003) Measuring beta diversity for presence–absence data. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, n. 3, p. 367-382.

Leal CG, Gusmão CI (2003) **The atlantic forest of south america: biodiversity status, threats, and outlook**. Island Press. Vol 1.

Leal IR (2002) Diversidade de formigas no estado de Pernambuco. Atlas da Biodiversidade de Pernambuco, **Editora Massangana e SECTIMA**, Recife, p. 483-492.

Lee D.C (1974) Rhodacaridae (Acari: Mesostigmata) from near Adelaide. Australia. 3. Behaviour and development. **Acarologia**, v. 16, n. 1, p. 21-44.

Lee KE (1994) The biodiversity of soil organisms. **Applied Soil Ecology**, v.1, p.251- 254.

Lindquist EE, Krantz GW, Walter DE. (2009) Order Mesostigmata. **A Manual of Acarology**, Third Edition, Texas Tech University Press, Lubbock, Texas, p. 124–232.

Loeck AE, Grützmacher D, Storch, G (2001) Distribuição geográfica de *Atta sexdens* piriventris Santschi, 1919, nas principais regiões agropecuárias do Estado do Rio Grande do Sul. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 7, n. 1.

Louzada J, Zanetti R (2013) Bioindicadores. In: Moreira FMS, Cares JE, Zanetti R, Sturmer SL. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal.** Lavras: UFLA, p. 139-168.

Mace GM, Norris K, Fitter AH (2012) Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. **Trends in Ecology & Evolution**, 27(1), p. 19- 26.

Marion LF (2011) **Avaliação da qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares em sistema de cultivo convencional e de bases ecológicas**, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS.

Marticorena JLM (2017) **Alteração da composição faunística dos ácaros edáficos de acordo com o uso do solo na região centro-sul do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 106 p., 2021.

Martins L, Almeida FS, Mayhé-Nunes AJ, Vargas AB (2011) Efeito da complexidade estrutural do ambiente sobre as comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no município de Resende, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociência**, Porto Alegre, v.9, n.2, p. 174-179.

Mcintrye NE (2000) The ecology of urban arthropods: A review and a call to action. **Annals of the Entomological Society of America, BioOne**, Arizona State University, v. 93, n. 4, p. 825-835.

Mcintosh RP (1967) An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. **Ecology**, v. 48, n. 3, p. 392-404, 1967.

McGeoch MA (1998) The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological reviews**, v. 73, n. 2, p. 181-201.

Mct. (2017) Ministério da Ciência e Tecnologia. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica: período de 2015-2016**. Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo.

Millennium Ecosystem Assessment, (2005) **Ecosystems and human well-being: wetlands and water.** (World resources institute). 68 p.

Mooney HA, Ehrlich PR, Daily GE (1997) Ecosystem services: a fragmentary history. Nature's services: **Societal dependence on natural ecosystems**, p. 11-19.

Moraes GJ. Lindquist EE, Krantz GW, Walter DE (2009) Order Mesostigmata. In: Krantz GW, Walter DE (Eds.) **A Manual of Acarology**. Lubbock, Texas: Texas Tech University Press, p. 124-232.

Moskowitz NA, Dorritie B, Fay T, Nieves OC, Vidoudez C (2017) Land use impacts poison frog chemical defenses through changes in leaf litter ant communities. **Neotropical Biodiversity**, v. 6, n. 1, p. 75-87.

Nunes JS (2010) **Atributos Biológicos do solo de Áreas em diferentes Níveis de Degradação no Sul do Piauí.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas). Universidade federal do Piauí, Câmpus Professorra Cinobelina Elvas, Bom Jesus, PI.

Oksanen J. et al. (2022) vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. 2020. **Preprint** at, p. 3.1-152.

Oliveira-Filho AT, Fontes MAL (2000) Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, 32(4b), p. 793- 810.

Petit S, Deytieux V, Cordeau S (2021) Landscape-scale approaches for enhancing biological pest control in agricultural systems. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 1–13.

Power, AG (2010) Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–2971.

Rafael JA. et al. (2012) Insetos do Brasil, Diversidade e Taxonomia. **Holos Editora**, Ribeirão Preto. 810p.

Rezende CL, Scarano FR, Assad ED, Joly CA, Metzger JP, Strassburg BBN, Tabarelli M, Fonseca GA, Mittermeier RA (2018) From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214.

Rieb, JT, Bennett, EM (2020) Landscape structure as a mediator of ecosystem service interactions. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 12, p. 2863–2880.

Risch AC, Jurgensen MF, Schutz M, Page-Dumroese DS (2005) The contribution of red wood ants to soil C and N pools and CO2 emissions in subalpine forests. **Ecology**, v. 86, n. 2, p. 419-430.

Rossi MN, Fowler HG (2004) Predaceous ant fauna in new sugarcane fields in the state of São Paulo, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, p. 805-811.

Sanchez G (2013) PLS path modeling with R. **Berkeley: Trowchez Editions**, v. 383, p. 551.

Santos, JC (2013) **Ácaros (Arthropoda: Acari) edáficos do estado de Alagoas, com ênfase nos Mesostigmata.** Dissertação de Mestrado em Agronomia Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 74p.

Santos LAO, Naranjo-Guevara N, Fernandes OA (2017) Diversity and abundance of edaphic arthropods associated with conventional and organic sugarcane crops in Brazil. **Florida Entomologist**, v. 100, n. 1, p. 134-144.

Santos JFC, Mendonça BAF, Araújo EJG, Andrade CF (2017) Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista brasileira Biociência,** Porto Alegre, v. 15, n.3, p. 151-158.

Santos LA, Bischoff A, Fernandes OA, (2018) The effect of forest fragments on abundance, diversity and species composition of predatory ants in sugarcane fields. Basic and Applied **Ecology**, 33, pp.58-65.

Shukla RK, Singh H, Rastogi N, Agarwal VM (2013) Impact of abundant Pheidole ant species on soil nutrients in relation to the food biology of the species. **Applied Soil Ecology,** v. 71, p. 15-23.

Silva MLND, Mansur KL, Nascimento MAL (2022) Ecosystem services assessment of geosites in the seridó aspiring UNESCO Geopark Area, Northeast Brazil. **Geoconservation Research**, v. 5, n. 1, p. 29-46.

Silva RR, Silvestre R (2004) Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 44, p. 1-11.

Silveira NS, Nakano O, Barbin D & Villa Nova N (1976) Manual de ecologia dos insetos. São Paulo. **Agronômica Ceres**, 419p.

Silvestre R, Roberto C, Brandão F, Rosa R (2003) Capítulo 7 **Grupos funcionales de hormigas : El caso de los gremios del Cerrado**. Introducción a las hormigas de la región Neotropical 1964: 101–136.

Souza, LS. et al. (2023) The best plant-guarding ants in extrafloral nectaried plants and myrmecophytes according to baiting tests. **bioRxiv**, p. 2023.03. 03.530851.

Souza-Campana DR, Silva RR, Fernandes OA, Futikami BS, Bueno OC, dos Santos LAO, de Castro Morini MS (2022) Diversity of ground-dwelling ants in sugarcane plantations under different management systems. **Journal of Tropical Ecology**, v. 38, n. 4, p. 165-170.

Stevanato M, Colavite AP, Parolin M (2023) A ecologia de paisagem nos estudos de fragmentos florestais. **Revista Geonorte**. v. 14, n. 45, p.1-19.

Stopar K, Trdan S, Bartol T (2020) Thrips and natural enemies through text data mining and visualization. **Plant Protection Science**, v. 57, n. 1, p. 47-58.

Swift MJ, Heal OW, Anderson JM (1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. **Oxford**, Blackwell, 372p.

Tannier C, Bourgeois M, Houot H, Foltête JC (2016) Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs. **Land use policy**, v. 52, p. 76-91.

Tscharntke T et al. (2016) When natural habitat fails to enhance biological pest control–five hypotheses. **Biological Conservation**, v. 204, p. 449–458.

Valente RA, Petean FC de S, Vettorazzi CA (2017) Análise multicriterial para priorização de áreas à restauração florestal. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53-60.

Vasconcelos HL, Vilhena JMS, Magnusson WE, Albernaz ALKM (2006) Long-term effects of forest fragmentation on Amazonian ant communities. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 8, p. 1348-1356.

Viana VM (1990) Biologia e manejo de fragmentos florestais. In: **Congresso florestal brasileiro,** 6, Campos do Jordão, 1990. Anais. Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade de Engenheiros Florestais, 1990. p. 113-118.

Vieira RRS, Ribeiro BR, Resende FM, Brum FT, Machado N, Sales LP, Macedo L, Soares-Filho B, Loyola R (2018) Compliance to Brazil's Forest Code will not protect biodiversity and ecosystem services. **Diversity and Distributions**, 24(4), p. 434- 438.

Walter DE, Hunt HW, Elliott ET (1988) Guilds or functional groups? An analysis of predatory arthropods from a shortgrass steppe soil. **Pedobiologia**, v. 31, n. 3-4, p. 247-260.

Wink C, Guedes JVC, Fagundes CK, Rovedder AP (2005) Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60-71.

Zamberletti P, Sabir K, Opitz T, Bonnefon O, Gabriel E, Papaix J (2021) More pests but less pesticide applications: Ambivalent effect of landscape complexity on conservation biological control. **PLOS Computational Biology**, v. 17, n. 11, p. e1009559.

Zhang Z, Meerow S, Newell JP, Lindquist M (2019) Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. **Urban forestry & urban greening**, v. 38, p. 305-317.