

26. MACROFAUNA DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA NO MUNICÍPIO DE SELVÍRIA, MS, SOB RECUPERAÇÃO HÁ DEZOITO ANOS

Carolina dos Santos Batista Bonini, Bruno Rafael de Almeida Moreira, Marlene Cristina Alves

Resumo

Os ecossistemas se tornam degradados devido a utilização dos recursos naturais de forma inadequada e não sustentável. A fauna do solo tem papel fundamental nos ecossistemas, pois ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar do mesmo. Nos solos degradados há alterações das populações e atividades de macro e microrganismos responsáveis pela mineralização e humificação da matéria orgânica. Essas mudanças influenciam as condições físicas do solo, a disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas e a produtividade. Este capítulo apresenta resultados de pesquisas realizadas na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (FE/IS/Unesp), Selvíria, Mato Grosso do Sul. Ao estudo de padrões de macrofauna em área degradada sob recuperação, delinearam-se integrações, inteiramente casualizadas, de cultivos de leguminosas e pastagem de capim-braquiária, condicionados por calagem e/ou gessagem, em repetições de quatro parcelas de 100 m² cada. Foram estudados padrões de macrofauna em área degradada sob recuperação há 18 anos. Para a coleta das amostras foi utilizado o método TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Method) (Anderson & Ingram, 1993). Foram estudadas as seguintes áreas: mobilização do solo por meio de preparo do solo (de modo a obter o efeito mecânico de mobilização em todos os tratamentos) sem plantio, permitindo a ocorrência de vegetação espontânea; *Stizolobium aterrium* Piper & Tracy; *Cajanus cajan* (L.) DC; Calagem + *S. aterrium*; Calagem + *C. cajan* até 1994, quando substituído por *Canavalia ensiformis*; Calagem + gesso + *S. aterrium*; Calagem + gesso + *C. cajan* até 1994, quando substituído por *C. ensiformis*, em todos os tratamentos de recuperação foi implantado o capim braquiária após 1999; Solo exposto (sem preparo do solo e sem plantio) e o Cerrado do Mato Grosso do Sul como vegetação nativa. A macrofauna do solo foi avaliada através da identificação taxonômica em nível ordem e/ou classe, contagem de indivíduos e foram calculadas a abundância total e os índices de diversidade de Shannon e uniformidade de Pielou. À análise dos dados foi programada e executada em linguagem R, aplicaram-se correlação linear de Pearson e análise componentes principais, posteriormente, à comprovação de normalidade, homocedasticidade de variância e esfericidade de matriz pelos procedimentos de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. A maior abundância dos organismos ocorreu sob cultivos sucessivos de feijão-guandu, feijão-de-porco e, finalmente, capim-braquiária, cuja cobertura é oferece proteção natural de adversidades climáticas, e sistema de raízes, um condicionante para forrageamento, escavação e nidificação, hábitos comportamentais de cupins e formigas, fundamentais à formação e estabilização de agregados biogênico e galerias para infiltração da água e trocas gasosas. Em relação às profundidades analisadas, nas camadas intermediária e inferior, registraram predominância de térmitas; pastagem de capim-braquiária, precedida por cultivos com calcário e gesso com feijão-guandu e o feijão-de-porco, promoveu abundância total de formigas, sensíveis à sazonalidade climática. Independente de época de amostragem, os estratos, superior e intermediário apresentaram maior abundância, riqueza e diversidade de organismos da macrofauna, principalmente, cupins, formigas e besouros, elementos suscetíveis às mudanças climáticas, frequentes

em regiões tropicais e subtropicais. Indicadores de funcionalidade de solo são elementos-chave ao estudo proposto para o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias que permitam mitigação de adversidades que afetam os sistemas agrícolas de produção e sustentabilidade de ecossistemas naturais negligenciados. A macrofauna do solo é sensível a alterações mínimas em propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Os bioindicadores de funcionalidade de solo devem: abranger o máximo de biomas possível; representar, fielmente, funções de abordagem; e prever eventos de degradação de propriedades biológicas, físicas e químicas, acuradamente.

Abstract

Areas are degraded due to inadequate and unsustainable use of natural resources. The soil fauna plays a fundamental role in the ecosystem, as it occupies different trophic levels within its food chain. In degraded soils there are changes in populations and activities of macro and microorganisms responsible for mineralization and humification. These changes influence the physical conditions of the soil, the availability of assimilable nutrients by plants and productivity. This chapter presents results of research carried out at the Teaching, Research and Extension Farm, Faculty of Engineering of Ilha Solteira, State University of São Paulo (FE/IS/Unesp), Selvíria, Mato Grosso do Sul. Under recovery, completely randomized integrations of leguminous crops and signalgrass pasture were delineated, conditioned by liming and/or plastering, quadrupling them in plots of 100 m². Macrofauna patterns were studied in a degraded area under recovery for 18 years. The TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) method was used to collect the samples (Anderson & Ingram, 1993). The following areas were studied: mobilization of soil by means of tillage (so as to achieve the mechanical effect of mobilization in all treatments) without planting, allowing for the spontaneous vegetation occurrence; *Stizolobium aterrium* Piper & Tracy; *Cajanus cajan* (L.) DC; Liming + *S. aterrium*; Liming + *C. cajan* up to 1994, when replaced by *Canavalia ensiformis*; Liming + gypsum + *S. aterrium*; Liming + gypsum + *C. cajan* up to 1994, when replaced by *C. ensiformis*, in all recovery treatments, Brachiaria grass was planted after 1999; Exposed soil (neither tilling nor planting) and Cerrado of Mato Grosso do Sul as native vegetation. The standard technical evaluation considered: taxonomic identification of order or class, count of individuals, total abundance, Shannon diversity indices and Pielou uniformity. The data analysis was performed using programation and executed in R language, Pearson's linear correlation and principal components were applied, later, to prove normality, variance homoscedasticity and matrix sphericity by the procedures of Shapiro-Wilk and Bartlett, respectively. The greatest abundance of organisms occurred under successive cultivations of pigeon pea, jack bean and, finally, signalgrass, whose cover is an excellent natural insulator against climatic adversities, and root system, praiseworthy conditioning of foraging, excavation and nesting, behavioral habits of termites and ants, fundamental to the formation and stabilization of biogenic aggregates, hydraulic networks and subsurface oxygenation. Regarding the analyzed depths, the intermediate and lower layers, there was a premeditated predominance of termites; *Urochloa decubens* grass pasture preceded by limestone and pigeonpea gypsum crops, and jack bean promoted, however, total abundance of ants, sensitive to climatic seasonality. Regardless of the sampling period, the upper and intermediate strata were abundant, diversified and enriched with macro-organisms, mainly termites, ants and carabids, thermo-regulatable biostructures, frequent in tropical and subtropical regions. Soil functionality indicators are key elements for the study, proposed, development and application of technologies that allow mitigation of adversities that afflict agricultural production systems and the sustainability of neglected natural ecosystems. Soil macrofauna are

sensitive to minor changes in biological, physical and chemical soil properties. Soil functionality bioindicators should: cover as many biomes as possible; faithfully represent approach functions; and accurately predict deterioration events of biological, physical and chemical properties

Introdução

A ocupação humana do solo é antiga: há cerca de dez mil anos, durante o período catastrófico da evolução humana, foram utilizadas técnicas primitivas de agricultura itinerante, seguidas pela habilidosa domesticação de animais e plantas, culminando na ancestral transição de nomadismo para sedentarismo, estabelecida por hipoatividade. Desde então, observam-se episódios de degradação e tentativas frustradas de restaurar a normalidade do funcionamento do solo, perturbado por excessos herdados da contemporaneidade. Pressionado pelo paradoxal anseio humano de progresso socioeconômico, que ignora a preservação ambiental, o solo reage, de forma aguda e/ou crônica, de forma reducionista e/ou holística, ao antiético desmatamento de florestas, políticas governamentais descomprometidas com a criação e/ou preservação de ecossistemas naturais e artificiais resistentes, desburocratização das leis de acesso e posse de patrimônios teóricos da humanidade, e à superpopulação de biomas com capacidade de suporte limitada. Problemas de compactação e de infiltração e retenção de água, salinização e desertificação, estoque inativo de carbono orgânico, baixa produtividade global de biomassa, entre outros, são evidentes evidências das gigantescas forças pedoclimáticas e antropogênicas que esmagam a multifuncionalidade do solo, que, ironicamente, são relegados ao papel de coadjuvante natural (TSIAFOULI et al., 2015; PRETTY; BHARUCHA, 2014).

A biota edáfica é, essencialmente, composta por microrganismos e micro, meso e macrofauna. A macrofauna, especificamente, representada por invertebrados de tamanho superior a 2 mm, é responsável por diversos serviços ecossistêmicos que estão relacionados às propriedades biológicas, físicas e químicas de solo, exploração econômica e práticas de manejo do solo. A abundância, biodiversidade e riqueza de macrofauna são primordiais à prosperidade de ecossistemas naturais e artificiais. Os grupos de macrofauna propostos pela capacidade de modificação de agregados são, assertivamente: *bioturbadores*: mobilizadores e estruturadores de frações orgânicas e minerais: anelídeos e insetos sociais originam e estabilizam agregados biogênicos por hábitos de forrageamento, escavação e, ou, nidificação; drilo, termite e mirmecosfera são, respectivamente, terminologias de volume de solo influenciado por minhocas, cupins e formigas, reconhecidos por ecologistas como engenheiros do ecossistema, ou seja, *reorganizadores* naturais, que afetam a estruturação de solo, através a reorganização das partículas minerais do solo. Portanto, por serem geófagos, as minhocas e os cupins, especificamente, processam minerais de argila via trituração e/ou passagem pelo trato intestinal, expelindo-os sob forma de pellets fecais (excrementos) construídos por ligações físicas e químicas e onde a saliva e/ou muco reorientam micro, meso e macroagregados pré-moldados, conferindo-lhes, então, propriedades particulares. A secagem, envelhecimento e revestimento de material orgânico fortalecem excrementos recém-formados. Atuam ainda como *agentes de intemperismo*: A macrofauna tem a capacidade de alterar a mineralogia das argilas, tornando-as expansivas, adsorvidas ou absorventes através de intervenções nas lâminas tetraédricas e octaédricas (FONTE et al., 2019; SITHOLE et al., 2018; TAO et al., 2018; WANG et al., 2018; OBRYCKI; KARLEN, 2018; KAMAU et al., 2017).

Como engenheiros do ecossistema, as minhocas e os cupins são, evidentemente, importantes. A principal forma de atuação das minhocas é através da construção de túneis e galerias, que afetam a infiltração de água, a estabilização de

carbono orgânico e as trocas gasosas, refletindo diretamente na produção vegetal, incluindo o biocontrole de pragas, o estímulo às atividades de simbioses com microrganismos, a síntese de fitorreguladores, o aumento da disponibilidade de nutrientes e a estruturação do solo. Embora possam ser, em determinadas situações, limitadores para a agricultura, os cupins são ecossistemicamente benéficos para a ciclagem de nutrientes, a melhoria da infiltração e retenção de água e as trocas gasosas, contribuindo para a fertilidade natural do solo. A atividade de cobrir a serapilheira com partículas argilosas, cimentadas pela saliva ou excretada, realizada pelos cupins, favorece a manutenção de microclimas estáveis, especialmente em termos de temperatura e umidade relativa. Além disso, o acúmulo de matéria orgânica em agregados biogênicos protege-o temporariamente contra a degradação. A presença de térmitas, ligada à preferência pela acidez do solo, está dissociada da deterioração química em áreas próximas a um cupinzeiro degradado, seja por degradação por outros organismos, pela água ou pelo vento. Formigas, larvas de coleópteros, dípteros e lepidópteros, milípedes, miríades, ortópteros e moluscos, entre outros, contribuem para a diversidade e o enriquecimento da vasta lista de macrofauna (LIMA et al., 2018; HARIT et al., 2017; BOTTINELLI et al., 2015).

Diante da importância da macrofauna edáfica para a recuperação do solo, esse trabalho teve como objetivo investigar a macrofauna de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezoito anos, utilizando-se adubos verdes, calagem e gesso, utilizando como áreas controle um fragmento de vegetação natural de Cerrado do Mato Grosso do Sul e solo exposto.

Material e Métodos

Sítio de experimentação

O estudo foi realizado na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira na Universidade Estadual Paulista (FEIS/Unesp Ilha Solteira) em Selvíria, Mato Grosso do Sul (-20.377364, -51.412704, 317 m MSL). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura franco argilo-arenosa, muito profundo, rico em sesquióxidos; fração argila de baixa atividade, condicionada à predominância de gibsit e caulinita (SANTOS et al., 2018).

A seguir são apresentados o histórico da área experimental, preparo e semeadura na Tabela 1.

Tabela 1. Histórico de área experimental, preparo e semeadura do solo.

Ano	Manejo da área
1969	À instalação de Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, escavaram-se 8,6 m de solo à terraplanagem e fundação de barragem, originando-se, então, área degradada, exposta, persistentemente.
1992	O subsolo, compactado, superficialmente, caracterizava-se pela restritíssima vegetação espontânea. Ao trabalho, subsolou-se, arou-se e gradeou-se o sistema, nivelando-o. Previamente, à instalação experimental, caracterizou-se o subsolo, quimicamente, adotando-se metodologia de Raij et al. (2001): extraíram-se potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por resina trocadora de íons, determinando-se, então, os teores por espectrofotometria de absorção atômica (SpectrAA 55B, VARIAN ®); similarmente, extraído por resina trocadora, determinou-se o teor de fósforo (P) por calorimetria em espectrofotômetro (Cary 50, VARIAN ®); determinaram-se alumínio trocável (Al ³⁺) e acidez potencial (H + Al ³⁺) por titulometria,

	promovida por soluções neutras de NaOH e acetato de cálcio a 0,5 mol L⁻¹, respectivamente; determinou-se o pH por solução de CaCl₂.H₂O a 0,01 mol L⁻¹; à determinação de teor de matéria orgânica de solo (MOS), adotou-se combustão úmida à base de dicromato de sódio via calorimetria em espectrofotômetro; calcularam-se, finalmente: soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases (Tabela 2). Complementarmente, à caracterização de propriedades físicas (Tabela 3), coletaram-se amostras indeformadas por anéis volumétricos de 70 cm³, saturando-as, posteriormente, por capilaridade. Concluído o pré-tratamento de 24 h, determinou-se porosidade total, submetendo-nos à mesa de tensão, operada a 0,06 kPa, pressão especificada à seleção de microporos (poros < 0,05 mm); calculou-se macroporosidade, relacionando-se volume de água de amostras saturadas e tensionadas. Determinou-se densidade aparente pelo método de anel volumétrico, dessecando-se amostras em estufa a 105 °C, por 24 h (TEIXEIRA et al., 2017) Ao preparo convencional de subsolo, fundamentado em análise química, aplicaram-se 1.850 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico de PRNT equivalente a 70 %, para elevação de saturação por bases para 70 %; particularmente, em parcelas previstas ao tratamento simultâneo de calagem e gessagem, dosada a 580 kg ha⁻¹, substituíram-se 25 % de CaO por equivalente de CaSO₄; incorporaram-se os condicionantes, mecanicamente. Em ciclos de primavera-verão de 1992 a 1996, semearam-se as leguminosas, aveia-preta (<i>Avena</i> spp.), feijão-guandu (<i>Cajanus cajan</i>), feijão-de-porco (<i>Canavalia</i> spp.) e mucuna-preta (<i>Stizolobium aterrimum</i>), manualmente, adensando-as a dez plantas por metro; em início de florescimento, roçaram-se os adubos verdes, pretendidos à melhoria de propriedades biológicas, físicas e químicas, preservando-os em superfície.
1996	Reaplicou-se calcário a parcelas que apresentavam saturação por bases inferior a 60 %, recondicionando-as à implantação de cultura de milho (<i>Zea mays</i> L.).
1997	Em janeiro, semeou-se o híbrido AG 405, adubando-o pelo formulado 04-30-10, suplementado em Zn a 0,3 %.
1998	Em junho, após a comprovada improdutividade de grãos de cereal, condicionada ao limitado crescimento vegetativo e subdesenvolvimento de espigas de 0,1 m de comprimento, semeou-se aveia-preta, que, apesar de satisfatória germinação, sucumbiu, prematuramente, ao acentuado déficit hídrico.
1999	Em fevereiro, semeou-se capim-braquiária (<i>Urochloa decumbens</i>), pretendendo-se proteção de subsolo e acúmulo de matéria orgânica
2006	Foi registrado que espécies arbóreas nativas de Cerrado haviam crescido na área

Tabela 2. Propriedades químicas do subsolo exposto, caracterizado em 1992, previamente à instalação experimental.

Propriedade	Camada (m)	
	0 – 0,20	0,20 – 0,40
mg dm ⁻³		
P _{resina}	1,0	0
MOS	70,0	40,0

pH CaCl ₂	4,0	4,2
mmol _c dm ⁻³		
K	0,2	0,2
Ca	2,0	2,0
Mg	1,0	1,0
H + Al ³⁺	20,0	20,0
SB	3,2	3,2
CTC	23,2	23,2
V%	14,0	14,0

Tabela 3. Propriedades físicas do subsolo exposto, caracterizado em 1992, previamente à instalação experimental.

Propriedade	Camada (m)		
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,10	0,08	0,07
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,25	0,25	0,26
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,35	0,33	0,33
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,52	1,69	1,74

Delineamento experimental

O delineamento experimental seguiu o de blocos inteiramente casualizados de cultivos de leguminosas e pastagem de capim-braquiária, com ou sem calagem e/ou gessagem, em quatro parcelas de 100 m² cada, compondo 9 tratamentos, sendo 2 controles (Tabela 4).

Tabela 4. Descrição de tratamentos aplicados ao estudo de padrões da macrofauna em área degradada sob recuperação por práticas de manejo de agricultura conservacionista.

Tratamento	Descrição
SM/B	Solo mobilizado e ocorrência de vegetação espontânea, sucedida por implantação de capim-braquiária
MP/B	Mucuna-preta (<i>Mucuna pruriens</i>) e implantação de capim-braquiária
G/FP/B	Cultivos de feijão-guandu (<i>Cajanus cajan</i>) e feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformis</i>), sucedidos por implantação de capim-braquiária (<i>Urochloa brizantha</i>)
CMP/B	Calagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária
CG/FP/B	Calagem, cultivos de feijão-guandu e implantação de capim-braquiária
CGeMP/B	Calagem e gessagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária
CGeG/FP/B	Calagem e gessagem, cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária
SE	Solo exposto (controle)
MA	Mata - Vegetação nativa de Cerrado do Mato Grosso do Sul (controle)

Amostragem da macrofauna sob área em recuperação

Em períodos de primavera-verão e outono-inverno de 2010 e 2011 (Tabela 5), amostraram-se monólitos por meio de quadrado metálico (30 cm x 30 cm x 30 cm), previsto pelo método de coleta direta (TSBF), retiraram-se, então, amostras nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm d eprofundidade. Na sequência realizou-se as triagens e os organismos encontrados foram imediatamente acondicionadas em frascos com solução de álcool a 20 %, transportados ao laboratório, para identificação e contagem (Figura 1). Os dados obtidos a partir da amostragem foram: identificação taxonômica de ordem ou classe, contagem de indivíduos, abundância total, índices de diversidade de Shannon e uniformidade de Pielou.

Tabela 5. Caracterização de locais de amostragem de macrofauna.

Coordenadas	Altitude (m)	Vegetação	Solo	Manejo
-20.361090, -51.402970	327	Cerrado	Latossolo Vermelho distrófico	Vegetação nativa
-20.376649, -51.413023	327	Subsolo exposto, degradado	Latossolo Vermelho distrófico	Remoção de 8,6 m de solo original
-20.377364, -51.412704	327	<i>U. decumbens</i>	Latossolo Vermelho distrófico	Capim-braquiária
-20.377236, -51.413018	327	<i>U. decumbens</i> e espécies arbóreas nativas	Latossolo Vermelho distrófico	Capim-braquiária e espécies arbóreas nativas





Figura 1. Coleta e retirada de monólitos com auxílio de gabarito de metal: (A, B e C) triagem do solo a campo e armazenamento dos organismos coletados em solução de álcool (20 %) (D e E); identificação e contagem dos organismos (F). Fonte: Bonini (2012).

Análise de dados

À análise dos dados foi realizada utilizando programação e executada em linguagem R, pacote FactoMiner (R Development Core Team, 2018), ambiente de estatística computacional e gráfica. Foram aplicadas correlação linear de Pearson e análise componentes principais, posteriormente, à comprovação de normalidade, homocedasticidade de variância e esfericidade de matriz pelos procedimentos de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. À validação de subconjuntos rotacionados, ortogonalmente, considerou-se o teste de Kaiser-Meyer-Olkin, seletivo a autovalores superioridades à unidade, premissas de variabilidade, estatisticamente, interpretáveis.

Resultados

Taxonomia de macrofauna

Globalmente, contabilizaram-se, aproximadamente, 9.200 organismos que foram identificados nas seguintes classes ou ordens: Coleoptera (adulto e/ou larvas de besouros), Formicidae (formigas), Isoptera (cupins), Crassicitellata (minhocas), Diplopoda (piolho-de-cobra ou milipeias), Chilopoda (lacrarias e/ou centopeias), Diptera (larvas de moscas e/ou mosquitos), Hemiptera (percevejos e/ou cigarras), Lepidoptera (larvas de borboletas e/ou mariposas), Araneae (aranhas), Blattaria (baratas), Gastropoda (lesmas e caramujos), Orthoptera (grilos e/ou gafanhotos) e Scorpiones (escorpiões).

Abundância, diversidade e uniformidade de macrofauna de solo em área degradada sob recuperação

Período de outono-inverno de 2010

Em julho de 2010 (Tabela 6) amostraram-se, em estrato superior de solo (0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m) mobilizado à implantação de pastagem de capim-braquiária (SM), poucos exemplares de quelicerados, lacraias, besouros, percevejos/cigarras e maior ocorrência de cupins, no entanto apresentou maior abundância total, diversidade e uniformidade, em ao relação solo exposto (SE), muito fragilizado por ações humanas, resultantes da conversão de vegetação nativa em áreas de produção de bens e serviços através da agricultura e da usina hidrelétrica.

O cultivo de mucuna-preta (MP/B), leguminosa anual de primavera-verão de hábito de crescimento indeterminado, previamente à implantação de capim-braquiária, é uma forrageira tropical prescritível para pastejo de rebanhos e controle de fenômenos erosivos. Servindo ainda como micro-habitat, favoreceu a prevalência de cupins em comparação com formigas, besouros e minhocas, indicando uma abundância total moderada e baixos índices de diversidade e uniformidade.

Influenciado pelo feijão-guandu, versátil para adubação verde, nutrição animal e recuperação de ecossistemas terrestres deteriorados, seja pedoclimaticamente ou antropogenicamente, a sucessão pela cultura de feijão-de-porco (G/FP/B), densa cobertura de extrema adaptabilidade fisiográfica, e capim-braquiária, resguardou condições para a ocorrência de besouros, tesourinhas e lacraias, formigas e gafanhotos, predadores generalistas de invertebrados e fitófagos em potencial, e, principalmente, percevejos e térmitas, selecionados artificialmente pela sofisticada composição florística, caracterizada por uma baixa abundância total, mas com índices de Shannon e Pielou sem valores expressivos.

No sistema de pasto de capim-braquiária precedido pelo cultivo calcariado de mucuna-preta (CMP/B) forma encontrados mais cupins do que aranhas, besouros, piolhos-de-cobra e ninfas de cigarra. Portanto, destaca-se pela razoável abundância total, mas com restrições na diversidade e na uniformidade dos grupos encontrados.

A aplicação de calcário e de nutrientes solúveis, ao estabelecimento de sucessão de feijão-guandu, feijão-de-porco e capim-braquiária (CGeG/FP/B) favoreceu a ocorrência superficial de cupins, lacraias, besouros, minhocas e escorpiões. Este último um improtante elemento no biocontrole predatório de meso e macrofauna. A baixa abundância e moderados índices de diversidade e de uniformidade caracterizaram esse sistema, o qual Pensado para aumentar a disponibilidade e diversificar as fontes de alimentação, a fim de evitar possíveis instabilidades ecológicas causadas por disputas entre espécies. Os sistemas calcariado e gessado da sucessão de mucuna-preta e capim-braquiária (CGeMP/B), teve maior abundância total e valores dos índices de diversidade e de uniformidade, havendo maior ocorrência de cupins.

Coletadas aleatoriamente, as amostras de camadas superficiais do solo (0-5, 5-10 e 10-15 cm) da área de pastagem de capim-braquiária antecedido por cultivos de feijão-de-porco e feijão-guandu condicionados por calagem e gessagem simultaneamente (CGeG/FP/B), apresentaram predominância de cupins e também foram encontrados besouros, percevejos, formigas, ovos, pupas e larvas. Na vegetação nativa (MA), além da ocorrência de aranhas, baratas, centopeias, ninfas de cigarra, percevejos, formigas, gafanhotos e escorpiões, apesar de escassa em abundância, mas bastante diversa e uniforme, também foram encontrados besouros, tesourinhas, lacraias, piolhos-de-cobra e em maior abundância cupins e minhocas. As minhocas são sensíveis às alterações climáticas e altamente dependentes de um ambiente adequado para suas atividades.

Resumidamente, em julho de 2010, período com temperaturas mais amenas, os melhores padrões de macrofauna ocorreram sob cultivos sucessivos de feijão-guandu, feijão-de-porco e, finalmente, capim-braquiária, cuja cobertura é um excelente isolante natural contra condições climáticas adversas, e o sistema radicular, um notável condicionador para o forrageamento, escavação e nidificação da macrofauna, e também são essenciais para a formação e estabilização de agregados, a infiltração da água e trocas gasosas.

Período de primavera-verão de 2010

Em dezembro de 2010 (Tabela 6) período de primavera-verão, coletaram-se, nas camadas superficiais do solo (0-5, 5-10, 10-15 cm) de área mobilizada à implantação de capim-braquiária (SM/B), temporariamente, torna-se inadequado para aranhas, baratas, centopeias, gafanhotos e escorpiões, com baixas ocorrências de besouros e ninfas de cigarra e uma maior ocorrência de cupins, que são responsáveis pela alta abundância total, no entanto a área contou com baixos índices de diversidade e uniformidade. A intervenção de mucuna-preta antes da implantação de capim-braquiária (MP/B), repetiu a alta ocorrência de cupins, em relação a besouros, ninfas de cigarras e formigas (insetos populares cosmopolitas), apresentando moderada abundância total e bons índices de diversidade e uniformidade que diferiram, positivamente, o sistema do solo exposto. Os cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco antes da implantação de pastagem de capim-braquiária (G/FP/B) possibilitaram ocorrência de muitos cupins, e menor ocorrência de besouros, ninfas de cigarra e formigas. Estes que foram abundantes em solo exposto, mas sem condições para o desenvolvimento dos cupins, se mostra desequilibrado refletindo nos padrões de abundância, diversidade e uniformidade, negativamente. A alta abundância de formigas permite, portanto, bioindicação de áreas sob perturbações ecológicas. Os tratamentos culturais de calagem e gessagem, aplicados ao condicionamento de sucessões de mucuna-preta, feijão-guandu, feijão-de-porco e capim-braquiária (CMP/B, CG/FP/B, CGeMP/B e CGeG/FP/B), limitaram a diversidade e a uniformidade e os padrões da macrofauna, perceptivelmente, influenciados principalmente pela alta abundância de cupins, comum às práticas de manejo. A vegetação nativa de Cerrado (MA), considerado o segundo maior bioma brasileiro em extensão e a mais diversificada e rica savana do mundo, apresentou neste período predominância de cupins apenas e baixa ocorrência de aranhas, baratas, centopeias, tesourinhas e lacraias, ninfas de cigarra, percevejos e escorpiões.

Objetivamente, em dezembro de 2010, os melhores padrões de macrofauna nas camadas superiores do solo (0-5 cm) ocorreram em parcelas de sucessão de culturas de mucuna-preta e capim-braquiária (MP/B), condicionada, ou não, por calagem. Em relação às camadas, intermediária (5-10 cm) e inferior (10-15 cm), houve novamente predominância dos cupins, distinguidos pela habilidade de atuar como bioturbadores, reorganizadores e catalisadores de minerais de argila.

Houve evidências que em feijão-de-porco e mucuna-preta, condicionados, ou não, por calagem e/ou gessagem ocorreram percevejos fitófagos e predadores, além de formigas, que estão associadas ao estado de má funcionalidade do solo exposto, onde os padrões de macrofauna mostram adversidades ambientais resultantes de ações humanas descontroladas, mas biomonitoráveis e passíveis de reversão (Tabela 6).

Período de outono-inverno de 2011

Em julho de 2011 (Tabela 7) contabilizaram-se, nas camadas superficiais avaliadas (0-5, 5-10 e 10-15 cm) de solo mobilizado à implantação de capim-braquiária (SM/B), baixa ocorrência de besouros e predominância de cupins. Estes foram responsáveis pelos valores de abundância e índices de diversidade e de uniformidade, relativamente similares comparado aos padrões de macrofauna de solo exposto, mostrando sinais de autorregulação ao longo do tempo. O cultivo de mucuna-preta antes da implantação de capim-braquiária (MP/B), funcionou como micro-habitat para prevalecerem cupins, em relação a estágios metamórficos de cigarra, configurando média abundância total e baixos índices de diversidade e de uniformidade. Condicionada por feijão-guandu, a sucessão de culturas de feijão-de-porco e capim-braquiária (G/FP/B), caracterizada por baixa abundância total e índices de diversidade e de uniformidade, apresentou condições inadequadas para a ocorrência de aranhas, baratas, centopeias, minhocas, ninfas de cigarra, percevejos, gafanhotos e escorpiões. O sistema de pasto de capim-braquiária precedido pelo cultivo calcariado de mucuna-preta (CMP/B) apresentou maior número de cupins em relação a besouros, ninfas de cigarra e formigas, mas com abundâncias baixas mas com valores consideráveis para os índices de diversidade e de uniformidade. A aplicação de calcário ao estabelecimento de sucessão de feijão-guandu, feijão-de-porco e capim-braquiária (CGeG/FP/B) favoreceu a ocorrência de dos cupins e poucos besouros e ninfas de cigarra, apresentando moderada abundância total e índices de diversidade e de uniformidade. Calcariado e gessado, a sucessão de mucuna-preta e capim-braquiária (CGeMP/B), mostrou a maior abundância total, devido a alta ocorrência de cupins e baixos índices de diversidade e de uniformidade.

Coletadas, aleatoriamente, as amostras das camadas superficiais do solo (0-5, 5-10, 10-15 cm) da área de pastagem de capim-braquiária antecedida por cultivos de feijão-de-porco e feijão-guandu, condicionados por calagem e gessagem simultaneamente (CGeG/FP/B), mostraram predominância de formigas e a não ocorrência de cupins. A vegetação nativa do Cerrado, mostrou baixa ocorrência de aranhas, baratas, centopeias, tesourinhas, lacraias, minhocas, ninfas de cigarra, percevejos e escorpiões. No entanto, também registrou abundâncias maiores de besouros, formigas e, principalmente, cupins. Resumidamente, em julho de 2011, os melhores padrões de macrofauna ocorreram sob solo mobilizado à implantação de pastagem de capim-braquiária.

Período de primavera-verão de 2011

Em dezembro de 2011 (Tabela 7), foi amostrada a camada superior (0-5 cm) do solo da área preparada antes da implantação de pastagem de capim-braquiária (SM/B). Esta área apresentou poucas aranhas, baratas, lacraias, milípeias, tesourinhas, minhocas, ninfas de cigarra, percevejos, gafanhotos e escorpiões. No entanto, apresentou maior ocorrência de cupins os quais contribuíram para os valores elevados da abundância total e os baixos índices de diversidade e uniformidade. A utilização da mucuna-preta, antes da implantação de capim-braquiária (MP/B), também resultou na predominância de cupins na área em relação a besouros, formigas e gafanhotos, os quais apresentam revoada, um fenômeno natural para dispersão e reprodução. Esta área teve baixa abundância total e moderados índices de diversidade

e de uniformidade, que diferenciam de forma positiva a prática de manejo de solo exposto (SE), limitado pela oferta de alimento (material orgânico). O cultivo inicial de feijão-guandu, sucedido por feijão-de-porco e capim-braquiária (G/FP/B), manteve alta ocorrência de cupins e resultante poucos indivíduos de besouros, percevejos e formigas. Os tratos culturais de calagem e gessagem, aplicados ao condicionamento de sucessões de mucuna-preta, feijão-guandu, feijão-de-porco e capim-braquiária (CMP/B, CG/FP/B e CGeMP/B) apresentaram baixa abundância total e índices de diversidade e de uniformidade, em relação aos padrões da vegetação nativa (MA). A vegetação nativa de Cerrado, novamente com pouco ocorrência de aranhas, baratas, lacraias, tesourinhas, ninfas de cigarra, percevejos, formigas, gafanhotos e escorpiões, e manteve alta abundância de cupins. A pastagem de capim-braquiária, implantada após calagem, gessagem e o plantio de feijão-guandu e feijão-de-porco (CGeG/FP/B), apresentou a mais elevada abundância formigas, que são sensíveis à variação climática. Em dezembro de 2011, os padrões mais elevados de macrofauna na camada superior (0-5 cm) foram observados nas áreas de sucessão de culturas de mucuna-preta e capim-braquiária, que parecem ser palatáveis para a macrofauna. Enquanto nas camadas intermediária e inferior (5-10 e 10-15 cm) houve predominância dos cupins (Tabela 7).

Distribuição espaço-temporal de macrofauna de solo em área degradada sob recuperação

O clima, caracterizado por um conjunto de condições de temperatura e pluviosidade típicas da região, e as práticas de manejo utilizando leguminosas, naturalmente adaptadas a possuir relações simbióticas com bactérias diazotróficas e/ou fungos micorrízicos arbusculares, tiveram impacto nos padrões de macrofauna nas camadas de solo avaliadas em área degradada de Cerrado em processo de recuperação gradual. Independentemente da época de amostragem, as camadas 0-5 e 5-10 cm apresentaram aumento na abundância total e na e riqueza de grupos da macrofauna, principalmente cupins, formigas e besouros, comumente encontrados em climas tropicais e subtropicais (Figura 2).

Tabela 6. Padrões de macrofauna de estrato superior de solo em área degradada de Cerrado sob recuperação há 18 anos por práticas de manejo de agricultura conservacionista, Selvíria, Mato Grosso do Sul em 2010.

	S M/ B	M P/ B	G/F P/B	CM P/B	CG/ FP/ B	CGe MP/ B	CGeG /FP/B	S E	M a	SM /B	M P/ B	G/F P/B	CM P/B	CG/ FP/ B	CGe MP/ B	CGeG /FP/B	S E	M a
Estação	Inverno/2010								Verão/2010									
o																		
0-5 cm																		
Subtotal	71	273	42	35	53	247	29	20	72	216	108	365	58	51	198	104	37	107
Abundância total	7,1	27,3	4,2	3,5	5,3	24,7	2,9	2,0	7,2	21,6	10,8	36,5	5,8	5,1	19,8	10,4	3,7	10,7

(ind m ⁻²)																		
Índice de diversidade (S)	1,2	0,5	1,5	1,0	1,0	0,2	1,2	0,2	1,3	0,3	1,0	0,2	0,8	0,6	0,4	0,6	0,2	0,6
Índice de uniformidade (E)	0,6	0,2	0,8	0,5	0,5	0,1	0,6	0,2	0,7	0,2	0,6	0,1	0,7	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3
5-10 cm																		
Subtotal	29	108	158	35	60	101	28	5	105	114	33	206	94	93	49	148	55	424
Subtotal cumulativo	10	38	200	70	113	348	57	25	177	330	141	571	152	144	247	252	92	531
Abundância total (ind m ⁻²)	10,0	38,1	20,0	7,0	11,3	34,8	5,7	2,5	17,7	33,0	14,1	57,1	15,2	14,4	24,7	25,2	9,2	5,3
Índice de diversidade (S)	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	1,2	1,4	0,6	0,5	1,3	1,0	1,2	0,3	1,0	0,8	0,9	0,1	0,21
Índice de uniformidade (E)	0,7	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,3	0,7	0,9	0,8	0,2	0,6	0,8	0,6	0,1	0,1
10-15 cm																		

Subtot																		2
al	43	134	49	74	25	16	45	6	104	35	7	31	139	63	27	43	1	87
Subtot																		
al	10	38						2	17								9	5
cumul	0	1	200	70	113	348	57	5	7	330	141	571	152	144	247	252	2	31
ativo																		
Total	14	51						3	28		14						9	8
	3	5	249	144	138	364	102	1	1	365	8	602	291	207	274	295	3	18
Abund																		
ância																	9	8
total	14,	51,	24,	14,				3	28	36,	14,	60,	29,				,	1,
(ind m-	3	5	9	4	13,8	36,4	10,2	,1	,1	5	8	2	1	20,7	27,4	29,5	3	8
2)																		
Índice																		
de								0										
diversi	1,5	0,5	0,5	1,5	0,6	1,1	1,2	,	1,3	0,4	1,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,6	1,	0,
dade								5									0	2
(S)																		
Índice																		
de																		
unifor	0,	0,5	0,3	0,7	0,4	0,6	0,7	0	0,7	0,3	0,7	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0	0,
midad	8							,7									,7	2
e (E)																		

SM/B - Solo mobilizado e ocorrência de vegetação espontânea, sucedida por implantação de capim-braquiária; MP/B - Mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; G/FP/B - Cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária; CMP/B - Calagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CG/FP/B - Calagem, cultivos de feijão-guandu e implantação de capim-braquiária; CGeMP/B - Calagem e gessagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CGeG/FP/B - Calagem e gessagem, cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária; SE - Solo exposto; MA - mata - Vegetação nativa de Cerrado do Mato Grosso do Sul.

Tabela 7. Padrões de macrofauna de estrato superior de solo em área degradada de Cerrado sob recuperação há 18 anos por práticas de manejo de agricultura conservacionista, Selvíria, Mato Grosso do Sul em 2011.

	S M/ B	M P/ B	G/F P/B	CM P/B	CG/ FP/ B	CGe MP/ B	CGeG /FP/B	S E	M a	S M/ B	M P/ B	G/F P/B	CM P/B	CG/ FP/ B	CGe MP/ B	CGeG /FP/B	S E	M a
	Inverno/2011								Verão/2011									
	0-5 cm																	
Subtotal	153	111	31	31	84	499	38	109	31	135	37	43	26	65	73	9	44	153
Abundância total (ind m ⁻²)	15,3	11,1	3,1	3,1	8,4	49,9	3,8	10,9	3,1	13,5	3,7	4,3	2,6	6,5	7,3	0,9	4,4	15,3
Índice de diversidade (S)	1,3	0,4	0,3	0,7	0,6	0,2	1,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,2	0,8	0,6	0,5	0,6	0,2	0,6
Índice de uniformidade (E)	0,8	0,3	0,2	0,5	0,6	0,3	0,9	0,7	1,0	0,1	0,6	0,1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3
	5-10 cm																	
Subtotal	73	79	55	20	126	277	57	414	36	25	85	27	5	55	15	1	52	73
Subtotal cumulativo	226	190	86	51	210	776	95	523	67	160	122	70	31	120	88	10	96	226
Abundância total (ind m ⁻²)	22,6	19,0	8,6	5,1	21,0	77,6	9,5	52,3	6,7	16	12,2	7	3,1	12	8,8	1	9,6	22,6

Índice de diversidade (S)	0,1	1,4	1,1	0,5	1,0	0,5	1,1	0,5	0,6	0,5	1,1	0,3	0,4	0,7	1,0	0,6	1,0	0,2
Índice de uniformidade (E)	0,2	0,7	0,8	0,5	0,6	0,5	0,8	0,1	0,6	0,4	0,8	0,2	0,2	0,4	0,6	0,3	0,7	0,2
10-15 cm																		
Subtotal	29	47	16	75	16	105	55	187	8	2	3	1	2	3	5	4	1	7
Subtotal cumulativo	307	226	190	86	51	210	776	953	52	54	14	10	50	9	28	46	2	29
Total	336	273	206	161	67	315	831	960	81	121	174	132	120	40	148	134	12	125
Abundância total (ind m ⁻²)	33,6	27,3	20,6	16,1	6,7	31,5	83,1	9,6	81,0	12,1	17,4	13,2	12	4	14,8	13,4	1,2	12,5
Índice de diversidade (S)	0,9	0,6	1,4	0,8	0,5	0,5	1,3	0,7	1,4	1,3	1,0	1,2	0,3	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2
Índice de uniformidade (E)	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,5	0,7	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	0,2	0,4	0,8	0,6	0,1	0,2

SM/B - Solo mobilizado e ocorrência de vegetação espontânea, sucedida por implantação de capim-braquiária; MP/B - Mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; G/FP/B - Cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por

implantação de capim-braquiária; CMP/B - Calagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CG/FP/B - Calagem, cultivos de feijão-guandu e implantação de capim-braquiária; CGeMP/B - Calagem e gessagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CGeG/FP/B - Calagem e gessagem, cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária; SE - Solo exposto; MA - mata - Vegetação nativa de Cerrado do Mato Grosso do Sul.

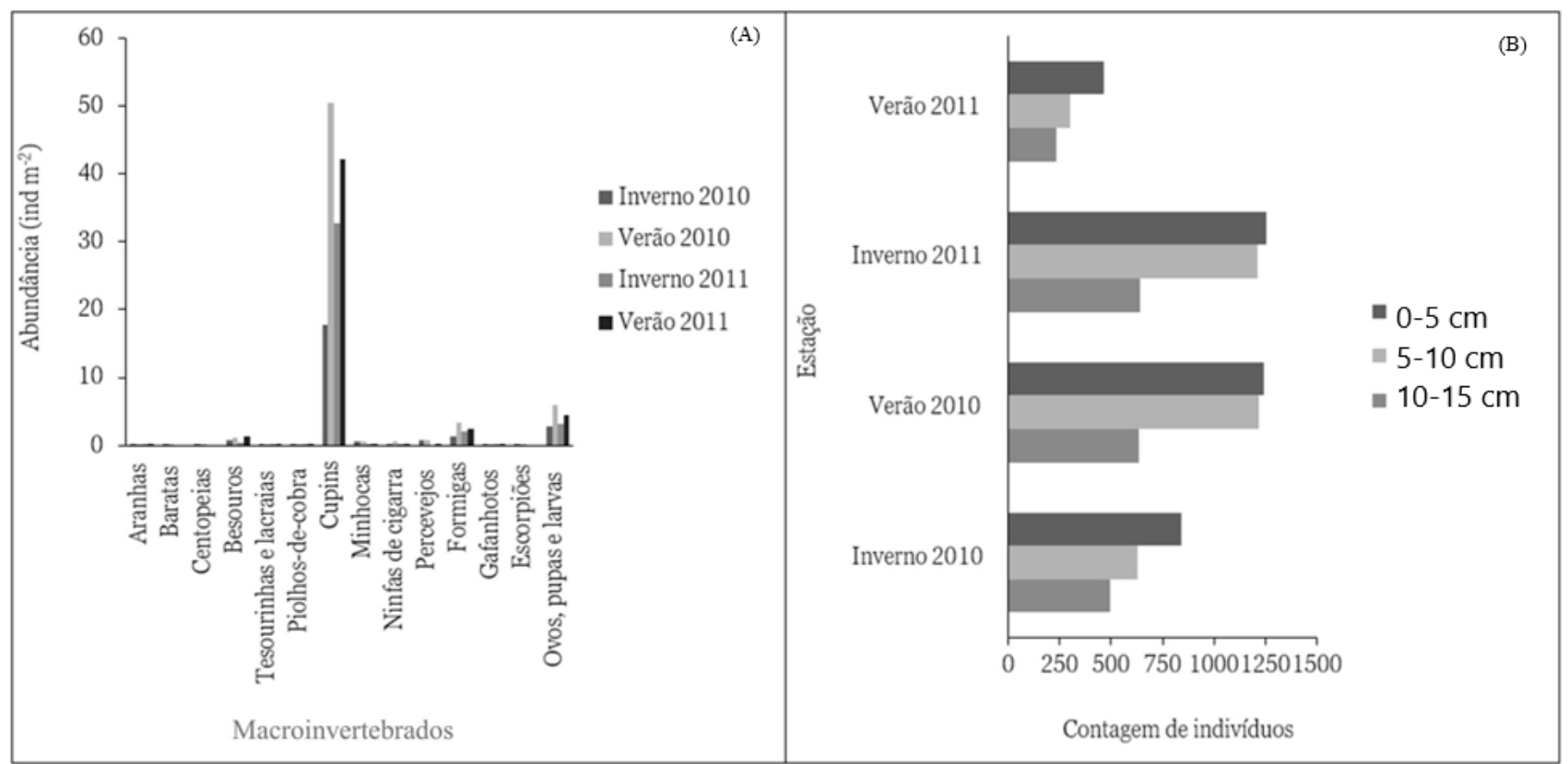


Figura 2. Abundância média geral (indivíduos por metro quadrado - ind/m²) dos grupos da macrofauna do solo (aranhas, baratas, lacraias, besouros, tesourinhas, piolhos-de-cobra, cupins, minhocas, ninfas de cigarras, percevejos, formigas, gafanhotos, escorpiões e ovos, pupas e larvas) nas quatro épocas de amostragem (verão/2010, inverno/2010, verão/2011 e inverno/2011) (A) e abundância (número de indivíduos) épocas de amostragem e diferentes profundidades do solo (0-5, 5-10 e 10-15 cm) (B) em área degradada sob recuperação há 18 anos por práticas de manejo de agricultura conservacionista em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Teia de associações lineares de macrofauna e relações táxon-microambiente

Os percevejos, fitófagos, apresentaram uma correlação positiva com os predadores gafanhotos, tesourinhas, lacraias. Os índices de diversidade e uniformidade tiveram correlação negativa com cupins, que estão diretamente associados à abundância total. Microambientes com predominância de cupins se mostram inviáveis para a criação e preservação de um equilíbrio ecológico, que é afetado por fatores climáticos, disponibilidade e variedade de recursos alimentares, além,

é claro, das competências competitivas da macrofauna interligadas por complexos níveis tróficos. Por outro lado, há uma correlação positiva de tesourinhas, lacraias, besouros e minhocas e que ocorreram em vegetação nativa de Cerrado. A construção de tuneis e galerias pela atividade das minhocas, alteram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, reorganizando as frações primárias formando agregados biogênicos pelo trânsito intestinal e/ou intemperismo de minerais de argila. Essa atividade acaba beneficiando a ocorrência de outros grupos como besouros e tesourinhas. As minhocas se correlacionaram negativamente com as formigas, que são abundantes em solo exposto, impróprio para a ocorrência da maioria dos organismos da macrofauna epigeica, afetando assim a abundância, diversidade e uniformidade. A presença das formigas pode, portanto, refletir ambiente degradado. Finalmente as aranhas e as formigas se correlacionaram positivamente com a abundância de ovos, pupas e larvas, que podem ser considerados fontes de alimento propensos à predação e colonização por formigueiros (Figura 3).

A rede de informações de padrões de macrofauna do solo em áreas degradadas sob recuperação por práticas de manejo de agricultura conservacionista pode ser explicada pelos subconjuntos CP_I, CP_{II}, CP_{III} e CP_{IV}, nominados respectivamente: equilíbrio ecológico, disponibilidade e diversidade de fontes alimentares, atividades predatórias e distúrbios antropogênicos resultantes no mapa fatorial (Figura 4).

A componente principal I, associado à vegetação nativa de Cerrado e sucessões de culturas de feijão-guandu, feijão-deporco e capim-braquiária, condicionados por calagem e/ou gessagem, correlacionou-se com besouros, tesourinhas, lacraias, piolhos-de-cobra e minhocas, os quais podem explicar a variação no equilíbrio ecológico. A componente principal II, associado à pastagem de capim-braquiária antecedido por cultivo calcariado e gessado de mucuna-preta, correlacionou-se aos índices de diversidade e uniformidade, que indicam a importância de oferta e opções de fontes alimentares para a promoção e manutenção de relações tróficas equilibradas. As componentes principais III e IV, não plotadas no mapa fatorial, descrevem a variância dos demais tratamentos, que se correlacionaram com as baratas, centopeias, escorpiões, cupins e piolhos-de-cobra.

A presença de baratas, centopeias, escorpiões e percevejos indicam que os agroecossistemas abrigam atividades predatórias, importantes para o equilíbrio da cadeia trófica. Por outro lado, a presença de cupins, podem indicar que as composições da fauna e da flora foram afetadas pela ação humana, podendo apresentar diferentes graus de degradação, como o solo exposto em contraste com a vegetação nativa do Cerrado (Figura 4).

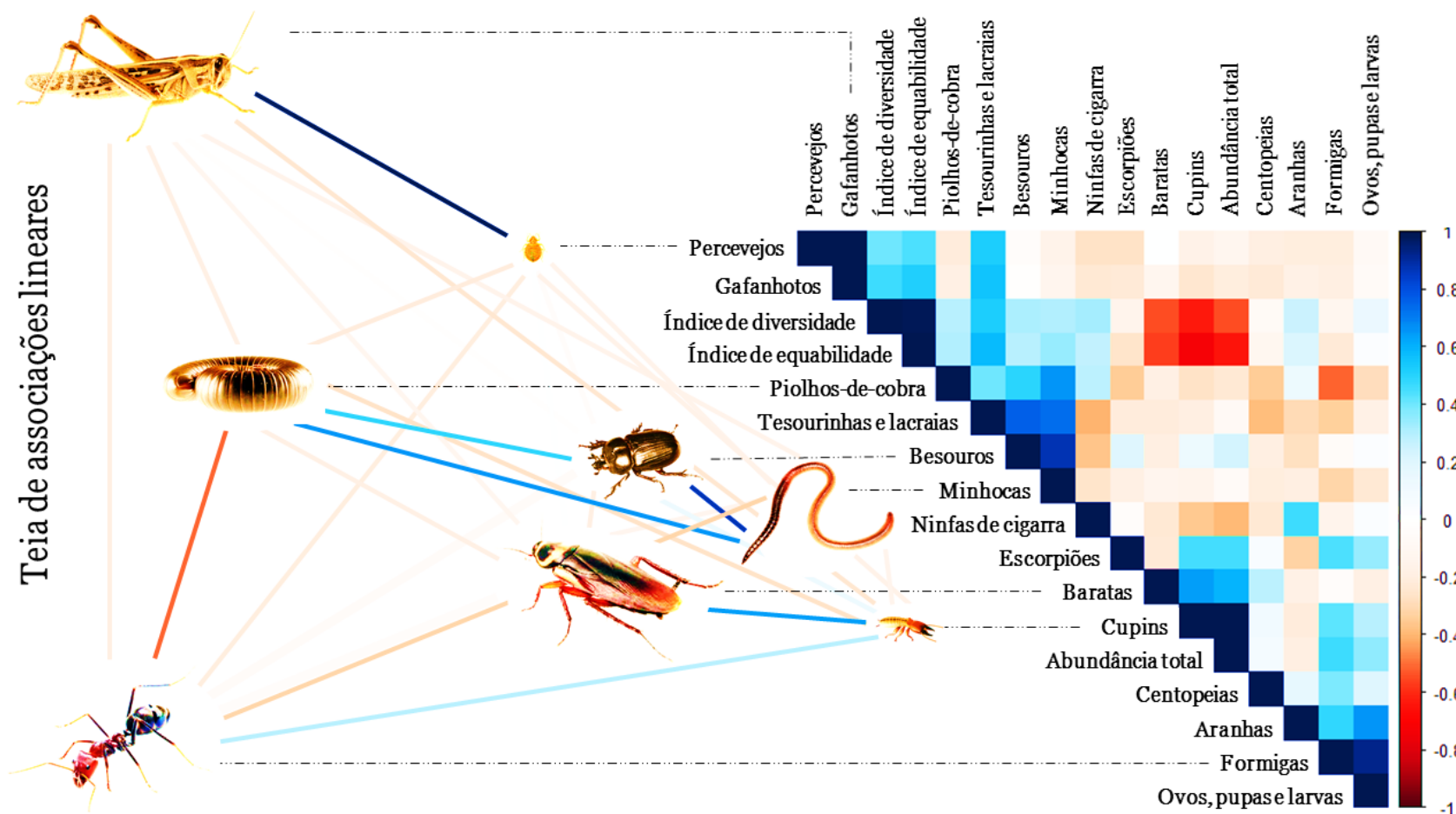


Figura 3. Análise de correlação linear de Pearson de padrões de macrofauna de solo em área degradada de Cerrado sob recuperação há 18 anos por práticas de manejo de agricultura conservacionista, Selvíria, Mato Grosso do Sul, 2010 e 2011.

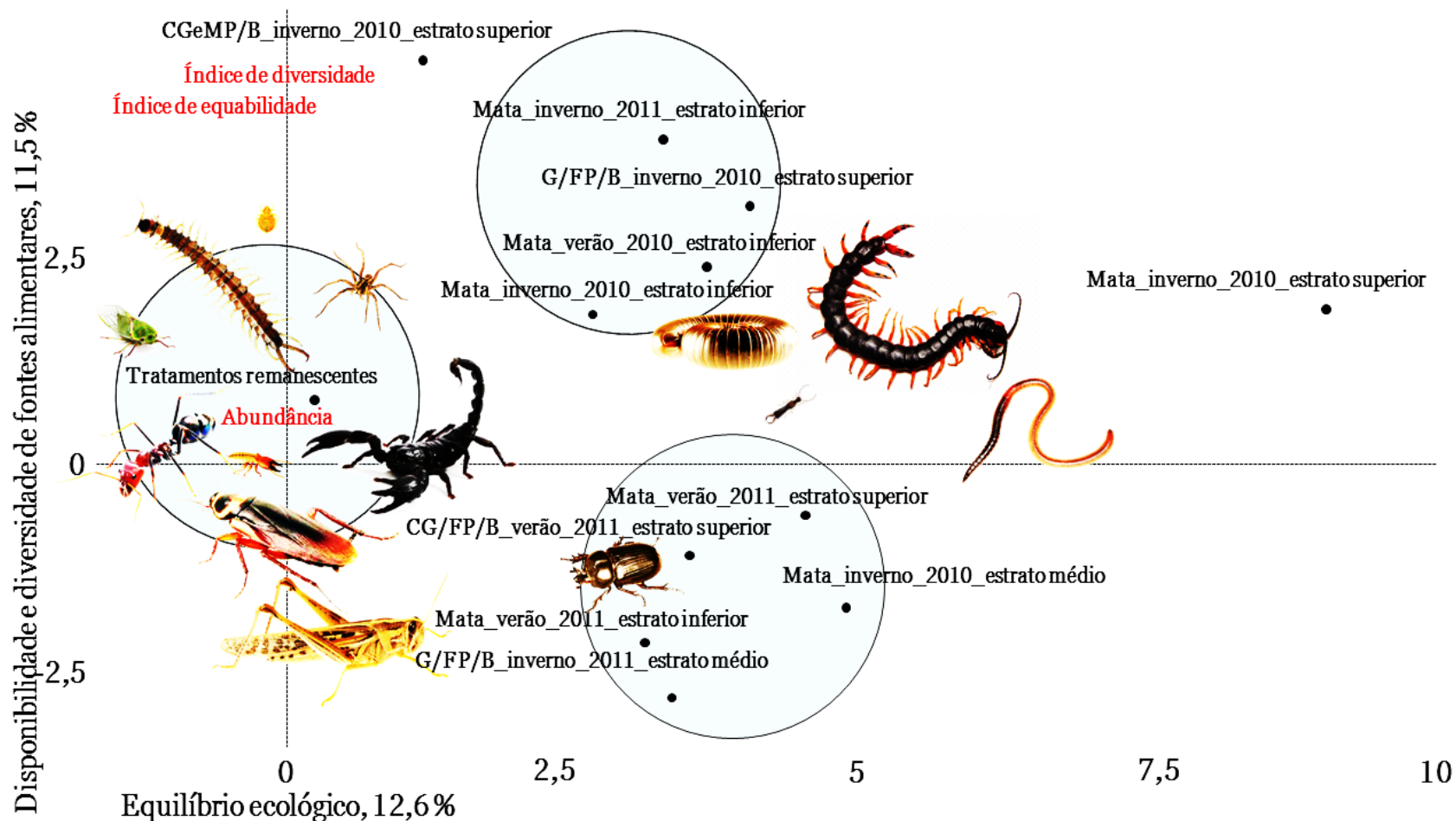


Figura 4. Mapa fatorial de padrões de macrofauna de solo, nos anos de 2010 e 2011, em área degradada de Cerrado sob recuperação há 18 anos por práticas de manejo de agricultura conservacionista em Selvíria no Mato Grosso do Sul. (SM/B - Solo mobilizado e ocorrência de vegetação espontânea, sucedida por implantação de capim-braquiária; MP/B - Mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; G/FP/B - Cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária; CMP/B - Calagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CG/FP/B - Calagem, cultivos de feijão-guandu e implantação de capim-braquiária; CGeMP/B - Calagem e gessagem, cultivo de mucuna-preta e implantação de capim-braquiária; CGeG/FP/B - Calagem e gessagem, cultivos de feijão-guandu e feijão-de-porco, sucedidos por implantação de capim-braquiária; SE - Solo exposto; Ma - mata - Vegetação nativa de Cerrado no Mato Grosso do Sul)

Discussão

Indicadores da funcionalidade do solo são elementos-chave para o estudo, a proposta, o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias que permitam mitigar as adversidades que afetam os sistemas agrícolas de produção e a sustentabilidade de ecossistemas naturais que são negligenciados. A atribuição de indicadores requer uma grande quantidade de informações básicas, geralmente, obtidas através da avaliação holística e reducionista de intra e interrelações das propriedades químicas, físicas e biológicas. A utilização da macrofauna do solo para o biomonitoramento de impactos espaço-temporais de em áreas sob exploração econômica e práticas de manejo seria, portanto, adequado para a compreensão e a regeneração de agroecossistemas perturbados por forças pedoclimáticas e antropogênicas, eliminando-os ou amenizando-as (LAWTON et al., 1998; TURBÉ et al., 2010; BUNEMANN et al., 2018; VELASQUEZ; LAVELLE, 2019).

Macrofauna do solo em área degradadas sob recuperação

O estudo sobre os aspectos ecológicos da macrofauna sob sistema ILP (Integração Lavoura-Pecuária) em Latossolo no Cerrado, foi conduzida por Marchão et al. (2009) e mostrou que a abundância total foi maior em vegetação nativa (4788 ind m⁻²) e mais baixa em lavouras (977 ind m⁻²). Cupins e formigas predominaram na abundância total, respectivamente com 4340 e 244 ind m⁻², atribuída à qualidade da cobertura vegetal, capacidade de ocupação territorial em micro habitats e propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, especialmente temperatura superficial. De modo geral, a abundância total, diversidade de besouros, milipeias, formigas e minhocas reduziram drasticamente na transição da vegetação nativa para a agricultura. Encontraram 194 morfoespécies, distribuídas em 30 grupos, ordens e/ou famílias. Os cultivos de soja, tanto convencional como em sistema integrado, tiveram as maiores riquezas, com 105 e 102 morfoespécies respectivamente. Enquanto em pastagem permanente foram encontradas apenas 37 morfoespécies. As formigas se sobressaíram como grupo com maior riqueza, totalizando 60 morfoespécies pertencentes às subfamílias Myrmicinae, Formicinae e Panerinae, típicas de florestas, pastagens e jardins urbanos (Tabela 8).

Diferenças entre padrões da macrofauna do solo em ambientes e artificiais são totalmente previsíveis. Florestas, pastagens, plantações de cana-de-açúcar e bosques de coníferas diferem completamente em termos de propriedades físicas e químicas, tais como níveis de argila e nutrientes, pH e relação C:N. Esses fatores são cruciais para a harmonia das relações tróficas e comportamentos de bioturbadores, reorganizadores e agentes de intemperismo de minerais de argila, beneficiando-os ou não, conforme relatado por Rampelotto et al. (2013), em um estudo avaliando a abundância, a diversidade e estrutura da macrofauna do solo no Cerrado em diferentes sistemas de exploração.

No presente estudo, a disponibilidade e a qualidade de fontes alimentares (feijão-guandu, feijão-de-porco, mucuna-preta e capim-braquiária) sob aplicação de calcário e/ou gesso, podem ser consideradas eficientes considerando os resultados de abundância total, índices de diversidade e de uniformidade e a distribuição espaço-temporal de aranhas, baratas, centopeias, besouros, tesourinhas, lacraias, piolhos-de-cobra, cupins, minhocas, ninfas de cigarra, percevejos, formigas, gafanhotos e escorpiões em profundidades do solo em áreas degradadas sob recuperação por práticas culturais, por influenciar os microclimas afetando assim a reestruturação da ordem.

Tabela 8. Padrões de macrofauna sob vegetação nativa, pastagens, lavouras e sistemas de integrados de Cerrado (adaptado de MARCHÃO et al., 2009).

Ordem	Sistema					Preparo		Fertilidade	
	VN	PP	RPL	RLP	L	SPD	C	M	CC
Abundância (ind m ⁻²)									
Coleoptera (adulto)	16	37	32	192	152	157	98	138	106
Coleoptera (larvas)	80	464	530	301	229	446	241	355	360
Formicidae	244	395	82	450	240	353	167	238	305
Isoptera	4340	544	316	1173	251	794	370	822	401
Crassiclitellata	24	149	153	163	35	164	64	143	100
Diplopoda	8	21	21	62	43	70	14	35	45

Chilopoda	44	0	5	5	0	3	3	5	2
Diptera (larvas)	8	5	23	21	5	20	11	10	19
Hemiptera	0	21	16	16	16	17	15	14	19
Lepidoptera (larvas)	0	5	2	10	6	4	8	8	4
Araneae	20	0	5	3	8	9	2	5	5
Blattaria	0	5	0	5	2	4	0	2	4
Gastropoda	0	0	2	10	6	12	0	7	4
Orthoptera	4	0	0	2	3	0	3	2	2
Total de morfoespécies por parcela									
Coleoptera (adulto)	4	5	7	24	28	27	26	25	30
Coleoptera (larvas)	10	7	22	25	24	32	26	29	32
Formicidae	20	11	12	22	19	25	22	27	20
Isoptera	1	2	1	0	2	1	2	2	1
Crassiclitellata	2	3	4	4	3	5	5	4	5
Diplopoda	2	2	4	4	2	4	2	4	3
Chilopoda	2	0	3	2	0	2	3	3	2
Diptera (larvas)	2	1	7	6	3	9	6	6	8
Hemiptera	0	4	8	4	9	13	8	7	13
Lepidoptera (larvas)	0	1	1	6	4	4	7	7	4
Araneae	5	0	3	2	5	8	2	4	6
Blattaria	0	1	0	3	1	3	0	1	2
Gastropoda	0	0	1	2	1	2	0	2	1
Orthoptera	1	0	0	1	1	0	2	1	1
Abundância total (ind m ⁻²)	4788	1648	1188	2411	997	2053	998	1782	1376
Riqueza	49	37	73	105	102	135	111	122	128

Legenda – VN: Vegetação Nativa; PP: Pastagem Permanente; RPL: Rotação Pastagem-Lavoura; RLP: Rotação Lavoura-Pastagem; L: Lavoura; SPD: Sistema Plantio Direto; C: Convencional, M: Manutenção e CC: Correção; Coleoptera: besouros; Formicidae: formigas; Isoptera: cupins; Crassiclitellata: minhocas; Diplopoda: milipeias/piolhos-de-cobra; Chilopoda: centopeias/lacraias; Diptera: moscas/mosquitos; Hemiptera: percevejos; Lepidoptera: bolboletas/mariposas; Arachnida: aracnídeos; Blattaria: baratas; Gastropoda: lesmas/caracóis; Orthoptera: grilos/gafanhotos.

Lammel et al. (2015) realizaram um estudo sobre a macrofauna do solo e atributos microbiológicos em sistemas de cafeicultura, em modo convencional e orgânico, em consórcios com *U. decumbens* e *Arachis pintoii*. Esta última, uma leguminosa forrageira, utilizada para várias finalidades ambientais e econômicas. Os autores relataram que os tratamentos apresentaram aumento na abundância de lesmas/caracóis, formiga e cupins. Enquanto as práticas de

agricultura orgânica favoreceram besouros e minhocas (Tabela 9), considerados bioindicadores de qualidade do solo, devido à disponibilidade de material orgânico e a não utilização de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, que quando mal utilizados são comprovadamente prejudiciais ao equilíbrio dos ecossistemas (BARETTA et al., 2007; BARTZ; PASINI; BROWN, 2013). Haveria, portanto, evidências de benefícios de diversificação de sistemas agrícolas de produção à promoção e, ou, preservação de padrões de macrofauna edáfica, estratégia ao fortalecimento de modelos orgânicos pretendidos à garantia de segurança alimentar à superpopulação mundial, receosa à intensificação de agroecossistemas não sustentáveis.

Tabela 9. Abundância de macrofauna sob sistemas de cafeicultura (adaptado de LAMMEL et al., 2015).

Grupo	Convencional	Orgânico	Consórcio de	Consórcio de
			<i>A. pintoi</i>	<i>U. decumbens</i>
Abundância (ind m ⁻²)				
Araneae (aranhas)	3	13	10	6
Blattaria (baratas)	0	0	3	3
Chilopoda (centopeias/lacraias)	0	9	13	13
Coleoptera (besouros)	26	0	32	32
Diptera (larvas de moscas/mosquitos)	0	0	0	0
Formicidae (formigas)	61	3	16	268
Heteroptera (percevejos)	10	3	3	3
Isoptera (cupins)	0	0	16	0
Lepidoptera (larvas de borboletas/mariposas)	3	0	10	0
Mollusca (lesmas/caracóis)	10	42	22	38
Crassiclitellata (minhocas)	48	96	3	42
Opiliones (opiliões)	0	0	0	3

Gholami et al. (2016) em um estudo sobre a análise espacial da macrofauna do solo mata ciliar e sua relação com propriedades abióticas do solo mostrou que a comunidade da macrofauna era composta por besouros, piolhos-de-cobra, lesmas/caracóis, moscas (larvas), minhocas, aranhas e formigas e que computou a abundância total de 43,1 ind m⁻², diferindo dos valores encontrados em vegetação nativa de Cerrado no presente estudo. Complementarmente, o estudo sobre os impactos de agricultura conservacionista em propriedades de solo e a produtividade da cultura de milho, conduzida por Sithole, Magwaza e Mafongoya (2016), mostra que houve maior abundância total de macrofauna em agricultura conservacionista (AC), 30 a 40 ind m⁻², enquanto a adoção de rotação de culturas e o preparo convencional apresentaram valores mais baixos 25 a 35 ind m⁻² e 10 a 15 ind m⁻², respectivamente. Cupins, besouros e piolhos-de-cobra ocorreram em AC e rotação, enquanto aranhas, lesmas/caracóis e lacraias ocorreram no sistema convencional. Este estudo mostrou que o uso de solo e práticas de manejo determinam a composição da macrofauna do solo.

O estudo que relaciona a estrutura do solo com representantes da macrofauna, considerados engenheiros do ecossistema em pastagem e em cana-de-açúcar, conduzido por Franco et al. (2017), mostrou que os cupins representam

58% da abundância total da macrofauna em pastagem, no entanto, apenas 1% em cana-de-açúcar, que favoreceu os besouros. O estudo ainda mostrou, através de uma análise de agrupamento, que o cultivo de cana-de-açúcar está associado com as elevadas notas da avaliação visual da estrutura de solo e que a pastagem natural está correlacionada com a macrofauna do solo.

Os cupins são organismos geófagos que alteram a composição e a estabilidade dos agregados pela atividade que possuem na construção dos ninhos, adicionando saliva ao solo para cimentar a estrutura, transformando-os em agregados biogênicos estáveis e/ou pela produção de excrementos ricos em material orgânico e solo, devido à ingestão de celulose, restos vegetais e solo. Os adultos e muitas larvas de besouros são bioturbadores e contribuem para a estruturação e a estabilização de agregados pela execução de hábitos de produção de galerias e ninhos, e translocação de matéria orgânica e minerais no perfil do solo. A bioturbação realizada por grupos da macrofauna do solo qualidade estrutural à matriz edáfica, principalmente, em regiões tropicais. A conversão de pastagens naturais em áreas agrícolas necessita a intervenção de maquinários para o preparo do solo e que são prejudiciais principalmente às propriedades biológicas e físicas do solo (BOTTINELLI et al., 2015; JUNGIERIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; REATTO et al., 2009).

Minhocas, formigas, cupins e besouros são em geral encontrados em ambientes florestais. Kamau et al. (2017), em um estudo sobre a macrofauna do solo sob florestas dominantes e gradientes de degradação, mostrou que florestas compostas por *Zanthoxylum gillettii* de 10, 16 e 62 anos de idade apresentaram valores de abundância de minhocas de 389, 160 e 14 ind m⁻², respectivamente, enquanto silviculturas de *Eucalyptus grandis* e *Croton megalocarpus* de 16 anos apresentaram densidades de cupins e aranhas de 82 e 8 ind m⁻², respectivamente. O tempo e a qualidade da serapilheira influenciaram a ocorrência da macrofauna do solo. Sensíveis à degradação espaço-temporal, serapilheiras de *E. grandis* e *C. megalocarpus* continham 514 e 472,7 g kg⁻¹ de carbono total, 9,1 e 18,1 g kg⁻¹ de N e, portanto, relações C: N de 57:1 e 27:1, respectivamente. A disponibilidade de N determina as relações tróficas, a intensidade, a qualidade e a regularidade das funções ecológicas da macrofauna (RAMPELOTTO et al., 2013). No presente estudo, fontes alimentares com equilibrada relação C:N pelas leguminosas (feijão-guandu, feijão-de-porco e mucuna-preta), e a serapilheira da vegetação nativa do Cerrado justificariam os padrões de macrofauna de áreas sob recuperação, em relação ao solo exposto, bastante esgotado e, portanto, incapaz de suportar diversidade e riqueza de táxons.

Um estudo dos padrões da macrofauna do solo em diferentes usos de solo na região da Amazônia colombiana, conduzido por Suárez et al. (2018), mostrou que cupins e formigas, com 2937 e 2241 indivíduos respectivamente, dominaram o registro de 7854 indivíduos, distribuídos em 21 grupos taxonômicos. Os índices de diversidade e uniformidade indicam a competições intra e interespecíficas por fontes alimentares e micro habitats. A floresta nativa, oposto à agricultura, mostrou diversidade de grupos, principalmente aranhas, lacraias, dipluros e pseudoescorpiões (Tabela 10). De modo geral, as florestas naturais apresentam alta capacidade em preservar a riqueza, a biodiversidade e a uniformidade de composições faunísticas.

Tabela 10. Índice de associação táxon-habitat (adaptado de SUÁREZ et al., 2018).

Grupo	Uso de solo	Índice
Aranae (aranhas)	Floresta Nativa	0,33
Blattaria (baratas)	Floresta Nativa	0,34

Chilopoda (centopeias/lacraias)	Floresta Nativa	0,39
Coleoptera (besouros)	Pastagem	0,15
Diplopoda (milipeias/piolhos-de-cobra)	Floresta Nativa	0,29
Diplura (dipluros)	Floresta Nativa	0,73
Gastropoda (lesmas/caracóis)	Pousio Otimizado	0,33
Hemiptera (percevejos)	Culturas em Plantação em Floresta	0,16
Formicidae (formigas)	Pousio	0,25
Isopoda (tatuzinho-de-jardim)	Pousio	0,24
Isoptera (cupins)	Floresta Nativa	0,29
Crassiclitellata (minhocas)	Culturas em Plantação em Floresta	0,17
Pseudoscorpionida (pseudoescorpiões)	Floresta Nativa	0,68
Symphyla (sínfilos)	Pastagem	0,34

Práticas de manejo na agricultura, como preparo convencional de solo, aplicação de defensivos e de fertilizantes sintéticos, podem prejudicar relações tróficas da macrofauna do solo. Os dipluros, que possuem singular características morfológicas e tróficas, são residentes de ambientes úmidos, rochas e serapilheira, podendo ser considerados confiáveis bioindicadores de saúde do solo em ecossistemas preservados. Aranhas e pseudoescorpiões são predadores e também indicam que as áreas onde são encontrados estão em bom estado de conservação. Por outro lado, lacraias e lesmas/caracóis, estes últimos com limitada capacidade de dispersão, não sendo sensíveis em estágios de recuperação e indicam equilíbrio no ambiente (BARETTA et al., 2007; KORBOULEWSKY; PEREZ; CHAUVAT, 2016; MOÇO et al., 2010; VASCONCELLOS et al., 2013). Corroborando com estes resultados, o presente estudo, considerando o componente de atividades predatórias indica que a calagem e/ou a gessagem, as leguminosas e a forrageira são práticas de manejo benéficas para o desenvolvimento de lacraias, tesourinhas e escorpiões, como tentativa de recuperação de áreas degradadas.

Lima et al. (2018) realizaram um estudo sobre o efeito de cupinzeiros em propriedades do solo do bioma Mata Atlântica e mostrou que houve uma distribuição uniforme das partículas nos cupinzeiros do tipo que se projetam parte do ninho acima da superfície do solo, comumente encontrado em pastagens, florestas naturais e reflorestamentos. A região basal dos cupinzeiros, que possui influência do entorno, concentrou nutrientes e carbono orgânico. Em geral os montículos dos cupins possuem maior ou melhor fertilidade química que o solo adjacente sob pastagem. A ação contínua de agentes erosivos, tanto pela água como pelo vento, sobre os cupinzeiros com teores mais elevados de matéria orgânica e minerais, acabam por fragmentar estas estruturas e, teoricamente, contribuiria para a melhoria da fertilidade nos solos adjacentes (OLIVEIRA et al., 2012; REDFORD, 1984; SANCHEZ et al., 1989). A escassa presença de cupins em solo exposto, que poderia resultar em um estado disfuncional prejudicial, mas que poderia ser reduzido se houvesse a utilização de leguminosas.

O estudo de Lejoly et al. (2019), avaliando o revestimento dos ninhos de cupins em relação às propriedades do solo adjacente sob diferentes práticas de manejo, comprovou que houve diferenças na composição dos agregados em sistemas agrícolas orgânico e convencional. Enquanto as áreas agrícolas em geral formavam macroagregados, mas que facilmente

se desmanchavam em microagregados, o revestimento dos ninhos de cupins, ricos em N, P, K, Ca e Mg, argila e carbono orgânico, destacou-se pela proteção de microagregados em macroagregados, comparado com a área agrícola orgânica. Portanto, a presença do cupinzeiros no condicionamento e/ou recuperação de áreas degradadas seria sensata, contanto que o material não apresentasse perigos de “herbivoria” incontrolável.

Os efeitos de preparo do solo e manejo de resíduo em sistemas agrícolas de produção de milho sobre as comunidades da macrofauna e propriedades físicas e químicas de solo de clima semiárido do Colorado nos Estados Unidos da América, foi avaliada por Melman et al. (2019). O estudo mostrou que áreas sob Plantio Direto (PD), com manutenção de cobertura (palhada), apresentou abundância total de 637 ind m⁻², superior à média geral, 218 ind m⁻² das áreas sob preparo convencional do solo, com e sem manutenção de resíduos vegetais. E áreas sob PD, com e sem manutenção de palhada, em relação às minhocas, houve abundância de 492 e 71 ind m⁻² (Tabela 11). O preparo do solo foi bastante prejudicial para a ocorrência de aranhas e besouros carabídeos, abundantes em SPD. Nas propriedades físicas do solo, PD com manutenção de palhada, teve os valores mais elevados para o diâmetro médio dos agregados, além de taxas de infiltração de água, sobressaindo-se consideravelmente às áreas sob preparo convencional do solo, com remoção de material de cobertura, bastante suscetível ao escoamento superficial. No entanto no preparo convencional com retenção de resíduos obtiveram teores de carbono orgânico, N total, e N mineralizável. No entanto, não houve, efeito do preparo e do manejo de resíduos sobre a condutividade elétrica, pH e teor de P. Solos argilosos em geral são preferidos pelas minhocas, a quais pelo efeito na disponibilidade de nutrientes, entre eles o N, acabam influenciando o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Tabela 11. Abundância, biodiversidade e riqueza de grupos de macrofauna de solo em sistemas agrícolas com e sempre preparo do solo e com e sem manutenção de cobertura em áreas de produção de milho (adaptado de MELMAN et al., 2019).

Manejo do solo	Manejo de palhada	Abundância (ind m ⁻²)			Índice de diversidade	Riqueza Total
		minhocas	artrópodes	Macrofauna Total		
Plantio Direto	Manutenção	491	146	637	1,25	5,25
	Remoção	71	82	153	0,81	3,87
Preparo Convencional	Manutenção	95	212	307	1,36	6,00
	Remoção	54	140	194	1,10	5,25

Os excrementos das minhocas, chamados de estruturas biogênicas, concentram P e acabam com disponibilizá-lo no ambiente para plantas e outros organismos no processo de fragmentação/deterioração destas estruturas por processos físicos ou biológicos. Solos alcalinos podem desfavorecer a ocorrência de minhocas e, portanto, reduzir o impacto de suas funções benéfica à agricultura. A abundância de minhocas (anécicas, endogeicas e epigeicas) acima de 400 ind m⁻² beneficiam o desenvolvimento vegetal devido, aos vários efeitos, a reestruturação e melhoria da fertilidade de solo

degradado (VAN GROENIGEN et al., 2014). No presente estudo, relações simbióticas entre leguminosas e microrganismos fixadores de N₂ atmosférico podem explicar a baixa abundância de minhocas sob pastagem de capim-braquiária antecedido por cultivos de feijão-guandu, feijão-de-porco e/ou mucuna-preta, com ou sem calagem e/ou gessagem. Esta hipótese pode ser considerada em estudos futuros aplicados nas relações da macrofauna do solo e as bactérias promotoras de crescimento vegetal em ambientes degradados com a finalidade de recuperá-los.

O estudo conduzido por Velasquez e Lavelle (2019) utilizando a macrofauna do solo como bioindicadores de serviços ambientais em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Amazônia no estado do Pará mostrou que Florestas Pioneiras e Secundárias Tardias apresentaram bons resultados para os atributos resistência mecânica à penetração, taxa de infiltração de água, capacidade de estoque de P, Ca, Mg e K e agregados biogênicos e que estiveram correlacionados com a abundância de minhocas e cupins, 408 e 1461,33 ind m⁻² respectivamente. Enquanto Pastagens Lavradas e Culturas Perenes apresentaram instabilidade estrutural e moderada acidez que estiverem correlacionados com a ocorrência de besouros e miriápodes, 263,11 ind m⁻² 256 ind m⁻², respectivamente (Tabelas 12, 13, 14 e 15). As pastagens podem ser ambientes propícios para os besouros por reduzir as temperaturas e incidência de luz. No presente estudo a presença dos besouros também foi maior nas áreas sob capim-braquiária.

Tabela 12. Abundância dos grupos de macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Amazônia no Pará. (adaptado de VELASQUEZ e LAVELLE, 2019)

Uso de solo	Crassiclitellata	Formicidae	Isoptera	Coleoptera	Myriapoda
	(minhocas)	(formigas)	(cupins)	(besouros)	(centopeias e milípeias)
Abundância (ind m ⁻²)					
Culturas Anuais	35,43	541,71	195,43	200,00	137,14
Pousios	145,90	993,90	1372,20	212,70	161,90
Florestas Queimadas	86,40	377,60	724,80	169,60	230,40
Florestas Exploradas	108	1355,33	877,33	164,67	196,67
Florestas Preservadas	108,80	1484,80	707,20	142,93	201,60
Pastagens Lavradas	83,56	542,22	479,11	263,11	109,33
Pastagens Invasoras	150,59	588,24	1158,59	143,06	123,29
Pastagens Mistas	74,67	581,33	549,33	229,33	69,33
Culturas Perenes	104,00	396,00	324,00	64,00	256,00
Florestas Secundárias Tardias	80,00	628,90	1842,30	246,90	182,90
Florestas Pioneiras Secundárias	408,00	666,67	1461,33	218,67	232,00

Tabela 13. Propriedades físicas de solo de território brasileiro em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Amazônia no Pará. (adaptado de VELASQUEZ e LAVELLE, 2019)

Uso de solo	Densidade do	Resistência à penetração	Força de	Taxa de
	solo		cisalhamento	infiltração
	(kg dm ⁻³)	(kgf cm ⁻²)	(kPa)	de água (mm h ⁻¹)

Culturas Anuais	1,33	52,04	17,68	2189,32
Pousios	1,30	42,70	23,10	1738,80
Florestas Queimadas	1,16	53,45	19,55	3433,83
Florestas Exploradas	1,37	63,33	23,80	1857,87
Florestas Preservadas	1,36	58,05	23,53	2810,19
Pastagens Lavradas	1,44	93,08	53,97	548,33
Pastagens Invasidas	1,45	92,76	48,40	589,90
Pastagens Mistas	1,47	122,17	57,50	753,94
Culturas Perenes	1,50	65,25	27,75	2216,73
Florestas Secundárias Tardias	1,30	65,70	27,60	1494,30
Florestas Pioneiras Secundárias	1,43	48,25	24,63	2091,69

Tabela 14. Propriedades químicas de solo de território brasileiro em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Amazônia no Pará. (adaptado de VELASQUEZ e LAVELLE, 2019)

Uso de solo	pH _{H2O}	Al	Ca	Mg	K	Soma de bases	Capacidade de trocas de cátions	Saturação por bases	P
						(cmol _c kg ⁻¹)		(%)	(mg kg ⁻¹)
Culturas Anuais	6,56	0,08	3,98	0,83	0,24	5,06	5,13	97	11,39
Pousios	5,57	0,39	2,28	0,96	0,17	3,43	3,82	84	6,72
Florestas Queimadas	4,47	1,21	1,05	0,61	0,16	1,84	3,05	60	6,39
Florestas Exploradas	5,09	0,62	1,51	0,74	0,17	2,44	3,06	72	8,24
Florestas Preservadas	4,70	0,84	0,73	0,49	0,12	1,35	2,19	59	5,25
Pastagens Lavradas	5,84	0,18	2,64	0,82	0,23	3,70	3,88	94	5,49
Pastagens Invasidas	5,68	0,21	1,89	0,74	0,16	2,80	3,01	91	6,45
Pastagens Mistas	5,77	0,03	2,60	1,32	0,20	4,14	4,17	99	8,77
Culturas Perenes	6,50	0,06	3,42	0,77	0,13	4,35	4,40	98	35,81
Florestas Secundárias Tardias	5,25	19,42	20,55	21,62	22,91	24,46	25,81	95	29,76
Florestas Pioneiras Secundárias	5,78	0,18	3,24	0,91	0,18	4,35	4,52	93	7,23

Tabela 15. Propriedades morfológicas de solo de território brasileiro em diferentes sistemas de uso do solo no bioma Amazônia no Pará. (adaptado de VELASQUEZ e LAVELLE, 2019)

Uso de solo	Agregados de origem de fauna	Agregados de origem física	Agregados produzidos por raízes	Matéria orgânica de cobertura	Raízes	Rochas
			(g)			
Culturas Anuais	264,43	10,94	5,76	3,32	0,75	1,43
Pousios	200,50	57,70	7,20	6,40	1,50	14,1
Florestas Queimadas	258,35	13,27	14,23	6,68	1,33	0,00
Florestas Exploradas	220,19	20,30	11,91	7,32	2,31	28,22
Florestas Preservadas	232,65	6,27	10,41	5,34	2,52	9,41
Pastagens Lavradas	224,33	91,99	9,13	3,55	1,17	28,88
Pastagens Invadidas	257,92	89,28	10,98	4,70	0,75	14,14
Pastagens Mistas	156,92	0,00	20,72	2,50	3,60	116,7
Culturas Perenes	248,70	66,80	3,40	6,93	1,43	10,63
Florestas Secundárias	186,90	12,50	12,50	3,80	3,20	10,40
Tardias Florestas Pioneiras Secundárias	263,09	8,73	6,88	4,45	1,38	0,00

Wang et al. (2019), em um estudo sobre a resposta da macrofauna do solo ao estresse hídrico em sistemas agroflorestais na República Popular da China, mostrou que as minhocas foram dominantes na comunidade da macrofauna do solo, com 218 indivíduos no total, onde ocorreram 13 gêneros, 5 ordens e 11 famílias de diferentes táxons. As minhocas dos gêneros *Drawida* sp e *Eisenia* sp representaram 48,2 e 21,1% desta abundância nos sistemas agroflorestais avaliados. A restrição de água comprometeu a biomassa da macrofauna, e a riqueza de grupos e/ou gêneros e o índice de uniformidade (Tabelas 16, 17 e 18).

Tabela 16. Representatividade de táxons da macrofauna do solo sob sistemas agroflorestais (adaptado de WANG et al., 2019).

Ordem	Família	Gênero	Indivíduos	Proporção (%)
Opisthopora (minhocas)	Moniligastridae	<i>Drawida</i>	105	48,2
	Lumbricidae	<i>Eisenia</i>	46	21,1
		<i>Allolobophora</i>	9	4,1
	Megascolecidae	<i>Amyntas</i>	7	3,2
Formicidae (formigas)	Formicidae	<i>Formica</i>	16	7,3
		<i>Paratrechina</i>	2	0,9
Geophilomorpha (centopeia/piolho-de-cobra)	Geophilidae	<i>Mecistocephalus</i>	12	5,5
Coleoptera (besouros)	Carabidae	<i>Harpalus</i>	9	4,1
	Elateridae	<i>Agriotem</i>	5	2,3
	Scarabaeidae	<i>Anomala</i>	3	1,4
	Nitidulidae	<i>Carpophilus</i>	1	0,5
Diptera (larvas de moscas e mosquitos)	Ptychopteridae	<i>Ptychoptera</i>	2	0,9
	Muscidae	<i>Musca</i>	1	0,5
Total			218	-

Tabela 17. Abundância da macrofauna do solo sob sistemas agroflorestais (adapatado de WANG et al., 2019).

Profundidade de amostragem	<i>G. max</i>	<i>G. max</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. annuum</i>		
	<i>vs</i>	<i>vs</i>	<i>vs</i>	<i>vs</i>	<i>Z.</i>	<i>Z.</i>
	<i>Z.</i>	<i>Z.</i>	<i>Z.</i>	<i>Z.</i>	<i>bungeanum</i>	<i>bungeanum</i>
	<i>bungeanum</i>	<i>bungeanum</i>	<i>bungeanum</i>	<i>bungeanum</i>		
	Controle	Seca	Controle	Seca	Controle	Seca
Abundância (ind m ⁻²)						
0 – 10 cm	220	25,0	75	25,0	125,0	25,0
10 – 20 cm	60	50,0	30	25,0	60,0	22,5
20 – 30 cm	50	47,5	30	22,5	22,5	35,0

Tabela 18. Abundância, biomassa, riqueza e índice de uniformidade da macrofauna do solo sob sistemas agroflorestais (adaptado de WANG et al., 2019).

Macrofauna do solo		Controle	Seca
<i>Drawida</i> (minhoca)	Abundância (ind m ⁻²)	2,8	1,10
	Biomassa (g m ⁻²)	0,2	0,02
<i>Eisenia</i> (minhoca)	Abundância (ind m ⁻²)	1,7	0,00
	Biomassa (g m ⁻²)	0,1	0,00

<i>Harpalus</i> (besouro)	Abundância (ind m ⁻²)	0,1	0,30
Total	Abundância (ind m ⁻²)	71,2	26,30
	Biomassa (g m ⁻²)	3,0	0,70
Riqueza		2,0	1,40
Índice de uniformidade		0,6	0,30

Pastagem Recuperada na Nicarágua auxiliaram a determinar indicadores precoces no processo de regeneração do solo em agroecossistemas que utilizam poucos insumos (WEBSTER, 2019). Segundo os autores, 20 ordens e 66 famílias da macrofauna do solo foram identificadas nas pastagens do estudo. Formigas, minhocas, besouros e cupins, considerados engenheiros do ecossistema, representaram 37,8 %, 16,8 %, 15,4 % e 12,4 % respectivamente da abundância total. Na Pastagem Recuperada ocorreram 56,9 ind m⁻² e a Degradada 27,3 ind m⁻², podendo ser atribuído à qualidade e quantidade de material orgânico e condições mais adequadas para reprodução. No entanto, considerando as espécies e suas categorias ecológicas, as endogeicas representaram 95,1%, e os restante em anécicas e epigeicas (Tabela 19). No presente estudo, essa relação da qualidade e quantidade do material orgânico disponível para os organismos do solo, determinado pela forma de manejo e condições climáticas, refletem os resultados encontrados em ambiente degradado.

Tabela 19. Abundância, diversidade e riqueza de grupos da macrofauna do solo e propriedades físicas e químicas de solo em pastagens manejadas e degradadas na Nicarguá (adaptado de WEBSTER et al., 2019).

Propriedades biológicas	Nome popular	Pastagem Recuperada	Pastagem Degradada
Crassiclitellata	minhocas	56,9	27,3
Araneae	aranhas	5,3	10,1
Chilopoda	centopeias ou lacraias	5,3	2,4
Coleoptera (adultos e larvas)	besouros	42,1	35
Diplopoda	milipeias ou piolhos-de-cobra	2,4	4,2
Diptera (larvas)	moscas e mosquitos	5,3	1,8
Hemiptera	percevejos	3,6	7,7
Formicidae	formigas	88	102
Isopoda	tatuzinhos-de-jardim	7,1	0,6
Isoptera (adultos e larvas)	cupins	25,5	36,7
Lepidoptera (larvas)	borboletas e mariposas	8,9	10,7
Abundância total (ind m ⁻²)		255,4	245,9
Índice Shannon de biodiversidade		1,8	1,8
Riqueza de espécies		7,6	7,4
Propriedades químicas e físicas			
pH		6,4	6,40

C (g kg ⁻¹)	24,4	22,10
N (g kg ⁻¹)	2,8	2,30
Permanganato de C oxidável (mg kg ⁻¹)	779	678
P (mg kg ⁻¹)	6,2	5,28
CTC (MEQ 100 g ⁻¹)	41,7	40,40
Diâmetro médio de massa (µm)	401	411
Densidade do solo 0 – 10 cm (kg dm ⁻³)	1,1	1,10
Densidade do solo 10 – 20 cm (kg dm ⁻³)	1,1	1
Resistência à penetração (mPa) 0 – 20 cm	233	230
Teor de água gravimétrica (cm ³ H ₂ O cm ⁻³ solo) 0 – 10 cm	0,281	0,271
Teor de água gravimétrica (cm ³ H ₂ O cm ⁻³ solo) 0 – 10 cm	0,34	0,306
Teor de água volumétrica 0 – 10 cm	0,296	0,293
Teor de água volumétrica 10 – 20 cm	0,360	0,306
Água disponível à planta (%)	12,3	11,1
Condutividade hidráulica superficial (mm min ⁻¹)	0,228	0,281

A distribuição espacial da macrofauna do solo, essencial para entender padrões macroecológicos e estabelecer estratégias de gestão em áreas degradadas, é frequentemente influenciada por fatores abióticos e bióticos. Dentre eles destacam-se: precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, as relações inter e intraespecíficas e a capacidades de dispersão e colonização. O estudo realizado por Marchão et al. (2009), avaliando os efeitos do uso do solo e as práticas de manejo utilizadas sobre a comunidade da macrofauna do solo no Cerrado, confirmou que áreas sob Vegetação Nativa, Pastagem, Soja Convencional e Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária concentraram de forma diferenciado os organismos da macrofauna em diferentes camadas e profundidades do solo. Besouros e minhocas representaram 85 % e 75 % respectivamente da abundância total na serrapilheira/palhada. Cupins, formigas e larvas de moscas/mosquitos predominaram as profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm, principalmente em áreas com forrageira e leguminosa, mostrando indícios de alterações nas relações ecológicas dos organismos do solo e a recuperação de áreas degradadas. Corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, a distribuição da macrofauna do solo é afetada pela profundidade do solo, basicamente devido a disponibilidade de material orgânico e disponibilidade de oxigênio (PAULI et al., 2011; SANTOS et al., 2016; SUÁREZ et al., 2018).

O uso e o manejo do solo afetam as propriedades biológicas, físicas e/ou químicas do solo, de maneira positiva ou negativa. As variáveis relacionadas à macrofauna do solo, como abundância, riqueza de grupos e índices de diversidade e uniformidade, certamente são severamente impactados pela mobilização física do solo ao utilizar maquinário para o preparo do solo, o que acaba por destruir o habitat, restringir a fonte de alimento (matéria orgânica), causando então quebra das cadeias alimentares no solo e desequilíbrio no ambiente. Essa prática, atrelada ao uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, são amplamente utilizadas em áreas de produção agrícola mundo. O desmatamento para o estabelecimento de áreas agrícolas, reduz a riqueza de espécies quando utilizadas práticas de manejo maléficas, portanto, ao reduzir o uso de insumos, adotando práticas de agricultura conservacionista ou regenerativa (como plantio direto, rotação e diversificação de culturas, manutenção de cobertura do solo, terraceamento, etc.), sistemas integrados e agrofloresta constituem estratégias para manter o ambiente solo adequado para a sobrevivência e o desenvolvimento dos organismos do solo para que possam exercer suas respectivas funções, aportando serviços ambientais importantes (ADL; COLEMAN; READ, 2006; AYUKE et al., 2011; BERG; BENGTSSON, 2007; DECAËNS et al., 2004; DOMÍNGUEZ; BEDANO; BECKER, 2010; DOSSA et al., 2013; EGGLETON et al., 2005; FERNANDES et al., 1997; KAMAU et al., 2017; LIU et al., 2011; MARAUN; SCHEU, 2000; MATHIEU et al., 2005; ROSSI; BLANCHART, 2005; THÉBAULT; LOREAU, 2006; TSIAFOULI et al., 2015; VRIES et al., 2013).

A matéria orgânica é a fonte de energia nas teias alimentares edáficas e, portanto, de extrema importância para a macrofauna do solo. Resíduos (serrpilhaeira/palhada) mantidos na superfície são fundamentais para regular variações de temperatura e manutenção de umidade no solo, determinantes para a sobrevivência dos organismos do solo. (ABAIL; WHALEN, 2018; BOWLES et al., 2017; BRIONES; SCHMIDT, 2017; FOX et al., 2019; HENDRIX et al., 1986; MELMAN et al., 2019; MOORE et al., 2004; MULUMBA; LAL, 2008; SIX et al., 2004; WRIGHT; STARR; PALTINEANU, 1999).

A diversidade de grupos da macrofauna do solo é fundamental pois determina os grupos funcionais que exercem distintas atividades que afetam as propriedades físicas e químicas do solo, entre elas, a resistência à penetração, estrutura, infiltração e retenção de água, estoque de carbono, capacidade de troca de cátions e disponibilidade de nutrientes, que determinarão o crescimento e desenvolvimento vegetal. Da importância dos grupos funcionais, por exemplo, as minhocas anécicas, que constroem galerias verticais profundas e vão a superfície do solo para se alimentarem, impactam a infiltração e retenção de água no solo, enquanto as minhocas endogeicas, que constroem galerias horizontais e produzem uma grande quantidade de excremento, desempenham papel importante na formação e estabilização de macroporos no solo e alteram a estabilidade dos agregados. As minhocas são, portanto, consideradas engenheiros do ecossistema por afetarem significativamente a porosidade, a agregação, a infiltração de água, teor de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e controle da temperatura e umidade. (ANDRIUZZI et al., 2015; BOTTINELLI et al., 2015; BROWN et al., 2010; DELEON, 2017; FONTE et al., 2007; FONTE; SIX, 2010; GARCÍA-PÉREZ et al., 2014; HÖFER et al., 2001; IRMLER, 2000; MARCHÃO et al., 2009; PEÑA-PEÑA; IRMLER, 2016; POWERS et al., 2010; SIX et al., 2004).

Portanto, a distribuição vertical da macrofauna do solo é uma relação complexa entre espécie-solo-clima-manejo. Áreas com densa cobertura vegetal, regulam naturalmente a temperatura, a umidade e restringem agentes erosivos, dando condições para a macrofauna do solo estar presente em camadas mais superficiais. Enquanto solos expostos, oriundos de práticas de manejo do solo em preparo convencional na agricultura ou por outras atividades exercidas pelo homem, acabam por se tornarem instáveis e inadequados para a sobrevivência da macrofauna na superfície. Portanto, desta forma,

grupos que habitam camadas mais profundas do solo conseguem sobreviver nestas condições (BURTON; EGGLETON, 2016; GONGALSKY; PERSSON, 2013; MARIOTTE et al., 2016; POTAPOV et al., 2017; WANG et al., 2019).

Teia de associações lineares de macrofauna e relações táxon-microambiente

A diversidade e riqueza de minhocas colêmbolos, ácaros e nematoides se correlaciona positivamente ao número de grupos funcionais. Ou seja, ambientes edáficos diversificados e ricos refletem o papel da macrofauna do solo como intermediadora de múltiplos serviços ecossistêmicos, necessários para a sustentabilidade dos agroecossistemas (TSIAFOULI et al., 2015). Esta afirmação valida as diferenças encontradas entre os padrões da macrofauna do solo em solo exposto e em vegetação nativa de Cerrado no presente estudo. Onde a vegetação nativa, apresentando condições microclimáticas mais estáveis acabam por beneficiar a ocorrência de aranhas, baratas, centopeias, besouros, tesourinhas, lacraias, piolhos-de-cobra, cupins, minhocas, ninfas de cigarra, percevejos, formigas, gafanhotos e escorpiões, além de ovos, pupas e larvas de artrópodes não-identificados.

Gholami et al. (2016) destacam que, apesar não significativo, a abundância, a riqueza e os índices de diversidade e uniformidade, correlacionaram-se com propriedades físicas e químicas de solo, especialmente as frações de areia e silte, condutividade elétrica e teor de matéria orgânica (Tabelas 20 e 21. Ambientes com rica disponibilidade de material orgânico e minerais seriam, portanto, benéficos para a ocorrência de bioturbadores, reorganizadores e agentes de intemperismo de minerais de argila, como cupins e formigas, bioindicadores importantes para áreas degradadas em Cerrado sob recuperação por práticas de manejo de agricultura conservacionista.

Tabela 20. Matriz de correlação de Spearman de variáveis de macrofauna e propriedades físicas e químicas de solo de florestal de ripária (adaptado de Gholami et al., 2016).

	Silte	Argila	Condutividade elétrica	Matéria orgânica
Abundância	0,201	-0,195	0,009	0,071
Uniformidade	0,120	-0,214	-0,070	-0,019
Riqueza	0,200	-0,238	-0,082	0,188
Diversidade	0,199	-0,219	-0,101	0,150

Tabela 21. Análise de função de correlação de variáveis de macrofauna e propriedades físicas e químicas de solo de florestal de ripária (adaptado de Gholami et al., 2016).

	Condutividade elétrica	Argila	Silte
Distância 10 – 100 m			
Abundância	-	-	-
Uniformidade	-	+	-
Riqueza	-	-	+
Diversidade	-	-	+
Distância 50 – 500 m			
Abundância	-	-	-

Uniformidade	-	-	-
Riqueza	-	-	-
Diversidade	-	-	+

Franco et al. (2017) mostrou que a abundância total se correlacionou negativamente com a nota de avaliação visual de qualidade estrutural de solo (Tabela 22). Ou seja, a alta densidade de macrofauna do solo seria, um indicativo de ambiente estruturado por agregados biogênicos. Mesmo não significativa, a correlação negativa de minhocas e cupins, pode prever ecossistemas equilibrados e perturbadas, respectivamente, conforme o presente estudo no solo exposto e na vegetação nativa e nas áreas sob processo de recuperação.

Tabela 22. Correlação de Pearson das variáveis da macrofauna do solo e a nota de avaliação visual de estrutura de solo (adaptado de Franco et al., 2017).

	Riqueza	Crassiclitellata	Coleoptera	Formicidae	Isoptera	Nota
Abundância	- 0,93 *	0,53	0,71 *	0,57	0,53	-0,25
Riqueza		0,62	0,74 *	0,59	0,40	-0,20
Crassiclitellata			0,41	0,29	-0,13	0,15
Coleoptera				0,53	0,24	-0,10
Formicidae					0,30	-0,20
Isoptera						-0,36

As minhocas possuem correlação positiva com tores de P, K e relação C:P e negativa com teor de lignina na serapilheira. Enquanto as centopeias/lacraias possuem correlação positiva cm os indicadores de qualidade do tecido vegetal, C:N, C:P:lignina:N e polifenóis:N e negativa com os teores de N, P, Ca e Mg. Já os cupins se correlacionaram positivamente com o teor de Mg e negativamente com os teores de N e P. E os besouros, as milipeias/piolhos-de-cobra, as formigas e as aranhas não se correlacionaram com propriedades físicas e químicas do material orgânica da cobertura do solo. Sendo que as minhocas e piolho-de-cobra, como promotores de canais para infiltração da água e trocas gasosas no solo, correlacionaram-se ainda com a qualidade de raízes (KAMAU et al., 2017). Considerando estas correlações, a mineralização de leguminosas declinaria a abundância total de cupins em áreas de pastagem de capim-braquiária antecedidas por culturas de feijão-guandu, feijão-de-porco e mucuna preta. Ou seja, ao as diversificar e as uniformizar pode promover os grupos funcionais de macrofauna do solo que dependem da oferta e qualidade de material orgânica e mineral.

Wang et al. (2019) relatam que a biomassa total da macrofauna do solo e abundâncias de *Drawida* sp. e *Eisenia* sp. possuem correlação positiva com os teores de N-NH₄⁺ e carbono orgânico dissolvido. A riqueza de grupos e espécies da macrofauna do solo se correlacionou com o a umidade, influenciado por atividades de escavação e construção de ninhos. Considerando uma boa correlação C:N com os organismos do solo, a integração de culturas leguminosas e pastagem de capim-braquiária, com calagem e gessagem, pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas, à medida que ocorre a decomposição do material orgânico e este favorece as atividades da macrofauna do solo.

A macrofauna do solo associada positivamente com a presença de cobertura vegetal, os teores de argila e a estabilidade de agregados, em Pastagem Recuperada mostra ser benéfico o teor de permanganato de C oxidável, mas não associado à densidade aparente, a qual correlacionou-se negativamente, com o percentual de solo exposto (Tabela 23), foi relatado por Webster et al. (2019). Ambientes limitada ou pouco cobertura vegetal afetaram a ocorrência da macrofauna do solo.

Tabela 23. Correlação de Pearson da macrofauna do solo e propriedades físicas e químicas em Pastagem Recuperada e Pastagem Degradada (adaptado de WEBSTER et al., 2019).

	Permanganato de C oxidável	C	N	Diâmetro médio dos agregados	Densidade aparente	Água disponível	Macrofauna	Biomassa de gramíneas	% cobertura vegetal	% solo exposto
C	0,89*									
N	0,86*	0,98*								
Diâmetro médio dos agregados	0,64*	0,50*	0,47*							
Densidade aparente	-0,66*	-	-	-0,34						
Água disponível	0,86*	0,83*	0,85*	0,71*	-0,63*					
Macrofauna	0,46	0,27	0,25	0,58*	-0,02	0,37				
Biomassa de gramíneas	0,26	0,35	0,44	0,02	-0,07	0,32	0,31			
% cobertura vegetal	0,66*	0,51*	0,41	0,50*	-0,45	0,52*	0,39	0,12		
% solo exposto	-0,51*	-	-	-0,40	0,14	-0,36	-0,38	-0,02	-0,84*	
Argila	0,44	0,50*	0,47	0,33	-0,43	0,55*	0,42	0,38	0,44	-0,30

Castioni et al. (2018), ao realizar uma análise de componentes principais das propriedades químicas, físicas e biológicas em relação ao manejo da cobertura do solo em sistemas de produção de cana-de-açúcar, observou que nas áreas em que a palhada foi removida, houve elevados valores de densidade aparente, de resistência a penetração e dos valores da avaliação visual do solo, os quais tiveram correlação negativa com as minhocas, o diâmetro médio dos agregados, macroporosidade e umidade (Tabela 24). Assim como no estudo, sobre as populações de minhocas realizado por Abail e Whalen (2018), a abundância de minhocas teve correlação positiva com a disponibilidade de matéria orgânica na superfície do solo. A disponibilidade de fontes de alimento através da matéria orgânica, a estrutura, a temperatura, a umidade e as trocas gasosas são severamente impactadas pela falta de manutenção de cobertura do solo, responsável por manter este microclima para a sobrevivência dos organismos do solo (BORDONAL et al., 2018; CARVALHO et al., 2017).

Kuria et al. (2019) conversaram com pecuaristas na África para avaliar como estes produtores percebiam a macrofauna do solo e a fertilidade de suas áreas. Os pecuaristas associaram a presença ou a ausência de minhocas, cupins, piolhos-de-cobra, larvas de borboletas e/ou mariposas e percevejos em pastagens com alta produtividade natural, em pastagens com adição de matéria orgânica e pastagens degradadas (Tabela 25). Poucos foram capazes de distinguir, dentro de um mesmo grupo/táxon, se há diferenças na funcionalidade das espécies, como por exemplo, se há espécies de minhocas epigeicas e outras endogeias, onde cada uma desempenha um papel/função no perfil do solo.

Tabela 24. Análise de componentes principais de propriedades biológicas, químicas e físicas de solo de sistema de produção de cana-de-açúcar (adaptado de Castioni et al., 2018).

Índice/ propriedade	CP _I , Compactação	CP _{II} , Desestruturação
Autovalor	5,97	1,24
Percentual de variância	66,14	13,53
	Correlação	
Resistência mecânica à penetração	0,93	0,08
Densidade aparente	0,83	-0,34
Macroporosidade	-0,77	0,42
Microporosidade	-0,66	0,72
Diâmetro médio dos agregados	-0,81	-0,01
Nota de avaliação visual de estrutura de solo	0,90	0,31
Condutividade elétrica	-0,72	-0,45
Abundância de minhocas	-0,80	-0,33
Umidade	-0,88	-0,13

Tabela 25. Associação da macrofauna do solo à degradação de pastagens extensivas em África (adaptado de Kuria et al., 2019).

Taxonomia				Estado de solo	Estado de pastagem		
Ordem/ Grupo	Família/ Subfamília	Gênero/ Espécie	Grupo funcional		Degradado	Recuperado	Restaurado
Crassiclitellata	Acanthodrilidae	<i>Dichogaster itoliensis</i>	Epigeico	Fértil/ infértil	+	+	-
		<i>Dichogaster saliens</i>	Epigeico	Fértil	+	+	+
		<i>Dichogaster affinis</i>	Epigeico	Fértil	+	+	-
		<i>Dichogaster bolau</i>	Epigeico	Fértil	+	+	-
		<i>Dichogaster modiglianii</i>	Epigeico	Fértil	+	+	-
	Eudrilidae	<i>Stuhlamannia specnov</i>	Epigeico	Fértil	-	-	+
		<i>Hyperiodrilus africanus</i>	Epigeico	Fértil	-	+	-
	Ocnerodrilidae	<i>Nematogenia lacuum</i>	Endogeico	Fértil	+	-	-
Diplopoda/ Milípedes	Pachybolidae	<i>Epibolus pulchripes</i>	Humívoro	Fértil	+	-	-
		<i>Trigoniulus sp.</i>	Humívoro	Fértil	-	-	+
Isoptera/ Térmitas	Termitinae/ Macrotermitinae	<i>Odontotermes sp.</i>	Cultivadores de fungos, serapilheira, madeireiros e alimentadores de gramíneas	Fértil	-	-	+
Formicidae/ Formigas	Formicidae/ Dorylinae	<i>Anoma sp.</i>	Humívoro	Infértil	+	-	-

Formicidae/ Formigas	Formicidae/ Ponerinae	<i>Euponera sp.</i>	Humívoro	Infértil	-	-	+
Lepidoptera/ Mariposas	Noctuidae	<i>Agrotis segetun</i>	Humívoro	Fértil	-	-	+
Coleoptera/ Besouros	Scarabaeidae	<i>Phyllophaga sp.</i>	Humívoro	Fértil	-	+	+
Coleoptera/ Besouros	Scarabaeidae/ Aphodiinae	<i>Aphodius ividusol</i>	Humívoro	Fértil	-	-	+

A coloração, estrutura, textura, capacidade de retenção de água, erodibilidade, desempenho das culturas, teor de matéria orgânica e a abundância e diversidade de grupos da macrofauna do solo são indicadores ligados às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e utilizados por agricultores. Rápida resposta, seguros e confiáveis são características que agricultores atribuíram ao uso de bioindicadores para as funções ecológicas resultantes da ação humana e pedoclimáticas. Eles relatam, mostrando apurado conhecimento sobre as espécies de hábitos comportamentais de minhocas que, por exemplo, a mobilidade vertical de *Drawida itoliensis* pode acontecer devido a limitada disponibilidade de matéria orgânica na superfície e outras condições adversas (altas temperaturas e seca) na camada superficial de solos que se tornaram degradados e inférteis (BARBERO-SIERRA et al., 2016; ERICKSEN; ARDÓN, 2003; GRIME; HODGSON; HUNT, 2014; LUKE et al., 2014). Orientações técnicas possibilitariam que agricultores analisassem padrões da macrofauna e obtivessem dados gerais e específicos sobre os serviços os ecossistêmicos oferecidos por estes organismos ao solo, ao invés de explorá-los de maneira insustentável (VELASQUEZ; LAVELLE, 2019).

Conclusões

A análise da macrofauna do solo em áreas degradadas sob recuperação demonstrou que o manejo conservacionista influencia significativamente a composição, abundância e diversidade das comunidades biológicas. Os sistemas que incorporaram a sucessão de leguminosas, como feijão-guandu e feijão-de-porco, seguidos pelo capim-braquiária, apresentaram padrões mais favoráveis de macrofauna, promovendo maior biodiversidade e equilíbrio ecológico.

A predominância de cupins ao longo dos períodos de amostragem ressalta sua importância na ciclagem de nutrientes e na manutenção da estrutura do solo, especialmente nas camadas superficiais. Além disso, a presença de formigas e besouros indicou uma resposta positiva às práticas de recuperação ambiental, contrastando com as áreas de solo exposto, onde a biodiversidade foi reduzida e dominada por poucos grupos adaptáveis a condições adversas.

A influência sazonal foi evidente, com variações nos índices de diversidade e uniformidade entre os períodos de outono-inverno e primavera-verão, refletindo a resposta da macrofauna às mudanças climáticas e ao manejo do solo. O uso de leguminosas como cobertura vegetal e a aplicação de corretivos, como calcário e gesso, favoreceram a presença de organismos edáficos essenciais para a restauração da funcionalidade ecológica do solo.

Dessa forma, os resultados evidenciam que estratégias de manejo sustentáveis podem acelerar a recuperação de áreas degradadas, promovendo um ambiente mais estável e propício para a manutenção da biodiversidade do solo. Estudos

contínuos são essenciais para aprimorar práticas que conciliem a produtividade agrícola com a conservação da macrofauna e dos serviços ecossistêmicos associados.

Referências

- ABAIL, Z.; WHALEN, J. K. Corn residue inputs influence earthworm population dynamics in a no-till corn-soybean rotation. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 127, p. 120–128, 2018.
- ABE, S. S.; WAKATSUKI, T. Possible influence of termites (*Macrotermes bellicosus*) on forms and composition of free sesquioxides in tropical soils. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 53, n. 5, p. 301–306, 2010.
- ADL, S. M.; COLEMAN, D. C.; READ, F. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 114, n. 2, p. 323–334, 2006.
- ALVES, M.C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Tese (Livre docencia)** Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. 2001. 83 p.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171 p.
- ANDRIUZZI, W. S.; PULLEMAN, M. M.; SCHMIDT, O.; FABER, J. H.; BRUSSAARD, L. Anecic earthworms (*Lumbricus terrestris*) alleviate negative effects of extreme rainfall events on soil and plants in field mesocosms. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 397, n. 1, p. 103–113, 2015.
- AWADZI, T. W.; COBBLAH, M. A.; BREUNING-MADSEN, H. The Role of Termites in Soil Formation in the Tropical Semi-Deciduous Forest Zone, Ghana. **Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography**, [s. l.], v. 104, n. 2, p. 27–34, 2004.
- AYUKE, F. O.; PULLEMAN, M. M.; VANLAUWE, B.; DE GOEDE, R. G. M.; SIX, J.; CSUZDI, C.; BRUSSAARD, L. Agricultural management affects earthworm and termite diversity across humid to semi-arid tropical zones. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 140, n. 1, p. 148–154, 2011.
- BARBERO-SIERRA, C.; MARQUES, M. J.; RUÍZ-PÉREZ, M.; BIENES, R.; CRUZ-MACEÍN, J. L. Farmer knowledge, perception and management of soils in the Las Vegas agricultural district, Madrid, Spain. **Soil Use and Management**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 446–454, 2016.
- BARETTA, D.; BRESCOVIT, A. D.; KNYSACK, I.; CARDOSO, E. J. B. N. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (arachnida: araneae) in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 375–383, 2007.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, Progress and Priorities in Latin American Oligochaete Research. [s. l.], v. 69, Progress and Priorities in Latin American Oligochaete Research, p. 39–48, 2013.
- BERG, M. P.; BENGTSSON, J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. **Oikos**, [s. l.], v. 116, n. 11, p. 1789–1804, 2007.
- BONINI, C. S. B. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista. 2012. 191 p.**

BORDONAL, R. de O.; MENANDRO, L. M. S.; BARBOSA, L. C.; LAL, R.; MILORI, D. M. B. P.; KOLLN, O. T.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in south-central Brazil. **Geoderma**, [s. l.], v. 328, p. 79–90, 2018.

BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter. [s. l.], v. 146, Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter, p. 118–124, 2015.

BOWLES, T. M.; JACKSON, L. E.; LOEHER, M.; CAVAGNARO, T. R. Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 54, n. 6, p. 1785–1793, 2017.

BRIONES, M. J. I.; SCHMIDT, O. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 23, n. 10, p. 4396–4419, 2017.

BROWN, J.; SCHOLTZ, C. H.; JANEAU, J.-L.; GRELLIER, S.; PODWOJEWSKI, P. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) can improve soil hydrological properties. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 9–16, 2010.

BRUYN, L. De; CONACHER, A. J. The role of termites and ants in soil modification - a review. **Soil Research**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 55–93, 1990.

BURTON, V. J.; EGGLETON, P. Microhabitat heterogeneity enhances soil macrofauna and plant species diversity in an Ash – Field Maple woodland. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 75, p. 97–106, 2016.

CARVALHO, J. L. N.; HUDIBURG, T. W.; FRANCO, H. C. J.; DELUCIA, E. H. Contribution of above- and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 1333–1343, 2017.

CASTIONI, G. A.; CHERUBIN, M. R.; MENANDRO, L. M. S.; SANCHES, G. M.; BORDONAL, R. de O.; BARBOSA, L. C.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: A multi-approach assessment. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 184, p. 301–309, 2018.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research**, Visual soil evaluation and soil compaction research. [s. l.], v. 173, Visual soil evaluation and soil compaction research, p. 64–74, 2017.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRINKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL, J. E.; MIRKSY, S. B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 494–504, 2012.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; BARROS, E.; CHAUVEL, A.; BLANCHART, E.; FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Soil Processes under Pastures in Intertropical Areas. [s. l.], v. 103, n. 2, Soil Processes under Pastures in Intertropical Areas, p. 301–312, 2004.

DELEON, E. **Impacts of conservation tillage on water quality and soil health characteristics under furrow irrigation**. 2017. Thesis - Colorado State University. Libraries, [s. l.], 2017. Disponível em: <<https://mountainscholar.org/handle/10217/184048>>. Acesso em: 13 set. 2019.

DETSIS, V. Vertical distribution of Collembola in deciduous forests under mediterranean climatic conditions. [s. l.], p. 7, [s.d.].

DIEDHIOU-SALL, S.; DOSSA, E. L.; DIEDHIOU, I.; BADIANE, A. N.; ASSIGBETSE, K. B.; NDIAYE SAMBA, S. A.; KHOUMA, M.; SÈNE, M.; DICK, R. P. Microbiology and Macrofaunal Activity in Soil beneath Shrub Canopies during Residue Decomposition in Agroecosystems of the Sahel. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 77, n. 2, p. 501–511, 2013.

DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J. C.; BECKER, A. R. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 110, n. 1, p. 51–59, 2010.

DOSSA, E. L.; DIEDHIOU, I.; KHOUMA, M.; SENE, M.; BADIANE, A. N.; NDIAYE SAMBA, S. A.; ASSIGBETSE, K. B.; SALL, S.; LUFABA, A.; KIZITO, F.; DICK, R. P.; SAXENA, J. Crop Productivity and Nutrient Dynamics in a Shrub-Based Farming System of the Sahel. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 105, n. 4, p. 1237–1246, 2013.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in Agroecosystems: Rethinking the Management Paradigm. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] : Academic Press, 2007. v. 92p. 163–186.

EDWARDS, C. A.; BOHLEN, P. J. **Biology and Ecology of Earthworms**. [s.l.] : Springer Science & Business Media, 1996. Google-Books-ID: ad4rDwD_GhsC.

EGGLETON, P.; VANBERGEN, A. J.; JONES, D. T.; LAMBERT, M. C.; ROCKETT, C.; HAMMOND, P. M.; BECCALONI, J.; MARRIOTT, D.; ROSS, E.; GIUSTI, A. Assemblages of soil macrofauna across a Scottish land-use intensification gradient: influences of habitat quality, heterogeneity and area. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 42, n. 6, p. 1153–1164, 2005.

ERICKSEN, P. J.; ARDÓN, M. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras. **Geoderma**, Ethnopedology. [s. l.], v. 111, n. 3, Ethnopedology, p. 233–248, 2003.

ERPENBACH, A.; BERNHARDT-RÖMERMAN, M.; WITTIG, R.; THIOMBIANO, A.; HAHN, K. The influence of termite-induced heterogeneity on savanna vegetation along a climatic gradient in West Africa. **Journal of Tropical Ecology**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 11–23, 2013.

FERNANDES, E. C. M.; MOTAVALLI, P. P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 49–67, 1997.

FONTE, S. J.; BOTERO, C.; QUINTERO, D. C.; LAVELLE, P.; VAN KESSEL, C. Earthworms regulate plant productivity and the efficacy of soil fertility amendments in acid soils of the Colombian Llanos. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 129, p. 136–143, 2019.

FONTE, S. J.; KONG, A. Y. Y.; VAN KESSEL, C.; HENDRIX, P. F.; SIX, J. Influence of earthworm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen dynamics differs with agroecosystem management. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 39, n. 5, p. 1014–1022, 2007.

FONTE, S. J.; SIX, J. Earthworms and litter management contributions to ecosystem services in a tropical agroforestry system. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1061–1073, 2010.

- FOX, J. T.; ZOOK, A. N.; FREISS, J.; APPEL, B.; APPEL, J.; OZSUER, C.; SARAC, M. Thermal conversion of blended food production waste and municipal sewage sludge to recoverable products. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 220, p. 57–64, 2019.
- FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 563–564, p. 160–168, 2016.
- FRANCO, A. L. C.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P.; GUIMARÃES, R. M. L.; CERRI, C. C. Relating the visual soil structure status and the abundance of soil engineering invertebrates across land use change. **Soil and Tillage Research**, Visual soil evaluation and soil compaction research. [s. l.], v. 173, Visual soil evaluation and soil compaction research, p. 49–52, 2017.
- FRANCO, A. L. C.; CHERUBIN, M. R.; PAVINATO, P. S.; CERRI, C. E. P.; SIX, J.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 515–516, p. 30–38, 2015.
- GARCÍA, J. A.; FRAGOSO, C. Influence of different food substrates on growth and reproduction of two tropical earthworm species (*Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas corticis*): The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · 2002. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 47, n. 5, p. 754–763, 2003.
- GARCÍA-PÉREZ, J. S.; BEUCKELS, A.; VANDAMME, D.; DEPRAETERE, O.; FOUBERT, I.; PARRA, R.; MUYLEAERT, K. Influence of magnesium concentration, biomass concentration and pH on flocculation of *Chlorella vulgaris*. **Algal Research**, [s. l.], v. 3, p. 24–29, 2014.
- GERAEI, D. S.; HOJATI, S.; LANDI, A.; CANO, A. F. Total and labile forms of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran. **Geoderma Regional**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 29–37, 2016.
- GHOLAMI, S.; SAYAD, E.; GEBBERS, R.; SCHIRRMANN, M.; JOSCHKO, M.; TIMMER, J. Spatial analysis of riparian forest soil macrofauna and its relation to abiotic soil properties. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 27–36, 2016.
- GONGALSKY, K. B.; PERSSON, T. Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 57, p. 182–191, 2013.
- GOSLING, C. M.; CROMSIGT, J. P. G. M.; MPANZA, N.; OLFF, H. Effects of Erosion from Mounds of Different Termite Genera on Distinct Functional Grassland Types in an African Savannah. **Ecosystems**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 128–139, 2012.
- GRIME, J. P.; HODGSON, J. G.; HUNT, R. **Comparative Plant Ecology: A Functional Approach to Common British Species**. [s.l.] : Springer, 2014.
- HARIT, A.; MOGER, H.; DUPREY, J.-L.; GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A.; SUBRAMANIAN, S.; JOUQUET, P. Termites can have greater influence on soil properties through the construction of soil sheetings than the production of above-ground mounds. **Insectes Sociaux**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 247–253, 2017.
- HENDRIX, P. F.; PARMELEE, R. W.; CROSSLEY, D. A.; COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus Food Webs in Conventional and No-tillage Agroecosystems. **BioScience**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 374–380, 1986.
- HÖFER, H.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J.; BECK, L. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 229–235, 2001.

HURISSO, T. T.; CULMAN, S. W.; HORWATH, W. R.; WADE, J.; CASS, D.; BENISTON, J. W.; BOWLES, T. M.; GRANDY, A. S.; FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHIPANSKI, M. E.; LUCAS, S. T.; UGARTE, C. M. Comparison of Permanganate-Oxidizable Carbon and Mineralizable Carbon for Assessment of Organic Matter Stabilization and Mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 80, n. 5, p. 1352–1364, 2016.

IRMLER, U. Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 105–118, 2000.

JANA, U.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; LAVELLE, P.; LAFFRAY, D.; REPELLIN, A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana*. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 244–252, 2010.

JOUQUET, P.; CHAUDHARY, E.; KUMAR, A. R. V. Sustainable use of termite activity in agro-ecosystems with reference to earthworms. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 3, 2017.

JOUQUET, P.; CHINTAKUNTA, S.; BOTTINELLI, N.; SUBRAMANIAN, S.; CANER, L. The influence of fungus-growing termites on soil macro and micro-aggregates stability varies with soil type. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 101, p. 117–123, 2016.

JOUQUET, P.; GUILLEUX, N.; CHINTAKUNTA, S.; MENDEZ, M.; SUBRAMANIAN, S.; SHANBHAG, R. R. The influence of termites on soil sheeting properties varies depending on the materials on which they feed. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 69, p. 74–78, 2015.

JUNGERIUS, P. D.; VAN DEN ANCKER, J. A. M.; MÜCHER, H. J. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **CATENA**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 349–363, 1999.

KAISER, D.; LEPAGE, M.; KONATÉ, S.; LINSÉNMAIR, K. E. Ecosystem services of termites (Blattoidea: Termitoidae) in the traditional soil restoration and cropping system Zaï in northern Burkina Faso (West Africa). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 236, p. 198–211, 2017.

KAMAU, S.; BARRIOS, E.; KARANJA, N. K.; AYUKE, F. O.; LEHMANN, J. Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 112, p. 35–46, 2017.

KIZITO, F.; DRAGILA, M. I.; SENÈ, M.; BROOKS, J. R.; MEINZER, F. C.; DIEDHIOU, I.; DIOUF, M.; LUFABA, A.; DICK, R. P.; SELKER, J.; CUENCA, R. Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: Implications for Sahelian agro-ecosystems. **Journal of Arid Environments**, [s. l.], v. 83, p. 69–77, 2012.

KLEBER, M.; EUSTERHUES, K.; KEILUWEIT, M.; MIKUTTA, C.; MIKUTTA, R.; NICO, P. S. Chapter One - Mineral–Organic Associations: Formation, Properties, and Relevance in Soil Environments. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] : Academic Press, 2015. v. 130p. 1–140.

KORBOULEWSKY, N.; PEREZ, G.; CHAUVAT, M. How tree diversity affects soil fauna diversity: A review. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 94, p. 94–106, 2016.

LAMMEL, D. R.; AZEVEDO, L. C. B.; PAULA, A. M.; ARMAS, R. D.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N.; LAMMEL, D. R.; AZEVEDO, L. C. B.; PAULA, A. M.; ARMAS, R. D.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 894–905, 2015.

- LEJOLY, J.; CORNELIS, J.-T.; VAN RANST, E.; JANSEGGERS, E.; TARPIN, C.; DEGRÉ, A.; COLINET, G.; MALAISSE, F. Effects of termite sheetings on soil properties under two contrasting soil management practices. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 76, p. 150573, 2019.
- LIMA, P. D. M.; COLVERO, D. A.; GOMES, A. P.; WENZEL, H.; SCHALCH, V.; CIMPAN, C. Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, [s. l.], v. 78, p. 857–870, 2018.
- LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 150, n. 4, p. 510–518, 2010.
- LIU, R.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; DRAKE, S. Facilitative effects of shrubs in shifting sand on soil macro-faunal community in Horqin Sand Land of Inner Mongolia, Northern China. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 47, n. 5, p. 316–321, 2011.
- LOTT, J. E.; ONG, C. K.; BLACK, C. R. Understorey microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 149, n. 6, p. 1140–1151, 2009.
- LUKE, S. H.; FAYLE, T. M.; EGGLETON, P.; TURNER, E. C.; DAVIES, R. G. Functional structure of ant and termite assemblages in old growth forest, logged forest and oil palm plantation in Malaysian Borneo. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 23, n. 11, p. 2817–2832, 2014.
- MARAUN, M.; SCHEU, S. The structure of oribatid mite communities (Acari, Oribatida): patterns, mechanisms and implications for future research. **Ecography**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 374–382, 2000.
- MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 44, n. 8, p. 1011–1020, 2009.
- MARICHAL, R.; GRIMALDI, M.; FEIJOO M., A.; OSZWALD, J.; PRAXEDES, C.; RUIZ COBO, D. H.; DEL PILAR HURTADO, M.; DESJARDINS, T.; SILVA JUNIOR, M. L. Da; SILVA COSTA, L. G. Da; MIRANDA, I. S.; DELGADO OLIVEIRA, M. N.; BROWN, G. G.; TSÉLOUIKO, S.; MARTINS, M. B.; DECAËNS, T.; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. **Applied Soil Ecology**, XVI International Colloquium on Soil Zoology & XIII International Colloquium on Apterygota, Coimbra, 2012 – Selected papers. [s. l.], v. 83, XVI International Colloquium on Soil Zoology & XIII International Colloquium on Apterygota, Coimbra, 2012 – Selected papers, p. 177–185, 2014.
- MARIOTTE, P.; LE BAYON, R.-C.; EISENHAEUER, N.; GUENAT, C.; BUTTLER, A. Subordinate plant species moderate drought effects on earthworm communities in grasslands. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 96, p. 119–127, 2016.
- MATHIEU, J.; ROSSI, J.-P.; MORA, P.; LAVELLE, P.; MARTINS, P. F. da S.; ROULAND, C.; GRIMALDI, M. Recovery of Soil Macrofauna Communities after Forest Clearance in Eastern Amazonia, Brazil. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 1598–1605, 2005.

MBAU, S. K.; KARANJA, N.; AYUKE, F. Short-term influence of compost application on maize yield, soil macrofauna diversity and abundance in nutrient deficient soils of Kakamega County, Kenya. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 387, n. 1, p. 379–394, 2015.

MELMAN, D. A.; KELLY, C.; SCHNEEKLOTH, J.; CALDERÓN, F.; FONTE, S. J. Tillage and residue management drive rapid changes in soil macrofauna communities and soil properties in a semiarid cropping system of Eastern Colorado. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 143, p. 98–106, 2019.

MITCHELL, J. P.; SHRESTHA, A.; HORWATH, W. R.; SOUTHARD, R. J.; MADDEN, N.; VEENSTRA, J.; MUNK, D. S. Tillage and Cover Cropping Affect Crop Yields and Soil Carbon in the San Joaquin Valley, California. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 107, n. 2, p. 588–596, 2015.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 347–354, 2010.

MOORE, J. C.; BERLOW, E. L.; COLEMAN, D. C.; RUITER, P. C. De; DONG, Q.; HASTINGS, A.; JOHNSON, N. C.; MCCANN, K. S.; MELVILLE, K.; MORIN, P. J.; NADELHOFFER, K.; ROSEMOND, A. D.; POST, D. M.; SABO, J. L.; SCOW, K. M.; VANNI, M. J.; WALL, D. H. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 7, n. 7, p. 584–600, 2004.

MORA, P.; SEUGÉ, C.; CHOTTE, J. L.; ROULAND, C. Physico-chemical typology of the biogenic structures of termites and earthworms: a comparative analysis. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 245–249, 2003.

MOURA, E. G.; AGUIAR, A. das C. F.; PIEDADE, A. R.; ROUSSEAU, G. X. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 86, p. 91–99, 2015.

MUJINYA, B. B.; MEES, F.; BOECKX, P.; BODÉ, S.; BAERT, G.; ERENS, H.; DELEFORTRIE, S.; VERDOODT, A.; NGONGO, M.; VAN RANST, E. The origin of carbonates in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. **Geoderma**, [s. l.], v. 165, n. 1, p. 95–105, 2011.

MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 98, n. 1, p. 106–111, 2008.

MURPHY, R. P.; MONTES-MOLINA, J. A.; GOVAERTS, B.; SIX, J.; VAN KESSEL, C.; FONTE, S. J. Crop residue retention enhances soil properties and nitrogen cycling in smallholder maize systems of Chiapas, Mexico. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 103, p. 110–116, 2016.

OBRYCKI, J. F.; KARLEN, D. L. Is Corn Stover Harvest Predictable Using Farm Operation, Technology, and Management Variables? **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 749–757, 2018.

OLIVEIRA, L. B. T. De; SANTOS, A. C. Dos; NETO, S. P. da S.; SILVA, J. E. C. Da; PAIVA, J. A. De. ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM VIRTUDE DE CONSTRUÇÕES TERMÍICAS NO NORTE DE TOCANTINS. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 118–130, 2012.

PANTOJA, J. L.; WOLI, K. P.; SAWYER, J. E.; BARKER, D. W.; AL-KAISI, M. Stover Harvest and Tillage System Effects on Corn Response to Fertilizer Nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 79, n. 4, p. 1249–1260, 2015.

- PAULI, N.; BARRIOS, E.; CONACHER, A. J.; OBERTHÜR, T. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch Agroforestry System, western Honduras. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 119–132, 2011.
- PEÑA-PEÑA, K.; IRMLER, U. Moisture seasonality, soil fauna, litter quality and land use as drivers of decomposition in Cerrado soils in SE-Mato Grosso, Brazil. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 107, p. 124–133, 2016.
- PERREAULT, J. M.; WHALEN, J. K. Earthworm burrowing in laboratory microcosms as influenced by soil temperature and moisture. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 397–403, 2006.
- PONGE, J.-F.; PÉRÈS, G.; GUERNION, M.; RUIZ-CAMACHO, N.; CORTET, J.; PERNIN, C.; VILLENAVE, C.; CHAUSSOD, R.; MARTIN-LAURENT, F.; BISPO, A.; CLUZEAU, D. The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 67, p. 271–284, 2013.
- POTAPOV, A. M.; GONCHAROV, A. A.; SEMENINA, E. E.; KOROTKEVICH, A. Y.; TSURIKOV, S. M.; ROZANOVA, O. L.; ANICHKIN, A. E.; ZUEV, A. G.; SAMOYLOVA, E. S.; SEMENYUK, I. I.; YEVDOKIMOV, I. V.; TIUNOV, A. V. Arthropods in the subsoil: Abundance and vertical distribution as related to soil organic matter, microbial biomass and plant roots. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 82, p. 88–97, 2017.
- POWERS, J. S.; MONTGOMERY, R. A.; ADAIR, E. C.; BREARLEY, F. Q.; DEWALT, S. J.; CASTANHO, C. T.; CHAVE, J.; DEINERT, E.; GANZHORN, J. U.; GILBERT, M. E.; GONZÁLEZ-ITURBE, J. A.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GRAU, H. R.; HARMS, K. E.; HIREMATH, A.; IRIARTE-VIVAR, S.; MANZANE, E.; OLIVEIRA, A. A. D.; POORTER, L.; RAMANAMANJATO, J.-B.; SALK, C.; VARELA, A.; WEIBLEN, G. D.; LERDAU, M. T. Decomposition in tropical forests: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. **Journal of Ecology**, [s. l.], p. 801–811, 2010.
- PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 114, n. 8, p. 1571–1596, 2014.
- PUGA-FREITAS, R.; BAROT, S.; TACONNAT, L.; RENOU, J.-P.; BLOUIN, M. Signal Molecules Mediate the Impact of the Earthworm *Aporrectodea caliginosa* on Growth, Development and Defence of the Plant *Arabidopsis thaliana*. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. e49504, 2012.
- R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. 2018.
- RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (ed.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.
- RAMPELOTTO, P. H.; DE SIQUEIRA FERREIRA, A.; BARBOZA, A. D. M.; ROESCH, L. F. W. Changes in Diversity, Abundance, and Structure of Soil Bacterial Communities in Brazilian Savanna Under Different Land Use Systems. **Microbial Ecology**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 593–607, 2013.
- RANAIVOSON, L.; NAUDIN, K.; RIPOCHE, A.; AFFHOLDER, F.; RABEHARISOA, L.; CORBEELS, M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 26, 2017.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; DE SOUZA MARTINS, E.; MULLER, F.; DA SILVA, E. M.; DE CARVALHO, O. A.; BROSSARD, M.; RICHARD, G. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. **CATENA**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 122–134, 2009.

- RECHA, J. W.; LEHMANN, J.; WALTER, M. T.; PELL, A.; VERCHOT, L.; JOHNSON, M. Stream water nutrient and organic carbon exports from tropical headwater catchments at a soil degradation gradient. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 95, n. 2, p. 145–158, 2013.
- REDFORD, K. H. The Termitaria of *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae) and Their Role in Determining a Potential Keystone Species. **Biotropica**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 112–119, 1984.
- ROSSI, J.-P.; BLANCHART, E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 1093–1104, 2005.
- SANCHEZ, C.; FILHO, O. P.; SALVADO, J. R.; NAKANO, O. Estrutura e sistema de aeração do cupinzeiro de *Com/teimes cumnulus* (Kollar, 1832) (Isoptera: Termitid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 24, n. 8, p. 941–943, 1989.
- SANTOS, D. de C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANÇA, A. F. de S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of *Piatã* grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 233, p. 16–24, 2016.
- SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: Embrapa. 2018; 531p.
- SAWYER, J. E.; WOLI, K. P.; BARKER, D. W.; PANTOJA, J. L. Stover Removal Impact on Corn Plant Biomass, Nitrogen, and Use Efficiency. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 109, n. 3, p. 802–810, 2017.
- SCOPEL, E.; TRIOMPHE, B.; AFFHOLDER, F.; DA SILVA, F. A. M.; CORBEELS, M.; XAVIER, J. H. V.; LAHMAR, R.; RECOUS, S.; BERNOUX, M.; BLANCHART, E.; DE CARVALHO MENDES, I.; DE TOURDONNET, S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 113–130, 2013.
- SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S.; MAFONGOYA, P. L. Conservation agriculture and its impact on soil quality and maize yield: A South African perspective. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 162, p. 55–67, 2016.
- SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S.; MAFONGOYA, P. L.; THIBAUD, G. R. Long-term impact of no-till conservation agriculture on abundance and order diversity of soil macrofauna in continuous maize monocropping system. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, [s. l.], v. 68, n. 3, p. 220–229, 2018. a.
- SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S.; MAFONGOYA, P. L.; THIBAUD, G. R. Long-term impact of no-till conservation agriculture on abundance and order diversity of soil macrofauna in continuous maize monocropping system. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, [s. l.], v. 68, n. 3, p. 220–229, 2018. b.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Advances in Soil Structure Research. [s. l.], v. 79, n. 1, Advances in Soil Structure Research, p. 7–31, 2004.
- SOUZA, H. N. De; DE GOEDE, R. G. M.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M. G.; FERNANDES, R. B. A.; GOMES, L. C.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 146, n. 1, p. 179–196, 2012.
- SUÁREZ, L. R.; JOSA, Y. T. P.; SAMBONI, E. J. A.; CIFUENTES, K. D. L.; BAUTISTA, E. H. D.; SALAZAR, J. C. S.; SUÁREZ, L. R.; JOSA, Y. T. P.; SAMBONI, E. J. A.; CIFUENTES, K. D. L.; BAUTISTA, E. H. D.; SALAZAR, J. C. S. Soil

macrofauna under different land uses in the Colombian Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 53, n. 12, p. 1383–1391, 2018.

SUN, F.; PAN, K.; TARIQ, A.; ZHANG, L.; SUN, X.; LI, Z.; WANG, S.; XIONG, Q.; SONG, D.; OLATUNJI, O. A. The response of the soil microbial food web to extreme rainfall under different plant systems. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 6, p. 37662, 2016.

TAO, H.-H.; SNADDON, J. L.; SLADE, E. M.; HENNERON, L.; CALIMAN, J.-P.; WILLIS, K. J. Application of oil palm empty fruit bunch effects on soil biota and functions: A case study in Sumatra, Indonesia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 256, p. 105–113, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 2017; 574p.

THÉBAULT, E.; LOREAU, M. The relationship between biodiversity and ecosystem functioning in food webs. **Ecological Research**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 17–25, 2006.

THORBEK, P.; BILDE, T. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 526–538, 2004.

TSIAFOULI, M. A.; THÉBAULT, E.; SGARDELIS, S. P.; RUITER, P. C. De; PUTTEN, W. H. Van der; BIRKHOFER, K.; HEMERIK, L.; VRIES, F. T. De; BARDGETT, R. D.; BRADY, M. V.; BJORN LUND, L.; JØRGENSEN, H. B.; CHRISTENSEN, S.; HERTEFELDT, T. D.; HOTES, S.; HOL, W. H. G.; FROUZ, J.; LIIRI, M.; MORTIMER, S. R.; SETÄLÄ, H.; TZANOPOULOS, J.; UTESENY, K.; PIŽL, V.; STARY, J.; WOLTERS, V.; HEDLUND, K. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 973–985, 2015.

VAN CAPELLE, C.; SCHRADER, S.; BRUNOTTE, J. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 50, p. 165–181, 2012.

VAN GROENIGEN, J. W.; LUBBERS, I. M.; VOS, H. M. J.; BROWN, G. G.; DE DEYN, G. B.; VAN GROENIGEN, K. J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 4, p. 6365, 2014.

VASCONCELLOS, R. L. F.; SEGAT, J. C.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 58, p. 105–112, 2013.

VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 56, p. 43–50, 2012.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. **Acta Oecologica**, [s. l.], v. 100, p. 103446, 2019.

VILLAMIL, M. B.; LITTLE, J.; NAFZIGER, E. D. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 151, p. 61–66, 2015.

VRIES, F. T. De; THÉBAULT, E.; LIIRI, M.; BIRKHOFER, K.; TSIAFOULI, M. A.; BJØRN LUND, L.; JØRGENSEN, H. B.; BRADY, M. V.; CHRISTENSEN, S.; RUITER, P. C. De; D’HERTEFELDT, T.; FROUZ, J.; HEDLUND, K.; HEMERIK, L.; HOL, W. H. G.; HOTES, S.; MORTIMER, S. R.; SETÄLÄ, H.; SGARDELIS, S. P.; UTESENY, K.; PUTTEN, W. H. Van

der; WOLTERS, V.; BARDGETT, R. D. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 110, n. 35, p. 14296–14301, 2013.

WANG, S.; OLATUNJI, O. A.; GUO, C.; ZHANG, L.; SUN, X.; TARIQ, A.; WU, X.; PAN, K.; LI, Z.; SUN, F.; SONG, D. Response of the soil macrofauna abundance and community structure to drought stress under agroforestry system in southeastern Qinghai-Tibet Plateau. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–13, 2019.

WANG, S.; PAN, K.; TARIQ, A.; ZHANG, L.; SUN, X.; LI, Z.; SUN, F.; XIONG, Q.; SONG, D.; OLATUNJI, O. A. Combined effects of cropping types and simulated extreme precipitation on the community composition and diversity of soil macrofauna in the eastern Qinghai-Tibet Plateau. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 18, n. 11, p. 3215–3227, 2018.

WEBSTER, E.; GAUDIN, A. C. M.; PULLEMAN, M.; SILES, P.; FONTE, S. J. Improved Pastures Support Early Indicators of Soil Restoration in Low-input Agroecosystems of Nicaragua. **Environmental Management**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 201–212, 2019.

WRIGHT, S. F.; STARR, J. L.; PALTINEANU, I. C. Changes in Aggregate Stability and Concentration of Glomalin during Tillage Management Transition. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 63, n. 6, p. 1825–1829, 1999.

ZEHE, E.; BLUME, T.; BLÖSCHL, G. The principle of ‘maximum energy dissipation’: a novel thermodynamic perspective on rapid water flow in connected soil structures. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 365, n. 1545, p. 1377–1386, 2010.

ZHU, X.; ZHU, B. Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China. **Soil and Tillage Research**, Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter. [s. l.], v. 146, Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter, p. 39–46, 2015.