

Temporal variation of epigeic entomofauna in maize under contrasting tillage systems in the Amazonian savanna

Variação temporal da entomofauna epígea em milho sob manejo com e sem revolvimento na savana amazônica

Lucas Nogueira Cruz ^{1*}; Wendylorna das Chagas Lima ²; Antônio Cesar Silva Lima ³; Musibau Oyeleke Azeez ⁵; Valdinar Ferreira Melo ⁴

Abstract: Epigeic entomofauna responds to phenological variations and soil management practices. No-tillage systems increase surface residues and create microhabitats for insects, including potential pests. Thus, this study aimed to evaluate the temporal effect on the epigeic insect community in hybrid maize (*Zea mays*) cultivation areas under conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) management throughout the crop cycle in a savanna environment in the state of Roraima, Brazil. In each area, ten traps were distributed in a zigzag pattern, following the same path used for soil sampling for fertility analyses. Five samplings were conducted over the crop cycle. The no-tillage area showed higher levels of organic matter and available phosphorus, as well as lower aluminum saturation. Epigeic entomofauna responded positively to no-tillage management, with greater abundance (363.7 vs. 206.7 individuals per trap; $p = 0.003$) and family richness (8.2 vs. 7.2; $p = 0.004$). Temporally, changes in community composition were observed throughout the crop cycle, with variations in the dominance of functional groups over time. PERMANOVA indicated significant effects of management ($R^2 = 0.094$; $p = 0.001$) and sampling time ($R^2 = 0.176$; $p = 0.001$), highlighting the combined influence of these factors on community structure. Functionally, decomposers were more abundant in the no-tillage area, reinforcing the role of crop residues in sustaining dominant groups. The Shannon diversity and Pielou's evenness indices varied over time, indicating temporal dynamics in diversity. Thus, no-tillage management favors epigeic entomofauna and improves functional soil attributes.

Key words: Soil arthropods. Community structure. Soil biological quality. PERMANOVA. Amazonian savanna. *Zea mays*.

Resumo: A entomofauna epígea responde às variações fenológicas e ao manejo do solo. Sistemas sem revolvimento aumentam resíduos superficiais e microhabitats para insetos, incluindo potenciais pragas. Assim, objetivou-se avaliar o efeito temporal sobre a comunidade de insetos epígea em áreas de cultivo de milho híbrido (*Zea mays*), sob manejo com (ACR) e sem revolvimento (ASR) do solo, ao longo do ciclo da cultura, em ambiente de savana no estado de Roraima. Em cada área, dez armadilhas foram distribuídas em zigue-zague, adotando-se o mesmo percurso para a coleta de solo destinada às análises de fertilidade. Foram realizadas cinco coletas ao longo do ciclo. A área sem revolvimento apresentou maiores teores de matéria orgânica e fósforo disponível, além de menor saturação por alumínio. A entomofauna epígea respondeu positivamente ao manejo sem revolvimento, com maior abundância (363,7 vs. 206,7 indivíduos por armadilha; $p = 0,003$) e riqueza de famílias (8,2 vs. 7,2; $p = 0,004$). Temporalmente, observaram-se mudanças na composição da comunidade ao longo do ciclo, com variações na dominância de grupos funcionais entre as épocas. A PERMANOVA indicou efeitos significativos do manejo ($R^2 = 0,094$; $p = 0,001$) e da época ($R^2 = 0,176$; $p = 0,001$), evidenciando a atuação conjunta desses fatores na estrutura da comunidade. Funcionalmente, decompositores foram mais abundantes na área sem revolvimento, reforçando o papel da palhada na sustentação de grupos dominantes. Os índices de Shannon e equitabilidade de Pielou variaram entre as épocas, indicando dinâmica temporal da diversidade. Assim, o manejo sem revolvimento favorece a entomofauna epígea e melhora atributos funcionais do solo.

Palavras-chave: Artrópodes do solo. Estrutura da comunidade. Qualidade biológica do Solo. PERMANOVA; Savana Amazônica. *Zea mays*.

*Corresponding author

¹Universidade Federal de Roraima - UFRR. Endereço: BR-174 Km 12, Monte Cristo, 69301-970, Boa Vista-RR, Brazil. E-mails: lucasnogueira@gmail.com; wendylorna.lima@gmail.com; cesar.lima@ufrr.br; valdinar.melo@ufrr.br;

²Obafemi Awolowo University, Nigeria. E-mail: mazeez@oauife.edu.ng

INTRODUCTION

The sustainability of agroecosystems depends directly on soil health and functionality, with epigeal fauna being a central biological component in this process (BATISTA *et al.*, 2023; ZULU *et al.*, 2022; INKOTTE *et al.*, 2022). Epigeal entomofauna, composed of insects that occupy the soil–surface interface, performs essential functions such as nutrient cycling, fragmentation and decomposition of organic matter, aeration and improvement of soil structure, as well as the natural regulation of pest populations. Due to their high sensitivity to environmental disturbances and management practices, these organisms have been widely used as bioindicators of soil quality and ecosystem functioning (MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024; SOUZA *et al.*, 2020; CHIAPPERO-CARRO *et al.*, 2024).

Among conservation management practices, no-tillage stands out for promoting physical, chemical, and biological improvements in the soil (FERREIRA *et al.*, 2019; D’HOSE *et al.*, 2018; BONINI *et al.*, 2023). This practice may occur both within the No-Tillage System (NTS) and in conservation systems that maintain soil surface protection, even if they do not fully meet *all* NTS criteria. In tropical environments, such as the savanna of Roraima, no-tillage management is particularly relevant for mitigating degradation, conserving moisture, and enhancing nutrient cycling, especially in dystrophic, sandy soils that are naturally low in organic matter (DEMETRIO *et al.*, 2020; SERAFIM *et al.*, 2023). However, evidence regarding the response of epigeal entomofauna to the duration of adoption of this management in such ecosystems is still scarce (SANTI *et al.*, 2013; BATISTA *et al.*, 2023).

The savanna of Roraima, characterized by strong hydrological seasonality, high temperatures, and soils with low agricultural suitability, represents a challenging environment for grain production, particularly maize. The adoption of conservation practices is therefore essential to ensure the viability of regional agriculture. However, the effects of these practices on soil biodiversity and associated ecosystem services still require further quantification (RAMOS *et al.*, 2023; SHRESTHA *et al.*, 2025; AMBROSINI *et al.*, 2022). Recent studies indicate that the duration of no-tillage adoption contributes to gradual improvements in soil fertility, notably through increased organic matter and enhanced nutrient exchange and retention capacity (VELOSO *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019; BATISTA *et al.*, 2023).

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos agroecossistemas depende diretamente da saúde e da funcionalidade do solo, sendo a fauna epígea um componente biológico central nesse processo (BATISTA *et al.*, 2023; ZULU *et al.*, 2022; INKOTTE *et al.*, 2022). A entomofauna epígea, formada por insetos que ocupam a interface solo–superfície, desempenha funções essenciais, como ciclagem de nutrientes, fragmentação e decomposição da matéria orgânica, aeração e melhoria da estrutura do solo, além da regulação natural de populações de pragas. Por sua elevada sensibilidade a perturbações ambientais e às práticas de manejo, esses organismos têm sido amplamente utilizados como bioindicadores da qualidade do solo e do funcionamento ecossistêmico (MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024; SOUZA *et al.*, 2020; CHIAPPERO-CARRO *et al.*, 2024).

Entre as práticas de manejo conservacionista, o não revolvimento do solo destaca-se por promover melhorias físicas, químicas e biológicas (FERREIRA *et al.*, 2019; D’HOSE *et al.*, 2018; BONINI *et al.*, 2023). Essa prática pode ocorrer tanto dentro do Sistema Plantio Direto (SPD) quanto em sistemas conservacionistas que mantêm a superfície protegida, mesmo sem atender integralmente aos critérios do SPD. Em ambientes tropicais, como a savana de Roraima, o manejo sem revolvimento é especialmente relevante para mitigar a degradação, conservar umidade e favorecer a ciclagem de nutrientes, sobretudo em solos distróficos, arenosos e naturalmente pobres em matéria orgânica (DEMETRIO *et al.*, 2020; SERAFIM *et al.*, 2023). Entretanto, ainda são escassas as evidências sobre a resposta da entomofauna epígea ao tempo de adoção desse manejo nesses ecossistemas (SANTI *et al.*, 2013; BATISTA *et al.*, 2023).

A savana de Roraima, marcada por forte sazonalidade hídrica, elevadas temperaturas e solos de baixa aptidão agrícola, constitui um ambiente desafiador para a produção de grãos destacando-se o milho. A adoção de práticas conservacionistas é, portanto, fundamental para garantir a viabilidade da agricultura regional. Contudo, os efeitos dessas práticas sobre a biodiversidade do solo e sobre os serviços ecossistêmicos associados ainda carecem de maior quantificação (RAMOS *et al.*, 2023; SHRESTHA *et al.*, 2025; AMBROSINI *et al.*, 2022). Estudos recentes apontam que o tempo de adoção do manejo sem revolvimento contribui para a melhoria gradual da fertilidade, com destaque para o aumento da matéria orgânica e a melhoria da capacidade de troca e retenção de nutrientes (VELOSO *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019; BATISTA *et al.*, 2023).

Despite advances in understanding the interactions between conservation management and soil biological attributes, a critical gap remains regarding how epigeal entomofauna responds to the temporal gradient of cultivation, especially in Amazonian savanna environments, where climatic seasonality and low natural fertility may strongly influence the structure of biological communities. Few studies simultaneously integrate the temporal dynamics of epigeal fauna, changes in soil chemical attributes, and the adoption of no-tillage in Yellow Oxisols.

Despite these advances, an important gap persists: it is still unclear whether the gradual improvement in soil quality throughout the crop cycle is reflected in a structural and functional reorganization of epigeal entomofauna, particularly in Yellow Oxisols of the Amazonian savanna. There is a lack of understanding of how the temporal dynamics between planting and harvest influence the abundance, richness, and functional composition of these organisms in no-tillage systems.

Given this, the hypothesis of this study was that temporal variation during the maize (*Zea mays*) cycle promotes increases in the abundance, richness, and functional stability of epigeal entomofauna, as a direct response to increased organic matter and improved soil fertility attributes under no-tillage management. Thus, the objective was to evaluate the temporal effect on the epigeal insect community in areas cultivated with hybrid maize (*Zea mays*), under management with and without soil tillage, throughout the crop cycle, in a savanna environment in the State of Roraima.

MATERIAIS AND METHODS

Study Area

The study was conducted in two agricultural areas belonging to the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Roraima (CCA/UFRR), located in Boa Vista, Brazil (2°52'21.1" N; 60°42'44.8" W; altitude of 85 m). The regional climate is classified as Am according to the Köppen climate classification, characterized as tropical rainy with a short dry season, with a rainy period from April to November and a dry season from December to March (ARAÚJO *et al.*, 2024).

Apesar dos avanços no entendimento das interações entre manejo conservacionista e atributos biológicos do solo, permanece uma lacuna crítica sobre como a entomofauna epígea responde ao gradiente temporal de cultivo, especialmente em ambientes de savana amazônica, onde a sazonalidade climática e a baixa fertilidade natural podem modular intensamente a estrutura das comunidades biológicas. Poucos estudos integram simultaneamente a dinâmica temporal da fauna epígea, as mudanças nos atributos químicos do solo e a adoção do não revolvimento em Latossolos Amarelos.

Apesar desses avanços, permanece uma lacuna importante: não se sabe se a melhoria gradual da qualidade do solo ao longo do ciclo da cultura se reflete em uma reorganização estrutural e funcional da entomofauna epígea, especialmente em Latossolos Amarelos da savana amazônica. Falta compreender como a dinâmica temporal entre plantio e colheita influencia a abundância, riqueza e composição funcional desses organismos em sistemas sem revolvimento.

Diante disso, a hipótese deste estudo é que a variação temporal durante o ciclo do milho (*Zea mays*) promove aumento na abundância, riqueza e estabilidade funcional da entomofauna epígea, como resposta direta ao incremento da matéria orgânica e à melhoria dos atributos de fertilidade do solo em sistema sem revolvimento. Assim, objetivou-se avaliar o efeito temporal sobre a comunidade de insetos epígea em áreas de cultivo de milho híbrido (*Zea mays*), sob manejo com e sem revolvimento do solo, ao longo do ciclo da cultura, em ambiente de savana no estado de Roraima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas agrícolas pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima (CCA/UFRR), localizado em Boa Vista, Brasil (2°52'21,1" N; 60°42'44,8" W; altitude de 85 m). O clima regional é classificado como Am, segundo Classificação climática de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com estação seca curta, com período chuvoso entre abril e novembro e estação seca entre dezembro e março (ARAÚJO *et al.*, 2024).

The soils of both areas are classified as dystrophic Yellow Latosols, according to the Brazilian Soil Classification System, exhibiting sandy texture and low natural fertility, characteristics typical of highly weathered environments (MELO; SCHAEFER, 2009).

Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Amarelo distrófico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, apresentando textura arenosa e baixa fertilidade natural, características típicas de ambientes altamente intemperizados (MELO; SCHAEFER, 2009).

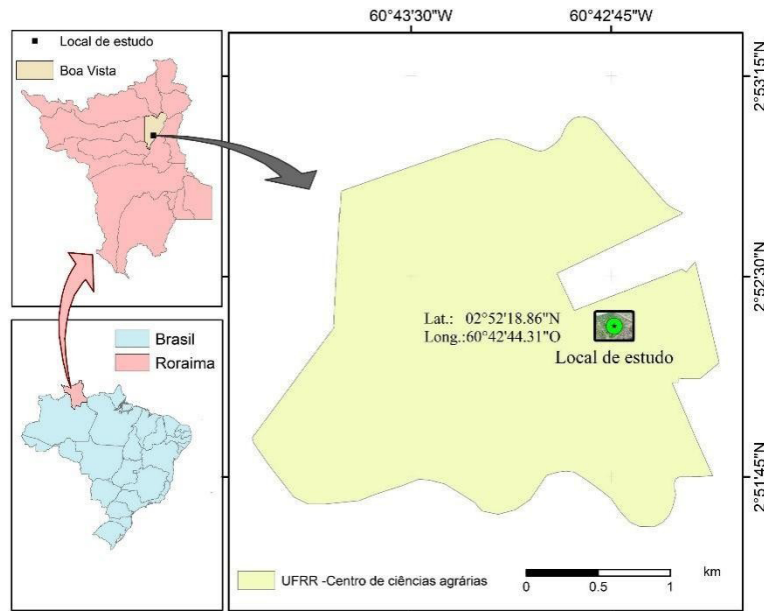


Figure 1 - Location of the cultivation areas used in the study.

Figura 1 - Localização das áreas de cultivo empregadas no estudo.

Characterization of the Experimental Areas and Management History

Two contrasting management systems were selected:

Area A1 – Conventional Tillage System (ACR) (2°52'21.5" N; 60°42'48.7" W)

This is a recently established agricultural area (7,407.54 m²), created three years ago through the conversion of savanna vegetation to cultivation. Soil preparation involved tillage to a depth of 0–30 cm for maize establishment, along with the application of mineral amendments and fertilizers, following standard practices for areas in the early stages of agricultural use. During the experimental period, no additional interventions were carried out beyond those required for crop management.

Caracterização das áreas experimentais e histórico de manejo

Foram selecionados dois sistemas de manejo contrastantes:

Área A1 – Sistema com revolvimento (ACR) - (2°52'21,5" N; 60°42'48,7" W)

Área agrícola recente (7.407,54 m²), estabelecida há 3 anos a partir da conversão de vegetação de savana para cultivo. O preparo do solo incluiu revolvimento até 0–30 cm para implantação da cultura do milho, com aplicação de corretivos e fertilizantes de natureza mineral, conforme práticas usuais para áreas em fase inicial de uso agrícola. Durante o período experimental, não foram realizadas intervenções adicionais além das operações necessárias à condução da cultura.

Area A2 – No-Tillage System (ASR) (2°52'18.8" N; 60°42'44.6" W)

This area (4,509.76 m²) has a six-year history of continuous agricultural use, with crop succession including cowpea, cassava, maize, and soybean. Soil management has followed conservation principles, maintaining crop residues on the surface and minimizing soil disturbance, thus representing a system under consolidation within a no-tillage framework.

The two areas were considered independent observational units, representing distinct management systems. Both are located in a savanna environment on dystrophic Yellow Latosol with sandy texture, characterized by low fertility and high acidity (MELO; SCHAEFER, 2009).

Maize Crop Management

Maize (*Zea mays*) cultivation was conducted uniformly in both areas, using the same hybrid and following agronomic recommendations for soils with low phosphorus (P) and potassium (K) availability, aiming to increase base saturation to 70%. The hybrid used was FS564PWU Agrisure Viptera, containing the Roundup Ready® 2 gene, with Bt and RR events (genetically modified maize resistant to Lepidoptera insects and tolerant to glyphosate herbicide applied post-emergence). Classified as high technological level, it is intended for grain production, has an early cycle, medium plant height, semi-hard orange grains, and a well-developed root system, being recommended for cultivation throughout the Northern region.

Thirty days before sowing, liming was carried out using dolomitic limestone, with the dose adjusted to increase base saturation to between 60–70%. Agricultural gypsum was applied only in the ASR area, at the recommended rate of 1,200 kg ha⁻¹, to improve the root environment. Ten days before planting, soil fertility correction was performed with 300 kg ha⁻¹ of NPK 04-14-08 formulation and 50 kg ha⁻¹ of FTE BR20.

At sowing, recommended doses of N, P₂O₅, and K₂O were applied, followed by topdressing fertilization with nitrogen and potassium at successive vegetative stages. Weed control was carried out post-emergence using glyphosate.

Área A2 – Sistema sem revolvimento (ASR) - (2°52'18,8" N; 60°42'44,6" W)

Essa área (4.509,76 m²) apresenta histórico de seis anos de uso agrícola contínuo, com sucessão de culturas incluindo feijão-caupi, mandioca, milho e soja. O manejo do solo tem sido conduzido sob princípios conservacionistas, com manutenção de resíduos culturais na superfície e mínima mobilização, configurando um sistema em consolidação sob plantio direto.

As duas áreas foram consideradas unidades observacionais independentes, representando sistemas distintos de manejo. Ambas estão inseridas em ambiente de savana sobre Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa, caracterizado por baixa fertilidade e elevada acidez (MELO; SCHAEFER, 2009).

Manejo da cultura do milho

O cultivo do milho (*Zea mays*) foi conduzido de forma padronizada nas duas áreas, utilizando o mesmo híbrido e seguindo recomendações agronômicas para solos com baixa disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), visando à elevação da saturação por bases para 70%. Empregou-se o híbrido FS564PWU Agrisure Viptera, com gene Roundup Ready® 2, com eventos Bt e RR (milho geneticamente modificado resistente a insetos da ordem Lepidoptera e tolerante ao herbicida glyphosate, aplicado em pós-emergência). Considerado de nível tecnológico alto, sua finalidade de uso é para produção de grãos, possui ciclo precoce, porte médio, grãos do tipo semiduro alaranjado e bom sistema radicular, sendo indicado para plantio em toda a região Norte.

Trinta dias antes da semeadura, realizou-se calagem com calcário dolomítico, dose ajustada para elevar a saturação por bases ao nível entre 60-70%. Apenas na área ASR, foi empregado o gesso agrícola, empregando a dose de recomendação técnica de 1.200 kg ha⁻¹, visando melhorar o ambiente radicular. Dez dias antes do plantio, efetuou-se a correção da fertilidade com 300 kg ha⁻¹ do formulado NPK 04-14-08 e 50 kg ha⁻¹ de FTE BR20.

Na semeadura, foram aplicadas as doses recomendadas de N, P₂O₅ e K₂O, seguidas de adubações de cobertura com nitrogênio e potássio em estádios vegetativos sucessivos. O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência com glyphosate.

Throughout the entire crop cycle, management practices were kept identical between areas, differing only in soil use history. This standardization ensured comparable conditions to evaluate the influence of management on the temporal dynamics of epigeic entomofauna.

Sampling Design

The study followed a comparative observational design, with repeated sampling over time in two contrasting management systems, allowing the evaluation of temporal and management effects on epigeic entomofauna.

Sampling of Epigeic Entomofauna

In each area, ten pitfall traps were installed, distributed along two parallel transects of 50 m in length, spaced 10 m apart and positioned 20 m from the edges to minimize edge effects (DIAZ *et al.*, 2010).

The traps were made from 2 L PET bottles (approximately 20 cm opening), buried at soil surface level and filled with 200 mL of water and 10 mL of neutral detergent. Plastic covers were installed approximately 10 cm above the opening to prevent the entry of rainwater and debris.

Temporal Sampling

The traps remained active for 24 hours during each sampling period, with collections performed at biweekly intervals, totaling five sampling periods throughout the crop cycle, from germination to physiological grain maturity. This interval encompassed the main phenological stages of maize (*Zea mays*).

Collected material was transported to the entomology laboratory, where organisms were initially sorted to the order level, then preserved in 70% alcohol solution and properly labeled for subsequent taxonomic identification to the family level.

Durante todo o ciclo, o manejo foi mantido idêntico entre as áreas, diferindo apenas quanto ao histórico de uso do solo. Essa padronização assegurou condições comparáveis para avaliar a influência do manejo na dinâmica temporal da entomofauna epígea.

Delineamento amostral

O estudo seguiu um delineamento observacional comparativo, com amostragem repetida no tempo em dois sistemas de manejo contrastantes, permitindo avaliar efeitos temporais e do manejo sobre a entomofauna epígea.

Amostragem da entomofauna epígea

Em cada área, foram instaladas dez armadilhas do tipo pitfall, distribuídas em dois transectos paralelos de 50 m de comprimento, espaçados entre si em 10 m e posicionados a 20 m das bordas, a fim de minimizar efeitos de bordadura (DIAZ *et al.*, 2010).

As armadilhas foram confeccionadas com garrafas PET de 2 L (abertura aproximada de 20 cm), enterradas ao nível da superfície do solo e preenchidas com 200 mL de água e 10 mL de detergente neutro. Coberturas plásticas foram instaladas a aproximadamente 10 cm acima da abertura para evitar a entrada de água da chuva e material particulado.

Temporalidade

As armadilhas permaneceram ativas por 24 horas em cada campanha de amostragem, com coletas realizadas em intervalos quinzenais, totalizando cinco épocas de coleta ao longo do ciclo da cultura, desde a germinação até a maturação fisiológica dos grãos. Esse intervalo contemplou as principais fases fenológicas do milho (*Zea mays*).

O material coletado foi transportado ao laboratório de entomologia, onde os organismos foram triados inicialmente ao nível de ordem, posteriormente fixados em solução alcoólica a 70% e devidamente etiquetados para posterior identificação taxonômica até o nível de família.

Processing and Identification of Fauna

Sorting of organisms was conducted at the Entomology Laboratory of the Agricultural Sciences Center. Specimens were identified to the family level using specialized taxonomic keys (CASARI *et al.*, 2024). The main taxonomic groups (Hymenoptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, and Isoptera) were quantified and classified into functional groups - decomposers, predators, and phytophagous - based on ecological criteria described in the literature (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

Soil Chemical Analyses

At the maize (*Zea mays*) maturation stage, soil samples were collected from the 0–0.10 m depth layer at three points adjacent to each fauna trap (individual samples), spaced 1.5 m apart, totaling 30 individual samples per area. The samples were air-dried in the shade, gently crushed, homogenized, and quartered to obtain composite samples, which were subsequently sieved through a 2 mm mesh.

Chemical analyses were performed according to the standard methodology described by EMBRAPA (2017). The following parameters were determined: pH in 0.01 M CaCl₂, available phosphorus (P) and potassium (K), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), exchangeable aluminum (Al³⁺), total nitrogen (N), and soil organic carbon (SOC), determined by the Walkley–Black method. Soil organic matter (SOM) content was estimated using a conversion factor of 1.724.

From the analytical results, derived attributes were calculated, including total cation exchange capacity (CEC_i), base saturation (V%), and aluminum saturation (m%), following established procedures for soil fertility evaluation.

Data Analysis

Abundance and richness data were used to calculate the Shannon–Wiener diversity index (H') and Pielou's evenness index (J'). Mean values of abundance, richness, and diversity between the two maize (*Zea mays*) cultivation areas were compared using analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's test ($p \leq 0.05$). For integrated soil–fauna analyses, entomofauna data were grouped according to the corresponding composite soil samples.

Processamento e identificação da fauna

A triagem dos organismos foi realizada no Laboratório de Entomologia do Centro de Ciências Agrárias. Os espécimes foram identificados até o nível taxonômico de família, conforme chaves especializadas (CASARI *et al.*, 2024). Foram quantificados os principais grupos taxonômicos (Hymenoptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Isoptera) e classificados em grupos funcionais - decompositores, predadores e fitófagos - com base em critérios ecológicos descritos na literatura (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

Análises químicas do solo

Na fase de maturação do milho (*Zea mays*), foram coletadas amostras de solo na camada de 0–0,10 m de profundidade, em três pontos adjacentes a cada armadilha de fauna (amostras simples), com distância de 1,5 m, constituindo 30 amostras simples por área. As amostras simples foram secas ao ar, à sombra, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas para a obtenção das amostras compostas, sendo posteriormente peneiradas em malha de 2 mm.

As análises químicas foram realizadas conforme metodologia padrão descrita pela EMBRAPA (2017), sendo determinados o pH em CaCl₂, fósforo (P) e potássio (K) disponíveis, além dos teores de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio trocável (Al³⁺), nitrogênio total (N) e carbono orgânico do solo (COS), determinado pelo método de Walkley-Black, a partir do qual foi estimado o teor de matéria orgânica do solo (MOS), utilizando-se o fator de conversão 1,724.

A partir dos resultados analíticos, foram calculados os atributos derivados, incluindo a capacidade de troca catiônica total (CTC_t), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%), conforme procedimentos consagrados na avaliação da fertilidade do solo.

Análise dos dados

Os dados de abundância e riqueza foram empregados para o cálculo dos índices de diversidade de Shannon–Wiener (H') e equitabilidade de Pielou (J'). As médias de abundância, riqueza e diversidade entre as duas áreas de cultivo de milho (*Zea mays*) foram comparadas por análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para as análises integradas solo-fauna, os dados da entomofauna foram agrupados de forma correspondente às amostras compostas de solo.

The relationship between entomofauna structure and soil chemical characteristics was evaluated using Pearson correlation and principal component analysis (PCA), enabling interpretation of the effects of management duration and edaphic conditions on the community.

Variation in community composition over time and between areas was assessed using permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA; 999 permutations), based on a Bray–Curtis dissimilarity matrix. Additionally, non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis was performed using the Bray–Curtis dissimilarity matrix to visualize patterns of similarity in community composition across areas and sampling periods. The quality of ordination was evaluated using the stress value.

RESULTS

The soil chemical properties (0–0.10 m) in the tilled area (ACR) and the no-tillage area (ASR) showed consistent differences (Table 1). An increase in total cation exchange capacity (CTCt) was observed in the ASR, approximately 19% higher than in the ACR, associated with a slight increase in soil organic matter (SOM) and greater dissociation of functional groups related to potential acidity. The increase in CTCt resulted in greater retention of exchangeable bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , and K^{+}) and a reduction in aluminum saturation, indicating a more favorable chemical environment for the development of soil biota.

Table 1 - Chemical characteristics of the soil (0-0.10 m) in the study areas, ACR and ASR

Tabela 1 - Características químicas do solo (0-0,10 m) nas áreas em estudo, ACR e ASR

| Área | pH CaCl_2 | P mg dm^{-3} | K | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Al^{3+} cmol _c dm^{-3} | Al+H | CTC _t | V | m (%) | SOM |
|------|-----------------------|--------------------------|------|------------------|------------------|--------------------------------------------------------|------|------------------|----|----------|-----|
| ACR | 4.8 | 11.2 | 0.08 | 0.80 | 0.40 | 0.20 | 2.50 | 3.78 | 34 | 14 | 1.3 |
| ASR | 4.6 | 14.5 | 0.12 | 1.10 | 0.60 | 0.10 | 2.80 | 4.62 | 39 | 5 | 1.5 |

The analysis of variance (ANOVA) indicated that the abundance and richness of the epigeic entomofauna were significantly influenced by the factors area and sampling time ($p \leq 0.05$). In contrast, the Shannon diversity index (H') and Pielou's evenness index (J') were affected only by sampling time ($p \leq 0.05$), with no statistically significant differences between areas ($p > 0.05$).

A relação entre a estrutura da entomofauna e as características químicas do solo foi avaliada por correlação de Pearson e análise de componentes principais (PCA), permitindo interpretar os efeitos do tempo de manejo e das condições edáficas sobre a comunidade.

A variação na composição da comunidade ao longo do tempo e entre áreas foi testada por análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA; 999 permutações), com base em matriz de dissimilaridade utilizando matriz de Bray–Curtis. Adicionalmente, foi realizada análise de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), com base na matriz de dissimilaridade de Bray–Curtis, a fim de visualizar padrões de similaridade na composição da comunidade entre áreas e épocas de coleta. A qualidade da ordenação foi avaliada pelo valor de stress.

RESULTADOS

As características químicas do solo (0-0,10 m) em área com revolvimento (ACR) e em área sem revolvimento (ASR) apresentaram diferenças consistentes (Tabela 1). Observou-se aumento da CTCt na ASR, aproximadamente 19% superior à ACR, associado ao leve aumento da matéria orgânica do solo (MOS) e à maior dissociação de grupos funcionais da acidez potencial. O aumento da CTCt resultou em maior retenção de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) e redução da saturação por alumínio, indicando um ambiente químico mais favorável ao desenvolvimento da biota edáfica.

A análise de variância (ANOVA) indicou que a abundância e a riqueza da entomofauna epígea foram significativamente influenciadas pelos fatores área e época de coleta ($p \leq 0,05$). Em contraste, os índices de diversidade de Shannon (H') e de equitabilidade de Pielou (J') foram afetados apenas pela época de coleta ($p \leq 0,05$), sem diferenças estatisticamente significativas entre as áreas ($p > 0,05$).

The total abundance of individuals was significantly higher in ASR (363.7 ± 110.2 individuals per sample) compared to ACR (206.7 ± 70.1 individuals per sample). Similarly, mean richness (number of families per sample) was greater in ASR (8.2 ± 0.9) than in ACR (7.2 ± 0.8). Despite this, the Shannon and Pielou indices did not differ between systems, although ACR showed slightly higher mean values ($H' = 0.73 \pm 0.15$; $J' = 0.37 \pm 0.07$) compared to ASR ($H' = 0.43 \pm 0.09$; $J' = 0.21 \pm 0.04$). Temporal variation in sampling was a determining factor for all ecological indices, indicating a strong influence of crop phenological dynamics and seasonality on the community.

The temporal variation in abundance, richness, H' , and J' throughout the maize growth cycle is presented in Figure 2. In general, higher diversity (Shannon and Pielou) and richness were observed during the first two sampling periods (early growth stage, July-August) in ACR, whereas abundance tended to increase in the later sampling periods (September-November), particularly in ASR.

A abundância total de indivíduos foi significativamente maior na ASR ($363,7 \pm 110,2$ indivíduos por amostra) em comparação com a ACR ($206,7 \pm 70,1$ indivíduos por amostra). De forma semelhante, a riqueza média (número de famílias por amostra) foi superior em ASR ($8,2 \pm 0,9$) do que em relação à ACR ($7,2 \pm 0,8$). Apesar disso, os índices de Shannon e Pielou não diferiram entre os sistemas, embora a ACR tenha apresentado valores médios ligeiramente superiores ($H' = 0,73 \pm 0,15$; $J' = 0,37 \pm 0,07$) em comparação à ASR ($H' = 0,43 \pm 0,09$; $J' = 0,21 \pm 0,04$). A variação temporal das coletas foi determinante para todos os índices ecológicos, indicando forte influência da dinâmica fenológica da cultura e da sazonalidade sobre a comunidade.

A variação temporal da abundância, riqueza, H' e J' ao longo do ciclo do milho está apresentada na Figura 2. De modo geral, a maior diversidade (Shannon e Pielou) e riqueza foram observadas nas primeiras duas épocas de coleta (início do ciclo, julho-agosto) na ACR, enquanto a abundância tendeu a aumentar nas épocas finais (setembro-novembro), sobretudo na ASR.

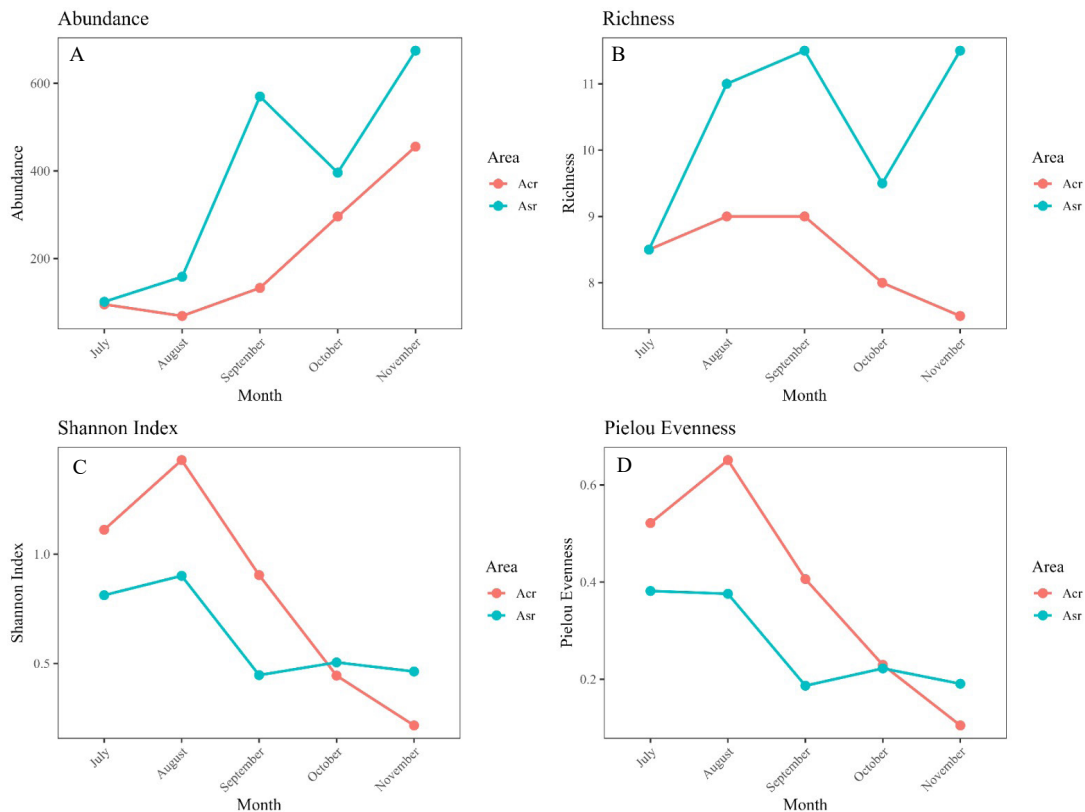


Figure 2 - Variation in abundance (A), richness (B), Shannon index (C), and Pielou's evenness (D) as a function of sampling periods of the epigeal entomofauna in the ACR and ASR areas.

Figura 2 - Variação da abundância (A), riqueza (B), índice de Shannon (C), equitabilidade de Pielou (D) em função das épocas de coleta da entomofauna epígea das áreas ACR e ASR.

The permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA), applied to the family abundance matrix, demonstrated that both the area factor and the sampling period significantly influenced community structure ($p \leq 0.05$). The area factor accounted for 9.4% of the total variation ($R^2 = 0.094$), while the sampling period explained 16.9% ($R^2 = 0.176$), with no significant interaction effect between the factors.

The non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis corroborated these differences, showing clear separation among communities across areas and over time, with a stress value of 0.176, which is considered acceptable for two-dimensional representation (Figure 3).

A análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA), aplicada à matriz de abundância das famílias, demonstrou que tanto o fator área quanto o fator época de coleta influenciaram significativamente a estrutura da comunidade ($p \leq 0,05$). A área explicou 9,4% da variação total ($R^2 = 0,094$), enquanto a época de coleta explicou 16,9% ($R^2 = 0,176$), não havendo efeito significativo da interação entre os fatores.

A análise de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) corroborou essas diferenças, evidenciando separação entre as comunidades das áreas e ao longo do tempo, com stress de 0,176, considerado adequado para representação bidimensional (Figura 3).

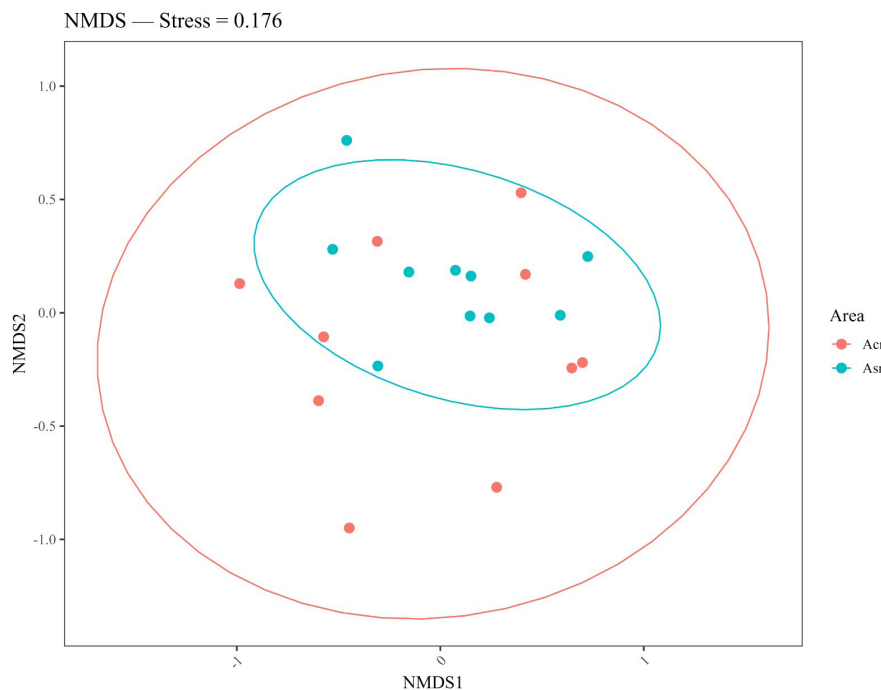


Figure 3 - Non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis of the community of soil insect families in the ACR and ASR areas.

Figura 3 - Análise de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) da comunidade de famílias de insetos edáficos nas áreas ACR e ASR.

In terms of functional groups, ASR showed a significantly higher mean abundance of decomposers (345 individuals per sample) compared to ACR (183 individuals per sample) (Figure 4), establishing this group as dominant in both systems, but with greater expression under no-tillage management. ASR also exhibited higher mean abundances of phytophagous organisms and predators, although to a lesser extent than decomposers (Figure 4).

Em termos de grupos funcionais, a ASR apresentou abundância média significativamente maior de decompositores (345 indivíduos por amostra) em comparação à ACR (183 indivíduos por amostra) (Figura 4), configurando esse grupo como dominante em ambos os sistemas, porém com maior expressão sob manejo sem revolvimento. A ASR também apresentou maiores abundâncias médias de fitófagos e predadores, embora em menor magnitude que os decompositores (Figura 4).

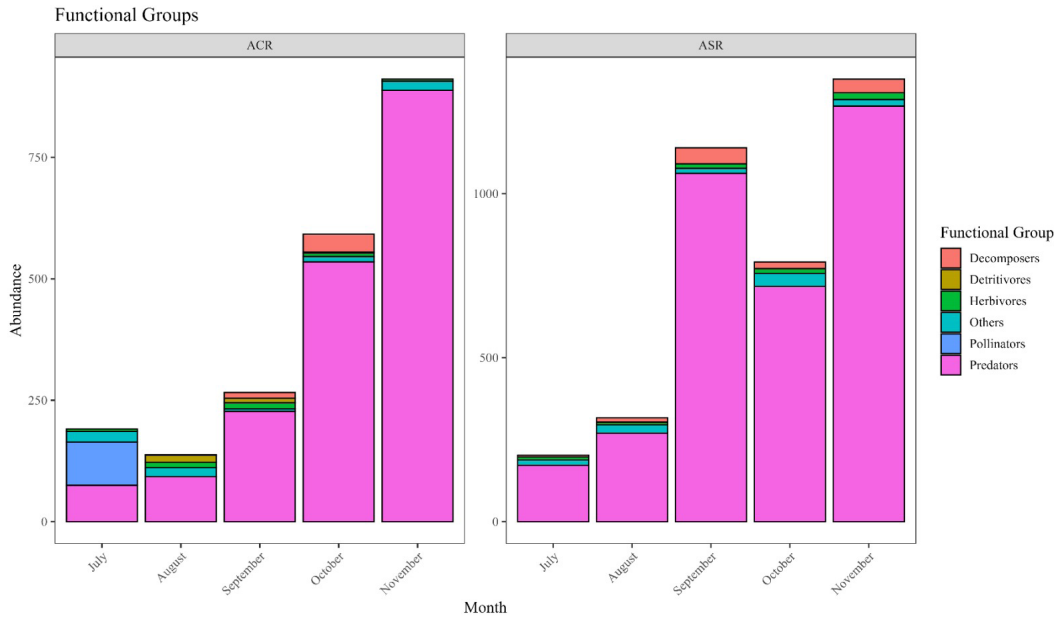


Figure 4 - Distribution of abundance as a function of EPC, mean of the functional groups of epigeic entomofauna for the tilled area - ACR (A) and the no-tillage area - ASR (B).

Figura 4 - Distribuição da abundância em função das EPC, média dos grupos funcionais da entomofauna epígea para área com revolvimento - ACR (A) e área sem revolvimento - ASR (B).

Redundancy Analysis (RDA) showed that soil chemical attributes explained a significant portion of the variation in the composition and organization of epigeic entomofauna functional groups. Pearson's correlations revealed positive relationships between total abundance and soil organic matter (SOM) ($r = 0.58$; $p = 0.007$), as well as between abundance and available P ($r = 0.51$; $p = 0.019$). Species richness was positively correlated with P ($r = 0.45$; $p = 0.038$). The Shannon diversity index was negatively correlated with available K ($r = -0.48$; $p = 0.027$) and positively correlated with aluminum saturation (m) ($r = 0.49$; $p = 0.025$). Similarly, Pielou's evenness index showed a negative correlation with K ($r = -0.47$; $p = 0.029$) and a positive correlation with m ($r = 0.48$; $p = 0.027$) (Table 2).

A Análise de Redundância (RDA) demonstrou que os atributos químicos do solo explicaram parcela significativa da variação na composição e organização dos grupos funcionais da entomofauna epígea. As correlações de Pearson evidenciaram relações positivas entre a abundância total e a MOS ($r = 0,58$; $p = 0,007$), bem como entre a abundância e o fósforo disponível (P) ($r = 0,51$; $p = 0,019$). A riqueza correlacionou-se positivamente com P ($r = 0,45$; $p = 0,038$). O índice de Shannon correlacionou-se negativamente com o potássio disponível (K) ($r = -0,48$; $p = 0,027$) e positivamente com a saturação por alumínio (m) ($r = 0,49$; $p = 0,025$). De forma semelhante, a equitabilidade de Pielou correlacionou-se negativamente com K ($r = -0,47$; $p = 0,029$) e positivamente com m ($r = 0,48$; $p = 0,027$) (Tabela 2).

Table 2 - Pearson correlation (r) between ecological indices and soil chemical properties

Tabela 2 - Correlação de Pearson (r) entre os índices ecológicos e os atributos químicos do solo

| Índex | Atributo do Solo | R ¹ | p-valor |
|------------------|------------------|----------------|---------|
| Abundance | SOM | 0.58 | 0.007 |
| Abundance | P | 0.51 | 0.019 |
| Species richness | P | 0.45 | 0.038 |
| Shannon (H') | K | -0.48 | 0.027 |
| Shannon (H') | m | 0.49 | 0.025 |
| Pielou (J') | K | -0.47 | 0.029 |
| Pielou (J') | m | 0.48 | 0.027 |

DISCUSSION

The results obtained demonstrate that the epigeic entomofauna responds clearly to differences in soil management between the ACR (with tillage) and ASR (no-tillage) areas, as well as to temporal variation throughout the maize growing cycle in an Amazonian savanna environment. Consistent with previous studies, the area under more established conservation management (ASR) exhibited more favorable soil chemical conditions (Table 1), with higher contents of SOM, P, K, Ca, and Mg, and lower aluminum saturation compared to the more recently tilled area (ACR). This pattern aligns with the literature on long-term no-tillage or conservation agriculture systems, which tends to accumulate organic matter and improve fertility in tropical Oxisols (FERREIRA *et al.*, 2019; SOARES *et al.*, 2019; THOMAZ *et al.*, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

The positive correlation between insect abundance and richness with SOM and P (Table 2) reinforces the role of these attributes as key factors sustaining soil fauna, especially in sandy and dystrophic soils of the Amazonian savanna, where low nutrient retention capacity is a limiting factor (BATISTA *et al.*, 2023; DEMETRIO *et al.*, 2020). The increase in SOM enhances the availability of energy resources and niches for decomposer organisms, while higher available P promotes crop productivity and indirectly increases plant residue inputs into the system, thereby reinforcing the trophic base of the soil community, as described in several studies on the subject (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

The greater abundance and richness of families observed in ASR (Figures 1A and 1C) confirm that systems under longer-term conservation management tend to support more numerous and taxonomically richer communities, in agreement with meta-analyses and long-term studies in no-tillage and conservation systems (ZULU *et al.*, 2022; RAMOS *et al.*, 2023; MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024). In this context, the dominance of decomposers, particularly in ASR, indicates that improvements in soil quality translate into enhanced functionality associated with decomposition and nutrient cycling (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a entomofauna epígea responde de maneira clara às diferenças de manejo do solo entre as áreas ACR (com revolvimento) e ASR (sem revolvimento), bem como à variação temporal ao longo do ciclo do milho, em ambiente de savana amazônica. Em consonância com estudos anteriores, a área sob manejo conservacionista mais consolidado (ASR) apresentou solo quimicamente mais favorável (Tabela 1), com maiores teores de MOS, P, K, Ca e Mg e menor saturação por alumínio em relação à área com revolvimento mais recente (ACR). Esse padrão é consistente com a literatura sobre sistemas sem revolvimento ou plantio direto de longo prazo, que tendem a acumular matéria orgânica e melhorar a fertilidade em Latossolos tropicais (FERREIRA *et al.*, 2019; SOARES *et al.*, 2019; THOMAZ *et al.*, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

A correlação positiva entre abundância e riqueza de insetos com MOS e P (Tabela 2) reforça o papel desses atributos como fatores-chave para a sustentação da fauna do solo, especialmente em solos arenosos e distróficos da savana amazônica, onde a baixa capacidade de retenção de nutrientes é um fator limitante (BATISTA *et al.*, 2023; DEMETRIO *et al.*, 2020). O incremento de MOS amplia a oferta de recursos energéticos e nichos para organismos decompositores, enquanto o aumento de P disponível favorece a produtividade da cultura e, indiretamente, a entrada de resíduos vegetais no sistema, retroalimentando a base trófica da comunidade edáfica como descrito em muitos trabalhos sobre o tema (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

A maior abundância e riqueza de famílias observadas na ASR (Figuras 1A e 1C) confirmam que sistemas com maior tempo de manejo conservacionista tendem a suportar comunidades mais numerosas e taxonomicamente mais ricas, em acordo com meta-análises e estudos de longo prazo em áreas sob plantio direto e sistemas conservacionistas (ZULU *et al.*, 2022; RAMOS *et al.*, 2023; MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024). Nesse contexto, a dominância de decompositores, especialmente na ASR, indica que a melhoria da qualidade do solo se traduz em aumento da funcionalidade associada à decomposição e ciclagem de nutrientes (LAVELLE *et al.*, 2006; BARETTA *et al.*, 2014).

On the other hand, the absence of significant differences in the Shannon and Pielou indices between areas (Figures 1B and 1D), coupled with slightly higher values in ACR, reveals an important aspect of community organization. Although ASR presents higher total abundance, this abundance is concentrated in a few dominant families (e.g., Formicidae), reducing taxonomic evenness and, consequently, H' values. This pattern represents an “apparent diversity paradox”: higher overall abundance and functionality coexisting with lower evenness and taxonomic diversity, a result also observed in tropical agroecosystems dominated by highly adapted and efficient resource-exploiting groups (FERNANDES *et al.*, 2018; BATISTA *et al.*, 2023; MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024).

ACR, being in an earlier phase of transition from conventional to conservation management, may present a less abundant but more evenly distributed community across families, which could explain its slightly higher H' and J' values. This suggests that the successional trajectory of epigeic entomofauna in transitioning systems is not linear, potentially involving phases of increased abundance accompanied by structural simplification, especially when generalist and socially organized groups (such as ants) become dominant (BAUTISTA *et al.*, 2009; SANTANA *et al.*, 2021).

Multivariate analyses (PERMANOVA and NMDS) reinforced the joint importance of management and temporal variation in structuring the community (Table 2; Figure 2). The effect of sampling time ($R^2 = 0.176$) was greater than that of area ($R^2 = 0.094$), indicating that seasonality and maize phenological stages strongly modulate the composition and organization of the epigeic entomofauna. This result is consistent with studies showing that in seasonal tropical ecosystems, variations in moisture, temperature, and resource availability throughout crop cycles generate pulses of activity and rapid restructuring of soil communities (INKOTTE *et al.*, 2022; SANTANA *et al.*, 2021; CHIAPPERO *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024).

Por outro lado, a ausência de diferença significativa nos índices de Shannon e Pielou entre as áreas (Figuras 1B e 1D), associada à tendência de valores ligeiramente mais altos na ACR, revela um aspecto importante da organização da comunidade. Embora a ASR apresente maior abundância total, essa abundância concentra-se em poucas famílias dominantes (por exemplo, Formicidae), reduzindo a equitabilidade entre táxons e, conseqüentemente, os valores de H' . Esse padrão configura um “paradoxo aparente da diversidade”: maior funcionalidade e abundância geral coexistindo com menor equitabilidade e diversidade taxonômica, resultado também observado em agroecossistemas tropicais com forte dominância de grupos altamente adaptados e eficientes na exploração de recursos (FERNANDES *et al.*, 2018; BATISTA *et al.*, 2023; MORENO-GARCÍA *et al.*, 2024).

A ACR, por estar em fase mais inicial de transição de sistema convencional para manejo conservacionista, pode apresentar uma comunidade menos abundante, porém mais distribuída entre as famílias, o que explicaria os valores ligeiramente superiores de H' e J' . Esse cenário sugere que a trajetória sucessional da entomofauna epígea em sistemas em transição não é linear, podendo incluir fases de aumento de abundância acompanhadas de simplificação estrutural, especialmente quando grupos generalistas e socialmente organizados (como formigas) se tornam dominantes (BAUTISTA *et al.*, 2009; SANTANA *et al.*, 2021).

As análises multivariadas (PERMANOVA e NMDS) reforçaram a importância conjunta do manejo e da temporalidade na estruturação da comunidade (Tabela 2; Figura 2). O efeito da época de coleta ($R^2 = 0,176$) foi superior ao efeito da área ($R^2 = 0,094$), evidenciando que a sazonalidade e as fases fenológicas do milho modulam fortemente a composição e organização da entomofauna epígea. Esse resultado é coerente com estudos que mostram que, em ecossistemas tropicais sazonais, variações de umidade, temperatura e disponibilidade de recursos ao longo do ciclo das culturas geram pulsos de atividade e reestruturação rápida das comunidades do solo (INKOTTE *et al.*, 2022; SANTANA *et al.*, 2021; CHIAPPERO *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024).

The stronger explanatory power of sampling time suggests that, even in systems with marked management differences, the epigeic community remains strongly conditioned by short-term environmental filters such as water regime and root growth, which affect both food availability and soil physical structure. In this context, no-tillage management provides more favorable soil conditions (higher SOM, higher CEC, and lower Al saturation), upon which temporal effects of climate and crop phenology act. The pronounced dry and rainy seasons characteristic of the Amazonian savanna impose an environmental filter that modulates insect communities over short periods, partially overriding long-term management effects (BARETTA *et al.*, 2014; SANTANA *et al.*, 2021; CHIAPPERO *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024).

From a functional perspective, the dominance of decomposers in ASR, associated with correlation and RDA results, indicates that improvements in soil chemical quality are mainly expressed through strengthening of the detrital food web. This is consistent with the view that soils under conservation management tend to be more “detritus-driven,” with greater dependence on food webs based on plant residues and dead roots, in contrast to highly disturbed systems where fauna is more sparse and less functionally organized (LAVELLE *et al.*, 2006; RAMOS *et al.*, 2023).

The results demonstrate that long-term no-tillage in the Roraima savanna promotes recovery of the epigeic community, evidenced by increased insect abundance and richness. This indicates that no-tillage is a viable strategy for agricultural sustainability in the region, enhancing soil functionality in a naturally challenging biome (DEMETRIO *et al.*, 2020; D’HOSE *et al.*, 2018; BONINI *et al.*, 2023).

Overall, the findings show that no-tillage management in Yellow Latosols of the Amazonian savanna promotes recovery of the epigeic community in terms of abundance, richness, and functional structure, while also highlighting the importance of considering short-term temporal variation when assessing soil biological quality. The sensitivity of diversity indices (Figures 1C and 1D) to sampling time reinforces the need for continuous monitoring and approaches that integrate multiple moments of the cropping cycle, avoiding conclusions based on “snapshot” assessments of communities.

A maior explicação da variação pela época de coleta sugere que, mesmo em sistemas com diferenças marcantes de manejo, a comunidade epígea permanece fortemente condicionada por filtros ambientais de curto prazo, como regime hídrico e crescimento radicular, que afetam tanto a disponibilidade de alimento quanto a estrutura física do solo. Nesse contexto, o manejo sem revolvimento confere condição mais favorável (maior teor de MOS, maior CTC e menor saturação por Al), sobre o qual atuam os efeitos temporais de clima e fenologia da cultura. A marcada estação seca e chuvosa, característica da região de savana amazônica, impõe um filtro ambiental que modula a comunidade de insetos em curtos períodos de tempo, sobrepondo-se, em parte, ao efeito do manejo a longo prazo (BARETTA *et al.*, 2014; SANTANA *et al.*, 2021; CHIAPPERO *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024).

Do ponto de vista funcional, o predomínio de decompositores na ASR, associado aos resultados de correlação e RDA, indica que melhorias químicas do solo se expressam principalmente via fortalecimento da base detritívora do sistema. Isso é consistente com a visão de que solos sob manejo conservacionista tendem a ser mais “dirigidos pela detritivoria”, com maior dependência de cadeias tróficas baseadas em resíduos vegetais e raízes mortas, em contraste com sistemas fortemente perturbados, onde a fauna é mais esparsa e menos funcionalmente organizada (LAVELLE *et al.*, 2006; RAMOS *et al.*, 2023).

Os resultados demonstram que o SPD de longo prazo na savana de Roraima promove uma recuperação da comunidade epígea, evidenciada pelo aumento da abundância e riqueza de insetos. Este é um indicativo de que o SPD é uma estratégia viável para a sustentabilidade agrícola na região, promovendo a funcionalidade do solo em um bioma naturalmente desafiador (DEMETRIO *et al.*, 2020; D’HOSE *et al.*, 2018; BONINI *et al.*, 2023).

Em conjunto, os achados demonstram que o manejo sem revolvimento em Latossolo Amarelo da savana amazônica promove a recuperação da comunidade epígea em termos de abundância, riqueza e estrutura funcional, ao mesmo tempo em que evidencia a importância de se considerar a variação temporal de curta escala na avaliação da qualidade biológica do solo. A sensibilidade dos índices de diversidade (Figuras 1C e 1D) à época de coleta reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de abordagens que integrem múltiplos momentos do ciclo agrícola, evitando conclusões baseadas em “fotografias pontuais” das comunidades.

Finally, the results suggest that the continued adoption of no-tillage systems, combined with maintenance of soil cover and crop diversification, may enhance soil fauna resilience, reduce risks of extreme community simplification, and strengthen the role of epigeic entomofauna as a bioindicator of sustainability in tropical savanna agroecosystems.

CONCLUSIONS

The no-tillage management system (ASR) promoted greater abundance and richness of epigeal entomofauna compared to the conventional tillage system (ACR), reflecting improvements in soil chemical attributes, particularly higher organic matter content, available phosphorus, and lower aluminum saturation;

The structure of the epigeal community was influenced by management practices and temporal variation, with sampling time explaining a greater proportion of the variation than management type, highlighting the effects of seasonality and maize phenological stages;

Functionally decomposer groups dominated the no-tillage area, indicating greater biological functionality associated with residue accumulation and improved soil conditions;

Diversity (Shannon) and evenness (Pielou) indices varied mainly over time rather than between areas, revealing a pattern in which higher abundance does not necessarily correspond to higher diversity characterizing a “diversity paradox” in conservation-oriented ecosystems;

Overall, the results demonstrate that no-tillage management in a Yellow Oxisol of the Amazon savanna favors the recovery and functionality of the epigeal community, representing a promising strategy for regional agricultural sustainability.

Por fim, os resultados sugerem que a adoção contínua de sistemas sem revolvimento, associada à manutenção de cobertura vegetal e à diversificação de culturas, pode aumentar a resiliência da fauna do solo, reduzir riscos de simplificação extrema da comunidade e reforçar o papel da entomofauna epígea como bioindicadora da sustentabilidade de agroecossistemas tropicais em savana.

CONCLUSÕES

O manejo sem revolvimento (ASR) promoveu maior abundância e riqueza da entomofauna epígea em comparação ao sistema com revolvimento (ACR), refletindo melhorias nos atributos químicos do solo, especialmente maior matéria orgânica, fósforo disponível e menor saturação por alumínio;

A estrutura da comunidade epígea foi influenciada tanto pelo manejo quanto pela variação temporal, com a época de coleta explicando maior proporção da variação que o tipo de manejo, evidenciando o efeito da sazonalidade e das fases fenológicas do milho;

Os grupos funcionalmente decompositores dominaram a área sem revolvimento, indicando maior funcionalidade biológica associada ao acúmulo de resíduos e à melhoria das condições edáficas;

Os índices de diversidade (Shannon) e equitabilidade (Pielou) variaram principalmente ao longo do tempo, e não entre áreas, revelando um padrão em que maior abundância não corresponde necessariamente a maior diversidade - caracterizando um “paradoxo da diversidade” em ecossistemas conservacionistas;

Em conjunto, os resultados demonstram que o manejo sem revolvimento em Latossolo Amarelo da savana amazônica favorece a recuperação e a funcionalidade da comunidade epígea, configurando-se como uma estratégia promissora para a sustentabilidade agrícola regional.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AMBROSINI, V. G.; DE ALMEIDA, J. L.; DE ARAUJO, E. A.; ALVES, L. A.; FILIPPI, D.; FLORES, J. P. M.; FOSTIM, M. L.; FONTOURA, S. M. V.; BORTOLUZZI, E. C.; BAYER, C.; TIECHER, T. Effect of diversified cropping systems on crop yield, legacy, and budget of potassium in a subtropical Oxisol. **Field Crops Research**, v. 275, p. 108342, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108342>
- BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; FACHINI, I.; ANSELMINI, R.; ZORTÉA, T.; BARETTA, C. R. D. M. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 871-879, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500002>
- BARETTA, D.; SANTOS, J.; GEREMIA, E. V. (2011). FAUNA EDÁFICA E QUALIDADE DO SOLO. <https://www.researchgate.net/publication/267333227>
- BATISTA, I.; MACHADO, D. L.; CORREIA, M. E. F.; SPINELLI, M. H. M.; CORÁ, J. E. Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 47, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20230006>
- BAUTISTA, F.; DÍAZ-CASTELAZO, C.; GARCÍA-ROBLES, M. (2009). CHANGES IN SOIL MACROFAUNA IN AGROECOSYSTEMS DERIVED FROM LOW DECIDUOUS TROPICAL FOREST ON LEPTOSOLS FROM KARSTIC ZONES. In **Tropical and Subtropical Agroecosystems (Vol. 10)**.
- BONINI, C. S. B.; MACIEL, T. M. DE S.; MOREIRA, B. R. A.; CHITERO, J. G. M.; HENRIQUE, R. L. P.; ALVES, M. C. Long-Term Integrated Systems of Green Manure and Pasture Significantly Recover the Macrofauna of Degraded Soil in the Brazilian Savannah. **Soil Systems**, v. 7, n. 2, p. 56, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020056>
- CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (2024). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Editora INPA. DOI: <https://doi.org/10.61818/56330464>
- CHIAPPERO, M. F.; ROSSETTI, M. R.; MORENO, M. L.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. A global meta-analysis reveals a consistent reduction of soil fauna abundance and richness as a consequence of land use conversion. **Science of The Total Environment**, v. 946, p. 173822, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173822>
- DEMETRIO, W. C.; RIBEIRO, R. H.; NADOLNY, H.; BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G. Earthworms in Brazilian no-tillage agriculture: Current status and future challenges. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 988-1005, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12918>
- D'HOSE, T.; MOLENDIJK, L.; VAN VOOREN, L.; VAN DEN BERG, W.; HOEK, H.; RUNIA, W.; VAN EVERT, F.; TEN BERGE, H.; SPIEGEL, H.; SANDÈN, T.; GRIGNANI, C.; RUYSSCHAERT, G. Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. **Pedobiologia**, v. 66, p. 18-28, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.12.003>
- DÍAZ, A.; GALANTE, E.; FAVILA, M. E. The Effect of the Landscape Matrix on the Distribution of Dung and Carrion Beetles in a Fragmented Tropical Rain Forest. **Journal of Insect Science**, v. 10, n. 81, p. 1-16, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1673/031.010.8101>
- FERNANDES, W. D.; LANGE, D.; PEREIRA, J. M.; RAIZER, J. Ant Community in Neotropical Agrosystems: A Four-Year Study in Conventional and No-Tillage Systems. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.1204>
- FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. DO N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 599, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p599>
- INKOTTE, J.; BOMFIM, B.; DA SILVA, S. C.; VALADÃO, M. B. X.; DA ROSA, M. G.; VIANA, R. B.; D'ÂNGELO RIOS, P.; GATTO, A.; PEREIRA, R. S. Linking soil biodiversity and ecosystem function in a Neotropical savanna. **Applied Soil Ecology**, v. 169, p. 104209, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104209>

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, S3-S15, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 53-60, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100005>

MORENO-GARCÍA, M.; REPULLO-RUIBÉRRIZ DE TORRES, M. A.; Ordóñez-Fernández, R.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E. J.; CARBONELL-BOJOLLO, R. M. Long-Term Effects of No-Tillage on Arthropod Biodiversity in Rainfed and Irrigated Annual Crops. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2192, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102192>

OLIVEIRA, D. M. S.; TAVARES, R. L. M.; LOSS, A.; MADARI, B. E.; CERRI, C. E. P.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M. G.; CHERUBIN, M. R. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 47, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220055>

RAMOS, R. F.; KROLOW, I. R. C.; KROLOW, D. R. V.; MORSELLI, T. B. G. A.; CALEGARI, A.; ANDRADE, N.; ANTONIOLLI, Z. I.; RHEINHEIMER, D. S. Edaphic fauna in soil profile after three decades of different soil management and cover crops in a subtropical region. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320201667>

SANTANA, M. S.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, V. R.; COSTA, B. B.; SILVA, V. C.; FREITAS, M. S. C.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V. Trophic groups of soil fauna in semiarid: Impacts of land use change, climatic seasonality and environmental variables. **Pedobiologia**, v. 89, p. 150774, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150774>

SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; BERTOLLO, G. M.; CORASSA, G. M. INFLUÊNCIA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NA ESTRUTURA DA COMUNIDADE DA FAUNA EDÁFICA. **Ciência e Natura**, v. 34, n. 2, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X9340>

SERAFIM, M. E.; MENDES, I. C.; WU, J.; ONO, F. B.; ZANCANARO, L.; VALENDORFF, J. D. P.; ZEVIANI, W. M.; PIERANGELI, M. A. P.; FAN, M.; LAL, R. Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till Systems in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v. 862, p. 160674, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160674>

SHRESTHA, R.; HUUSKO, K.; SIETIÖ, O.-M.; SCHMID, B.; CAPPELI, S. L.; THITZ, P.; GERIN, S.; LAINE, A.-L.; LOHILA, A.; HEINONSALO, J. Impacts of diverse undersown cover crops on seasonal soil microbial properties. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 101, n. 7, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaf068>

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104316>

SOUZA, H. J.; DELABIE, J. H. C.; SODRÉ, G. A. Termite participation in the soil-forming processes of “murundus” structures in the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20190133>

THOMAZ, E. L.; KURASZ, J. P. Long Term of Soil Carbon Stock in No-Till System Affected by a Rolling Landscape in Southern Brazil. **Soil Systems**, v. 7, n. 2, p. 60, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020060>

VELOSO, M. G.; DICK, D. P.; COSTA, J. B.; BAYER, C. Cropping systems including legume cover crops favour mineral-organic associations enriched with microbial metabolites in no-till soil. **Soil Research**, v. 57, n. 8, p. 851-858, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR19144>

ZHANG, S.; TONG, C.; WANG, T.; XUE, L. Variations of the soil macrofauna community and corresponding influencing factors in the newly reclaimed coastal area: A case study in Yangtze Estuary, China. **Global Ecology and Conservation**, v. 52, e02979, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02979>

ZULU, S. G.; MOTSA, N. M.; SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S.; NCAMA, K. Soil Macrofauna Abundance and Taxonomic Richness under Long-Term No-Till Conservation Agriculture in a Semi-Arid Environment of South Africa. **Agronomy**, v. 12, n. 3) 722, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030722>