
ECOLOGIA

KALINKA HIROMI KAWAMICHI

**EFEITO DO GRADIENTE INTERIOR-BORDA-
MATRIZ, E DO TIPO DE MATRIZ SOBRE A
ENTOMOFAUNA EDÁFICA EM FRAGMENTOS
DE CERRADO**



Rio Claro
2015

KALINKA HIROMI KAWAMICHI

EFEITO DO GRADIENTE INTERIOR-BORDA-MATRIZ, E DO TIPO DE
MATRIZ SOBRE A ENTOMOFAUNA EDÁFICA EM FRAGMENTOS DE
CERRADO

Orientador: Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO

Co-orientador: Dr. MARCOS APARECIDO PIZANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio
Claro, para obtenção do grau de Ecóloga.

Rio Claro

2015

595.2 Kawamichi, Kalinka Hiromi
K14e Efeito do gradiente inteioror-borda-matriz, e do tipo de matriz sobre a
entomofauna edáfica em fragmentos de cerrado / Kalinka Hiromi
Kawamichi. - Rio Claro, 2015
15 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Milton Cezar Ribeiro
Coorientador: Marcos Aparecido Pizano

1. Artrópode. 2. Efeito de borda. 3. Artrópodes edáficos. 4.
Bioindicador. 5. Fragmentação. 6. Efeito de borda. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Dedico este trabalho aos meus pais Anisia e Ken, e a minha vó Renata que me educam, amam e apoiam incondicionalmente há 31 anos. Ao meu companheiro Marcel, que me ama, respeita e apoia há 4. E, claro, dedico a Ecologia. Com amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que cruzaram o meu caminho e das quais carreguei um pouquinho de si e pras quais deixei um pouquinho de mim.

Um especial agradecimento aos meus pais, que sempre estiveram e sempre estarão ao meu lado. E a minha avó Renata e tios e primos que fizeram parte da minha formação como pessoa.

Ao meu companheiro da aventura vida, Marcel, que juntos crescemos. E a sua família, que agora também é minha e que me apoiam e são um exemplo.

Aos meus amigos e ajudantes Urucum e Hugo moleiro, pela ajuda no TCC, amizade, exemplo e por ter ajudado na minha formação de ecóloga.

A Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) por acreditar no projeto e conceder uma bolsa que permitiu uma pesquisa de mais qualidade.

Ao mestre Miltinho, que tive a sorte de ter como orientador. Mais do que lições acadêmicas, cada momento ao seu lado é um ensinamento de como proceder como ser humano. Pelo exemplo e por acreditar, mesmo quando não faço por merecer.

A todos os professores que já desprenderam o seu tempo para me ensinar alguma coisa, em especial a Zezé, que no primeiro ano me fez ter a certeza de que eu estava no caminho certo e durante meu TCC me cedeu um espacinho em seu laboratório. Ao Pizano por lançar a ideia do projeto e apoiar nossas alterações. Ao Anibal Oliveira e Laura Simões por tentar me ajudar, mesmo de longe, mesmo sem me conhecer. E Edilberto Giannotti e seus orientados que me ajudaram na identificação.

Aos alunos da turma 2009 da Ecologia, por compartilhar ideias, conhecimentos e histórias; em especial a Emi, Camilinha, Xuxa e Dani. E aos veteranos e bixos, por sermos um bando de amigos idealistas não regulamentados.

Ao pessoal do laboratório do Departamento de Acarologia da ESALQ, em especial professor Gilberto Moraes e seus orientados, por me emprestar o funil de Berlese e me ensinar a identificar as ordens de ácaros.

Ao pessoal do LEEC, em especial Renata, Felipe Martello, Maurício, Júlia Assis e John, por sempre encontrar uma resposta em meio a tantas dúvidas.

A Carolina Carvalho, que leu tantas vezes esse trabalho e que conseguiu me nortear.

RESUMO

A fragmentação, além de ser acompanhada pela perda de habitat para diversas espécies, aumenta o efeito de borda. Dessa forma, sob influência da matriz adjacente, o fragmento passa a sofrer alterações microclimáticas, que acentuam as mudanças na composição de espécies e na estrutura das comunidades. Com o intuito de compreender melhor qual o efeito da borda e das principais matrizes sobre a riqueza e abundância dos artrópodes edáficos, este estudo avaliou: (a) a diferença entre habitat (fragmento) e não habitat (matriz); (b) se existe um gradiente contínuo interior-borda-matriz; e (c) a influência de diferentes matrizes sobre a riqueza e abundância das ordens de artrópodes. Foram selecionadas 15 paisagens, sendo cinco destas compostas por um fragmento de cerrado inserido em matriz de cultivo de cana-de-açúcar, cinco com um fragmento de cerrado em uma matriz de eucalipto e cinco com um fragmento em matriz de pastagem. Em cada paisagem a fauna edáfica foi coletada junto com o solo e posteriormente extraída com o auxílio do funil de Berlese-Tullgren. As ordens Coleoptera, Collembola, Mesostigmata e Oribatida foram escolhidas para análise, e após separação dos indivíduos foi empregada a análise de seleção de modelos por AIC. O modelo do tipo fragmento x matriz foi o mais plausível para explicar tanto a riqueza, como as abundâncias total e relativa das quatro ordens (wAICc variando de 0,6623 a 1,0). O modelo de distância da borda (efeito de borda) foi plausível para a abundância total e abundância relativa da ordem Mesostigmata (wAICc=0,2717 e 0,186, respectivamente). Variáveis ambientais locais (textura do solo, temperatura e umidade relativa) e tamanho do fragmento não se apresentaram como modelos plausíveis de explicar os padrões. Portanto os artrópodes edáficos, apesar de se protegerem sob o solo, são extremamente sensíveis a fragmentação, mesmo essa sendo com a substituição do habitat por matrizes agrícolas de cana-de-açúcar, pastagem e eucalipto. Devido aos importantes serviços ecossistêmicos prestados e por se apresentar um eficiente bioindicador, esse grupo deve ser mais estudado e incluído nas avaliações de impacto ambiental.

Palavras-chave: Fauna edáfica. Bioindicador. Fragmentação. Efeito de borda. Cana-de-açúcar. Eucalipto. Pastagem.

ABSTRACT

Fragmentation, besides being accompanied by habitat loss for many species, increases the edge effect. Thus, under the influence of the adjacent matrix, fragments undergo microclimatic alterations that accentuate changes in species composition and community structure. In order to better understand edge and matrix effects on the richness and abundance of edaphic arthropods, this study assessed: (a) the difference between habitat (fragment) and non-habitat (matrix); (b) whether there is a continuous interior-edge-matrix gradient; and (c) the difference between matrices for arthropod orders richness and abundance. We selected 15 landscapes, 5 of which contained a cerrado fragment surrounded by sugarcane cultivation, 5 with a cerrado fragment within eucalyptus and 5 with a cerrado fragment within pasture. In each landscape the soil fauna was collected along with the soil and then extracted with the aid of the modified Berlese-Tullgren funnel. We chose the orders Coleoptera, Collembola, Mesostigmata and Oribatida for analysis, and after separation of the individuals we used model selection analysis via AIC. The model type fragment x matrix was the most likely to explain richness, total and relative abundances of the four orders (wAICc between 0,6623 and 1,0). The model of edge distance (edge effect) was plausible to total abundance and relative abundance of Mesostigmata order (wAICc=0,2717 and 0,186). Local environmental variables (soil texture, temperature and relative humidity), and fragment size were also measured to avoid confounding factors and were not presented as plausible models to explain the patterns. So edaphic arthropods, despite protecting themselves under the ground, are extremely sensitive to fragmentation, even with the replacement of natural habitat by agricultural use, such as sugarcane, pasture and eucalyptus. This group should be studied and included in environmental impact assessments because provides important ecosystem services and is an efficient bio-indicator.

Keywords: Edaphic fauna. Bioindicator. Fragmentation. Edge effect. Sugarcane. Eucalyptus. Pasture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	Fragmentação, Efeito de Borda e Perda de Biodiversidade	7
1.2	Entomofauna edáfica	8
2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1	Seleção de fragmentos e paisagens.....	10
3.2	Coleta das amostras e triagem do material	11
3.3	Triagem e Identificação dos organismos.....	14
3.4	Análise dos dados	14
4	RESULTADOS	16
5	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	23
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

1.1 Fragmentação, Efeito de Borda e Perda de Biodiversidade

A fragmentação de habitat *per se* consiste na subdivisão de áreas contínuas de cobertura nativa em fragmentos de habitat, muitas vezes envoltos por outros usos de terra que promovem a perda de habitat (FAHRIG, 2003). Esse processo pode provocar a redução de habitat e recursos para diversas espécies, levando ao declínio populacional das espécies mais sensíveis a perturbação (ANDRÉN, 1994; FAHRIG, 2003). Além disso, a fragmentação pode provocar o aumento do isolamento dos fragmentos, podendo interferir na movimentação ou dispersão de organismos, causando redução de fluxo gênico entre populações (MANEL et al. 2003; DIXO et al., 2009; GRAVES et al., 2012).

O efeito de borda é uma das consequências do processo fragmentação e é composto por alterações microclimáticas que ocorrem nas áreas de contato do fragmento com a matriz (MURCIA, 1995). Por matriz, no contexto deste estudo, consideramos os diferentes tipos de ambientes antrópicos (pastagem, cana-de-açúcar, eucalipto etc). As alterações abióticas que ocorrem são a diminuição da umidade do ar e do solo, aumento de temperatura e alteração no regime de ventos (MURCIA, 1995). Com isso, espécies mais sensíveis a tais alterações podem ter suas populações reduzidas ou localmente extintas, como é o caso de alguns grupos de pequenos mamíferos (SANTOS-FILHO; SILVA; SANAIOTTI, 2008), plantas, aves (BANKS-LEITE; EWERS; METZGER, 2010), e besouros (EWERS; DIDHAM, 2008). Em contrapartida, algumas espécies podem se adaptar às novas condições ambientais, culminando na sobreposição da distribuição de espécies de interior e as de matriz, que suportam situações de borda também (DIDHAM; LAWTON, 1999). Portanto, em consequência a essas alterações podem ocorrer mudanças na composição de espécies e na estrutura das comunidades.

Este efeito geralmente ocorre em forma de gradiente, onde, dependendo da distância que o organismo está em relação a borda e de como as variáveis ambientais respondem a ela, o efeito pode ser intensificado ou reduzido (MURCIA, 1995). O efeito de borda é relacionado com o grupo taxonômico, espécie, fatores abióticos que os influenciam, ou com o processo ecológico de interesse (MURCIA, 1995; LAURANCE, 2000). Além disso, o efeito pode também ser dependente da estrutura local da paisagem, como o tipo de matriz em que o

fragmento está imerso (UEZU; BEYER; METZGER, 2008). Apesar de já haver diversos estudos sobre o efeito de borda, para Ewers e Didham (2006) são necessárias mais pesquisas a respeito desse efeito sobre a área da matriz para que seja possível quantificar melhor sua extensão.

1.2 Entomofauna edáfica

Alterações no solo como o preparo, aplicação de biocidas, redução de vegetação e consequente mudança no microclima, podem causar alterações da composição dos artrópodes de solos (MOORE; SNIDER; ROBERTSON, 1984; BADEJO; LASEBIKAN, 1988; BADEJO; AKINYEMIJU, 1989; BADEJO; OLAIFA, 1997). Por isso alguns grupos de artrópodes edáficos já vêm sendo usados como bioindicadores de distúrbios, bem como da qualidade do solo (PAOLETTI; BRESSAN, 1996; PAOLETTI, 1999; BARETTA et al. 2007).

Uma divisão importante da fauna de solo é a mesofauna edáfica, que corresponde a artrópodes que vivem sob o solo e possuem diâmetro corporal inferior a 2 mm (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979), incluindo os Acari, Collembola, Synphyla e insetos de várias ordens (AQUINO; CORREIA; BADEJO, 2006). Essa fauna habita os espaços porosos do solo e não é capaz de criar sua própria galeria, sendo extremamente sensível a distúrbios como a compactação do solo (HEISLER; KAISER, 1995).

Esse grupo auxilia em funções fundamentais para o ecossistema como decomposição e ciclagem de nutrientes, portanto é de grande importância estudos que investiguem os fatores bióticos e abióticos responsáveis pelo desequilíbrio das comunidades.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Os invertebrados, cujo estudo desprende baixo custo e impacto, é um grupo comumente usado nos estudos de fragmentação e efeito de borda (UEHARA-PRADO; FREITAS, 2009; ROQUE et al. 2010), no entanto, é raro encontrar os que abordam a fauna edáfica. Além disso, em pesquisas de efeito de borda, são poucos os que abordam os efeitos na área da matriz (EWERS; DIDHAM, 2006).

Pelo Cerrado ser um bioma extremamente fragmentados e com cobertura original bastante reduzida, onde são necessárias pesquisas de efeito de borda (MACHADO et al., 2004), e pelas razões acima, este estudo utilizou artrópodes edáficos para compreender melhor qual o efeito das principais matrizes do Cerrado paulista, qual é o efeito de borda sobre a riqueza e abundâncias.

Mais especificamente, os objetivos deste estudo foram:

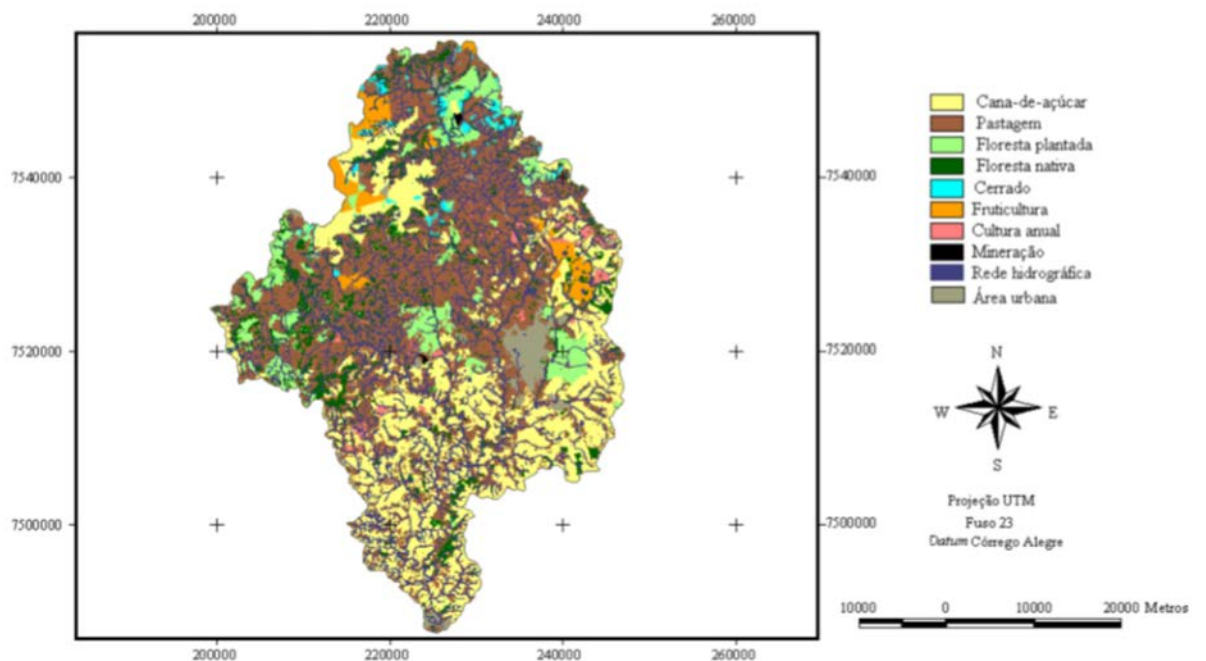
1. Verificar se existe diferença na riqueza e abundâncias dos artrópodes edáficos quando comparamos dados das matrizes com a dos remanescentes de cerrado;
2. Verificar se o tipo de matriz (pasto, cana-de-açúcar e eucalipto) influencia a riqueza e abundâncias dos artrópodes edáficos; e
3. Verificar se existe diferença gradual na riqueza e abundâncias dos artrópodes edáficos a medida que se avança do interior do fragmento para o interior da matriz, passando pela borda.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção de fragmentos e paisagens

A região de estudo está localizada na Bacia do Rio Corumbataí, cuja cobertura original tinha a predominância de floresta estacional semidecidual, com áreas menores de cerrado (KOFFLER, 1993). Localiza-se na porção centro-oeste do Estado de São Paulo entre os paralelos 22°04'46''S e 22°41'28''S e os meridianos 47°26'23''W e 47°56'15''W (Figura 1). O clima da região é subtropical com inverno seco e verão chuvoso, estação onde ocorre cerca de 80% da precipitação anual, com temperatura média nas estações de 17°C e 22°C respectivamente (SALATI, 1996).

Figura 1 - Classes e uso de cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí, São Paulo.

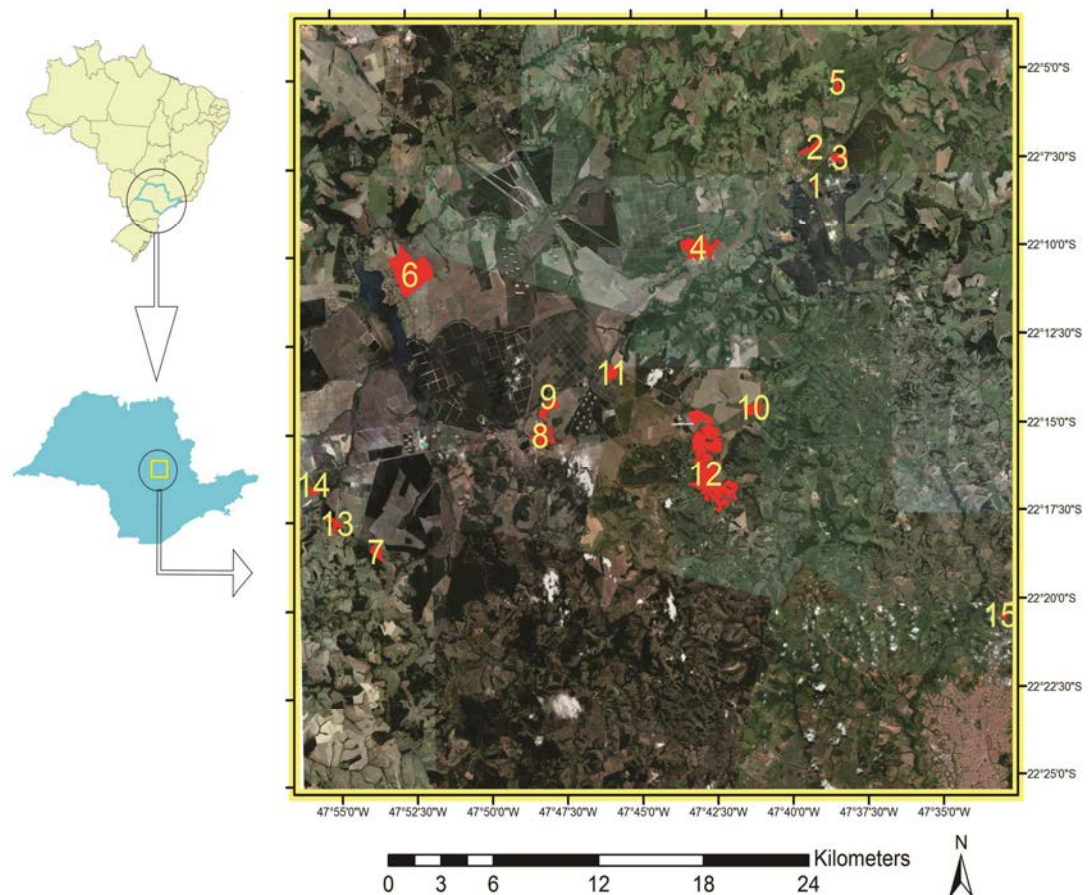


Fonte: Valente (2001).

Foram selecionadas 15 paisagens de cerrado na Bacia do Rio Corumbataí, as quais possuíam um fragmento adjacente a uma matriz de pasto (n=5), de cana-de-açúcar (n=5), e de silvicultura (n=5) (Figura 2). As matrizes foram escolhidas pela forte representatividade na

região, sendo respectivamente 47%, 26% e 7% do uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Corumbataí (VALENTE, 2001) – ver Figura 1. As áreas dos fragmentos variaram de 3 ha a 423 ha.

Figura 2 - Paisagens selecionadas (n=15) para estudo de efeitos de variáveis locais e da paisagem sobre a fauna edáfica. Bacia do Corumbataí, São Paulo. No painel a direita, os fragmentos amostrados estão apresentados em vermelho, e a numeração refere-se ao código da paisagem.



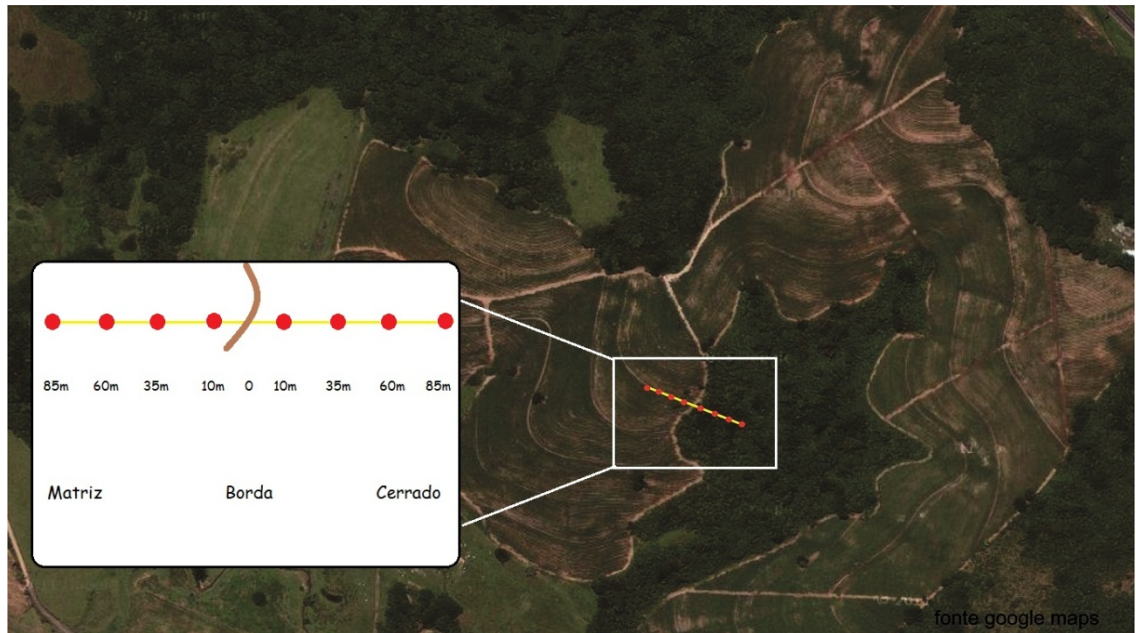
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

3.2 Coleta das amostras e triagem do material

As amostras foram coletadas em campo entre o período de 29/01/13 a 16/02/13, evitando-se dias de chuva que poderiam alterar a umidade do solo. Foram feitas quatro coletas de solo partindo-se da borda e indo em direção ao interior do fragmento (10 m, 35 m, 60 m e

85 m) e quatro indo em direção ao interior da matriz (10 m, 35 m, 60 m e 85 m), totalizando oito coletas em cada paisagem (Figura 3). Considerando-se as 15 paisagens, ao todo foram analisadas 120 amostras de solo.

Figura 3 - Representação do esquema de amostragem da fauna edáfica em cada paisagem.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

As coletas de solo foram feitas com um cilindro de metal de 9 cm de diâmetro e 5 cm de altura (0,318L), que foram embaladas com filme de PVC para evitar a perda de umidade e conteúdo até a triagem (Figura 4).

Figura 4 - Fases envolvidas no método de coleta de solo para estudos com a fauna edáfica: a) inserção do anel metálico no solo; b) retirada do material metálico do solo; c) retirada do excesso de solo da amostra; e d) amostra embalada com filme de PVC.

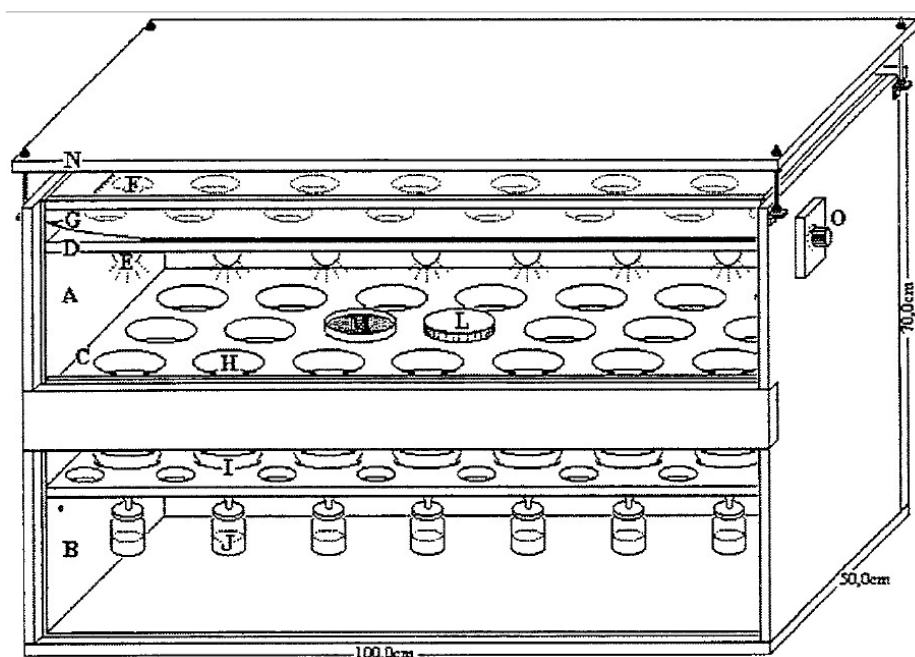


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Ainda em campo foram registrados temperatura e umidade relativa do ar com auxílio de um Data logger HOBO Pro v2. O solo das amostras foi utilizado posteriormente para definição de sua estrutura, conforme Caetano, Mattos e Jiménez-Rueda (2006). Esses dados auxiliaram na análise da influência abiótica.

No laboratório do Departamento de Acarologia da ESALQ foram acoplados ao equipamento do tipo Berlese-Tullgren modificado (Figura 5). Sobre cada amostra existia uma lâmpada de 15 W, cuja voltagem foi alterada, de 10 V para 20 V, 30 V, 40 V e 50 V (aproximadamente 35°C, 40°C, 45°C, 50°C e 55°C) do primeiro ao quinto dia, conforme usado por Oliveira et. al (2001).

Figura 5 - Modelos de extrator de artrópodos avaliados: 1) Método de construção de Funil de Berlese-Tullgren modificado proposto inicialmente; 2) Armário com bateria de Funis de Berlese-Tullgren modificado estabelecido no Departamento de Acarologia da ESALQ.



Fonte: Oliveira et al., 2001.

Na parte inferior de cada cilindro foi posicionado um funil plástico, que direcionava os artrópodes extraídos para um frasco com solução aquosa de álcool (70%). Os frascos foram lacrados ao final do quinto dia para posterior identificação.

3.3 Triagem e identificação dos organismos

Os artrópodes dos frascos foram visualizados sob uma lupa Leica S8 APO no aumento de 20 a 80 vezes para detalhes. Cada ordem de artrópode foi separada e os indivíduos acondicionados em eppendorf contendo álcool (70%). Os espécimes adultos de cada ordem foram contados separadamente, sendo os mesmos registrados para cada ponto, em cada paisagem. A identificação das ordens deu-se com auxílio dos orientados dos professores Dr. Gilberto José de Moraes (ESALQ), Dr. Edilberto Giannotti (UNESP) e bibliografias indicadas, sendo o livro Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia (RAFAEL et al., 2012) utilizado como referência principal.

3.4 Análise dos dados

Três grupos de variáveis dependentes das comunidades amostrais foram avaliados: riqueza de ordens, abundância total e abundância relativa. A abundância total foi a contabilização do número de espécimes registrados para cada ponto. A abundância relativa se refere a proporção de espécimes num dado ponto de coleta em relação a quantidade de espécimes de um determinado transecto. Os seguintes modelos foram considerados para explicar os padrões observados: a) habitat-matriz, b) gradiente interior-borda-matriz, c) tipo de matriz; e para eliminar outros padrões foram considerados também: d) tamanho do fragmento, e) temperatura, f) umidade relativa do ar, e g) textura do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos comparados por AIC. VD - variável dependente, FRAG_MATRIZ – classificação binária da área (fragmento ou matriz), DIST_BORD – distância da borda (gradiente interior-borda-matriz, variando de -85 a +85 m em relação a borda), MATRIZ – tipo de matriz, AREA – tamanho do fragmento, TEMPERATURA – Temperatura do ar, UMIDADE_REL – umidade relativa do ar, e TEXTURA – textura do solo, MATRIZ+DIST_BORDA – matriz com a distância da borda.

MODELOS
M0: VD ~ Média (Modelo Neutro)
M1: VD ~ FRAG_MATRIZ
M2: VD ~ DIST_BORD
M3: VD ~ MATRIZ
M4: VD ~ AREA
M5: VD ~ TEMPERATURA
M6: VD ~ UMIDADE_REL
M7: VD ~ TEXTURA
M8: VD ~ MATRIZ+DIST_BORDA

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A influência dos aspectos da paisagem e de variáveis ambientais locais sobre a fauna edáfica foi avaliada utilizando a abordagem de seleção de modelos por Akaike Information Criterion - AIC (BURNHAM, K. P.; ANDERSON, 2004). Os modelos com os pesos do AIC (wAIC) maior do que 0,1 foram considerados como modelos plausíveis para explicar os padrões. Durante as análises de seleção de modelos por AIC, foi também incluído um modelo neutro (i.e. ausência do efeito), para contrastar com os modelos selecionados, elevando a robustez dos padrões observados nos resultados obtidos. Foi utilizada a Linguagem R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), considerando modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição de resíduos consideradas como Normal.

4 RESULTADOS

Foram amostrados 21.770 espécimes de artrópodes, resultando em 19 ordens (Quadro 1). Ao analisar as abundâncias totais observou-se que as ordens mais frequentes foram Mesostigmata, Oribatida e Collembola, por este motivo foram escolhidas para agregar as variáveis resposta. Além dessas ordens, Coleoptera também foi escolhida para análise devido ao interesse de agregação posterior a outros estudos com o grupo.

Quadro 1 - Riqueza de Ordem de artrópodes em 15 paisagens da Bacia do Corumbataí, interior do Estado de São Paulo.

Classe	Ordem	n (espécimes)
Arachnida	Araneae	34
	Mesostigmata	10.910
	Oribatida	7.420
	Pseudoscorpiones	57
Insecta	Blattaria	1
	Collembola	1.689
	Coleoptera	236
	Diplura	45
	Hemiptera	235
	Hymenoptera	821
	Isoptera	46
	Protura	42
	Psocoptera (Liposcelididae)	6
	Thysanoptera	1
	Zygentoma	2
Miriapoda	Quilopoda/Symphyla	183
	Diplopoda	39
Malacostraca	Isopoda	1
Oligoqueta	Haplotaxida	2
	Total	21.770

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os resultados dos modelos para explicar riqueza de ordem, e a abundância total para cada uma das quatro ordens escolhidas estão apresentados na Tabela 2 e os resultados dos modelos para abundância relativa estão na Tabela 3.

Tabela 2 - Seleção de modelos para explicar a Riqueza de Ordem de artrópodes e Abundância Total de Mesostigmata, Oribatida, Collembola e Coleoptera em 15 paisagens da Bacia do Corumbataí, interior do Estado de São Paulo. Os números em negrito identificam os modelos igualmente plausíveis ($wAIC > 0,10$) para explicar as variáveis apresentadas em cada coluna.

	wAIC	wAIC da Abundância Total			
	Riqueza ordem	Mesostigmata	Oribatida	Collembola	Coleoptera
Nulo	<0,001	0,00281	<0,001	0,4325	<0,001
Fragmento ou Matriz	1,0	0,66231	0,9049	0,3253	0,96253
Distância da Borda	<0,001	0,27171	0,0788	0,0873	0,03260
Distância da Borda + Matriz	<0,001	0,05154	0,0162	0,0108	0,00482
Tipos de Matriz	<0,001	<0,001	<0,001	0,0111	<0,001
Tamanho do Fragmento	<0,001	0,00151	<0,001	0,0303	<0,001
Temperatura	<0,001	0,00253	<0,001	0,0390	<0,001
Umidade relativa	<0,001	0,00443	<0,001	0,0327	<0,001
Tipo de solo	<0,001	0,00234	<0,001	0,0310	<0,001

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 - Seleção de modelos para explicar a Abundância Relativa das ordens Mesostigmata, Oribatida, Collembola e Coleoptera em 15 paisagens da Bacia do Corumbataí, interior do Estado de São Paulo. Os números em negrito identificam os modelos igualmente plausíveis ($wAIC > 0,10$) para explicar as variáveis apresentadas em cada coluna.

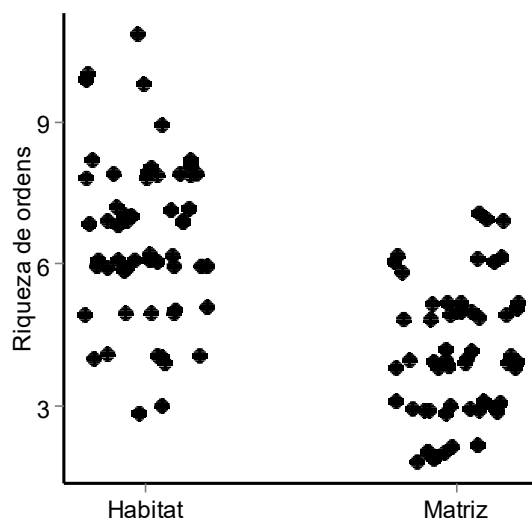
	wAIC da Abundância Relativa			
	Mesostigmata	Oribatida	Collembola	Coleoptera
Nulo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fragmento ou Matriz	0,7828	0,99660	0,97063	0,999
Distância da Borda	0,1860	0,00299	0,02591	<0,001
Distância da Borda + Matriz	0,0311	<0,001	0,00334	<0,001
Tipos de Matriz	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tamanho do Fragmento	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Temperatura	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Umidade relativa	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tipo de solo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Variáveis ambientais locais (textura do solo, temperatura e umidade relativa) e tamanho do fragmento não se apresentaram como modelos plausíveis de explicar os padrões. Também não foi observada diferença significativa entre a composição da ordem dos artrópodes para as diferentes matrizes (ANOVA, $F=XX.00$, $p=$, $N=120$).

A riqueza foi explicada quase que exclusivamente pelo modelo fragmento-matriz (wAIC $\sim 1,0$), sendo que nenhum dos demais modelos, sejam distância em relação a borda, tipo de matriz, área do fragmento ou variáveis ambientais locais (temperatura, umidade ou textura do solo) foram plausíveis de explicar os padrões (Tabela 2) – ver Figura 6.

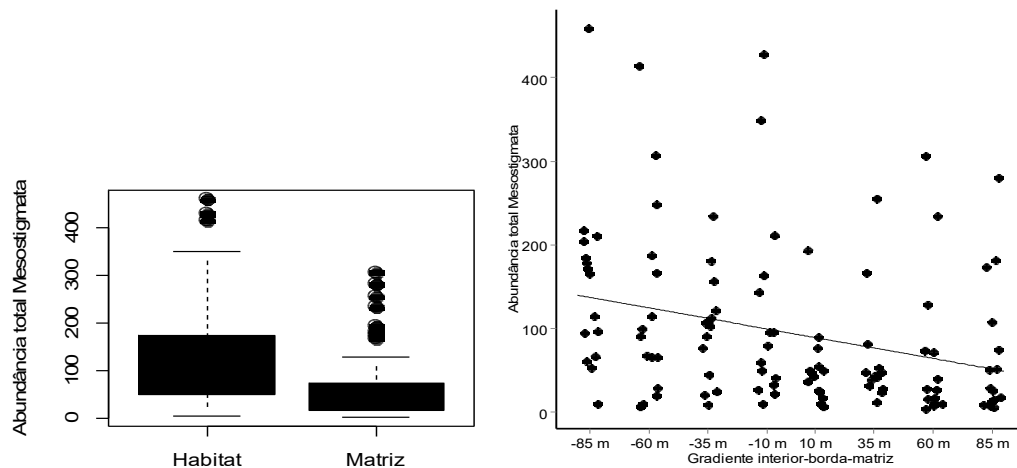
Figura 6 - Dispersão da riqueza de ordens de artrópodes edáficos para 15 paisagens analisadas. Habitat indica os pontos observados (n=60) no interior (de 10 a 85 m da borda) em fragmentos de cerrado, enquanto matriz (n=60) são pontos amostrados na matriz (de 10 a 85 m a partir da borda).



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

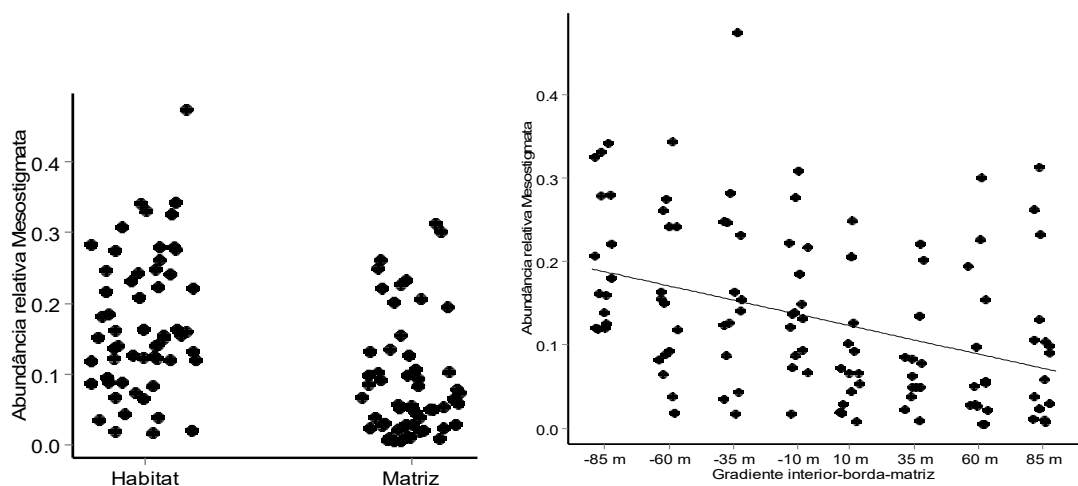
A Ordem Mesostigmata teve a sua abundância total e abundância relativa explicadas pelo modelo Fragmento-Matriz, e foi a única ordem que também teve as mesmas explicadas pela distância em relação a borda (Tabelas 2 e 3) - ver Figuras 7 e 8.

Figura 7: Dispersão da abundância total da ordem Mesostigmata para os modelos fragmento-matriz (painel a esquerda) e distância em relação a borda (painel a direita). Para o painel da direita, valores negativos do eixo x correspondem a pontos nos fragmentos, e valores positivos a pontos nas matrizes.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

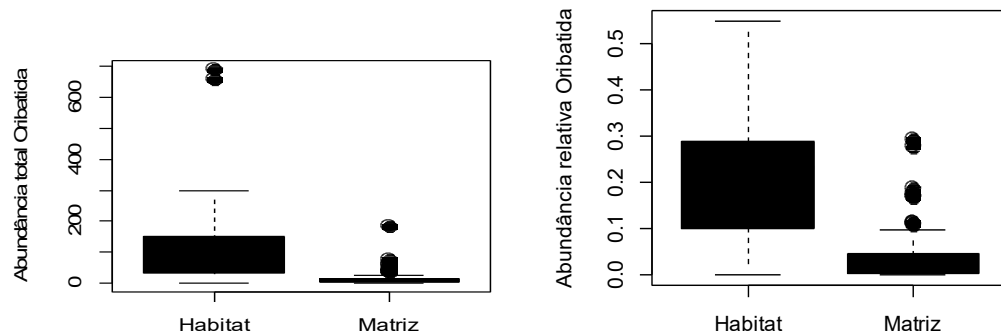
Figura 8 - Dispersão da abundância relativa da ordem Mesostigmata para os modelos fragmento-matriz (painel a esquerda) e distância em relação a borda (painel a direita). Para o painel da direita, valores negativos do eixo x correspondem a pontos nos fragmentos, e valores positivos a pontos nas matrizes.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Ordem Oribatida teve a sua abundância total e abundância relativa explicada somente pelo modelo fragmento-matriz (Tabelas 2 e 3) – ver Figura 9.

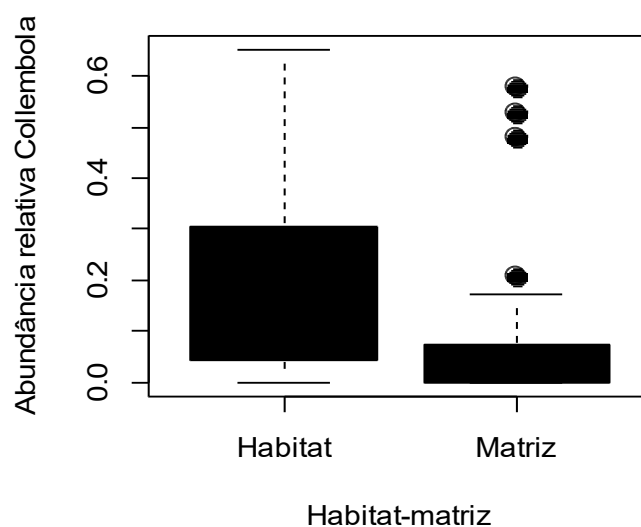
Figura 9 - Dispersão da abundância total (painel a esquerda) e abundância relativa (painel a direita) da ordem Oribatida para o modelo fragmento-matriz. Habitat indica os pontos coletados (n=60) nos fragmentos, enquanto matriz (n=60) indica os pontos coletados (n=60) nas matrizes.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A abundância total da ordem Collembola não foi explicada por nenhum dos modelos concorrentes, uma vez que o modelo nulo também estava entre os plausíveis de explicar os padrões (Tabela 2). Contudo, a ordem Collembola teve sua abundância relativa explicada pelo modelo fragmento-matriz (Tabela 3) – ver Figura 10.

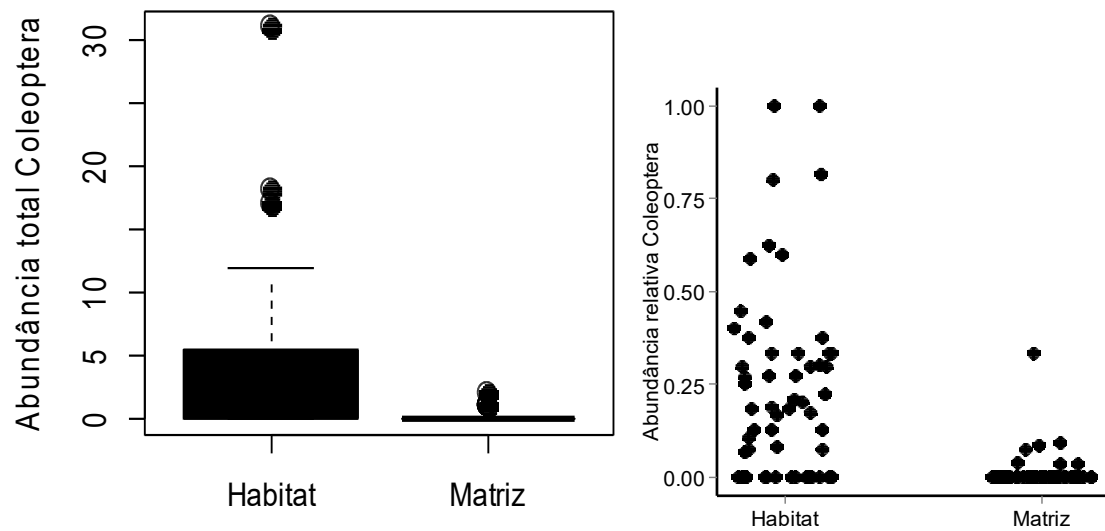
Figura 10 - Dispersão da abundância relativa da ordem Collembola para o modelo fragmento-matriz. Habitat indica os pontos coletados (n=60) nos fragmentos, enquanto matriz (n=60) indica os pontos coletados (n=60) nas matrizes.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Ordem Coleoptera teve a sua abundância total e abundância relativa explicadas somente pelo modelo fragmento-matriz (Tabelas 2 e 3) – ver Figura 11.

Figura 11 - Dispersão da abundância total (painel a esquerda) e abundância relativa (painel a direita) da ordem Coleoptera para o modelo fragmento-matriz. Habitat indica os pontos coletados (n=60) nos fragmentos, enquanto matriz (n=60) indica os pontos coletados (n=60) nas matrizes.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A fragmentação afeta a riqueza e abundâncias de artrópodes edáficos, e isto independe do tipo das matrizes circundante. Esta conclusão é baseada nos resultados desse estudo, onde o modelo fragmento-matriz foi plausível para praticamente todas as variáveis (com exceção de abundância total de Collembola). E o tipo de matriz (cultivo de cana-de-açúcar, eucalipto e pastagem) não foi importante para explicar os artrópodes, pois nem o modelo “tipo de matriz”, e nem “distância da borda + matriz” foram plausíveis para nenhuma variável.

O solo é muito beneficiado por florestas, pois sua cobertura vegetal e serapilheira reduzem a radiação solar, compactação e erosão (SILVA et al., 1997). Gassen (2000) indicou a exposição do solo à radiação solar, e consequente elevação da temperatura do mesmo, como fator letal aos organismos edáficos. Por esse fator, esperava-se que tanto o modelo “fragmento-matriz”, quanto o modelo “tipo de matriz” apresentassem diferença na composição dos organismos, visto que a cobertura vegetal e exposição do solo à radiação dada pela floresta, pastagem, canavial e silvicultura diferem-se bastante. O fato de o primeiro modelo explicar praticamente todas as variáveis corroborou com a premissa. Porém, para o segundo modelo nenhuma combinação das variáveis foi significativa, o que levanta a possibilidade de que a combinação de outros atributos do solo, como a fertilidade (feita sob controle antrópico nas matrizes, e naturalmente pela abundância de matéria orgânica nos fragmentos florestais), se apresentem semelhantes aos três tipos de matriz, e diferente das matrizes para com a floresta.

Os artrópodes edáficos em geral, apesar de responderem claramente à fragmentação, não são bons indicadores de efeito de borda. A riqueza de ordens não conseguiu ser explicada pelo modelo “distância da borda”, nem pelo “distância da borda + matriz”, assim como a abundância total e relativa de nenhuma ordem, com exceção da Mesostigmata, teve o modelo plausível. A ordem Mesostigmata é um dos poucos artrópodes edáficos que pode ser usado como bioindicador do gradiente de borda, pois teve o modelo “distância da borda” plausível tanto para abundância total, quanto abundância relativa.

O efeito de borda ocorre geralmente em forma de gradiente (Murcia, 1995), e pode variar dependendo do tipo de matriz em que os habitats estão imersos (Uezu et al. 2008). Portanto, esperava-se que o modelo “distância da borda” conseguisse apresentar um gradiente

de riqueza e abundâncias das ordens, de forma crescente no sentido interior da matriz para o interior do fragmento, e que o modelo “distância da borda + matriz” conseguisse, além desse gradiente, relacionar as variáveis com as três diferentes matrizes. O fato do segundo modelo não ter alcançado nenhuma combinação significativa, e o primeiro apresentar somente para a ordem Mesostigmata não corroborou totalmente com as premissas. No entanto, pode ser explicado pelo estudo de Laurance (2000), que dizia que o efeito de borda depende também do grupo taxonômico e espécie. Uma diferença importante entre a Mesostigmata e as demais ordens é a faixa de ocupação do solo, pois enquanto as outras ordens distribuem suas espécies em faixas mais superficiais, Mesostigmata tem sua população, em maior parte, ocupando a faixa de 4 a 6 centímetros de profundidade do solo (KRANTZ, 1978). Enquanto as demais ordens se mostraram sensíveis a qualquer ponto fora do fragmento, essa proteção maior do solo pode proporcionar a Mesostigmata condições de suportar melhor as adversidades dependendo da localização do ponto dentro da matriz.

A coleta de um alto número de espécimes (21.770) e encontro de respostas significativas em diversos modelos corroborou com estudos anteriores que apresentavam os artrópodes edáficos como bioindicadores ecológicos (Baretta et al. 2007). Além dessa qualidade os Acari e Collembola são grupos chave para a fertilização do solo, através da estimulação da atividade microbiana, inibição de fungos e bactérias causadoras de doenças (BUTCHER & SNIDER, 1971; THOMPSON & EDWARDS, 1974; PRIMAESI, 1990) e transporte de matéria orgânica para diferentes níveis do solo (HOLE, 1981; SAUTTER & SANTOS, 1994). Além disso, junto com Oribatida contribuem para a estruturação do solo, através do aumento da porosidade do solo (BERG & PAWLUK, 1984), aceleração da mineralização dos nutrientes (SEASTED & CROSSLEY, 1980; SWIFT et al., 1979) e decomposição dos resíduos vegetais (BEHAN et al., 1978). Apesar de serem as ordem mais numerosas, essas ordens foram afetadas pela fragmentação, uma vez que áreas de matriz apresentaram abundâncias baixas. Dessa forma, junto com a baixa de indivíduos devido a fragmentação, pode-se perceber o comprometimento de diversos serviços ecossistêmicos essenciais a qualidade do solo e ciclo de energia.

Esse estudo veio a acrescentar nos estudos de fragmentação, efeito de borda e matriz, pois destacou um bioindicador pouco usado e com grande potencial, que são os artrópodes edáficos. Devido a importância desse grupo nos serviços ecossistêmicos e com o

comprometimento da riqueza e abundâncias apresentados nas matrizes mais comuns, é imprescindível que se inclua esse grupo nos planos de conservação e estudos de impacto ambiental causados pela agricultura.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉN, H. **Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in land- scapes with different proportions of suitable habitat – a review.** *Oikos*, v. 71, p. 355–366, 1994.
- AQUINO, M. A.; CORREIA, M. E. F.; BADEJO, M. A. **Amostragem da Mesofauna Edáfica utilizando Funis de Berlese-Tüllgren Modificado.** Circular Técnica Embrapa, cap. 17, 2006.
- BADEJO, M. A.; AKINYEMIJU, O. A. **Influence of atrazine on soil microarthropod fauna and the performance of maize (*Zea mays* L.) in a humid tropical environment.** *Journal of Agriculture*, v.11, p. 41-50, 1989.
- BADEJO, M. A.; LASEBIKAN, B. A. Comparative studies on the acarine populations of a secondary regrowth forest and a cassava plantation in Ile-Ife, Nigeria. *Pedobiologia*, Jena, v.32, p.111-116, 1988
- BADEJO, M. A.; OLAIFA, J. I. **Effect of precultivation and weed control practices on epigeic Collembola of cowpea in Nigeria.** *Insect Science and Its Application*, v. 17 (2), p. 192-198, 1997.
- BANKS-LEITE, C.; EWERS, T. M.; METZGER, J. **Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest.** *Oikos*, v. 119, p. 918–926, 2010.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES S. W.; CARDOSO, E. J. B. N. **Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*.** *Scientia Agricola*, 64:384-392, 2007.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection.** *Sociological Methods & Research*, v. 33 (2), p. 261-304, 2004.
- CAETANO, N. R.; MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. **Caracterização das coberturas de alteração intempérica da Baixa Mojiana.** *Geociências*, v. 25 (3), p. 317-329, 2006.
- DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. **Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments.** *Biotropica*, v. 31, p. 17–30, 1999.
- DIXO, M.; METZGER, J. P.; MORGANTE, J.; ZAMUDIO, K. **Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest.** *Biological Conservation*, v. 142 (8), p. 1560-1569, 2009.

EWERS R. M.; DIDHAM R. K. **Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation**. Biol Rev, v. 81, p. 117-142, 2006.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. **Pervasive impact of large-scale edge effects on a beetle community**. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, v. 105, p. 5426–5429, 2008.

FAHRIG, L. **Effects of habitat fragmentation on biodiversity**. Annual Reviews of Ecology and Systematics, v. 34, p. 487-515, 2003.

GASSEN, D.N. **Os benefícios de corós em lavouras sob plantio direto**. EMBRAPA Trigo, Comunicado Online, v. 47, p. 3, 2000.

GRAVES, T. A.; WASSERMAN, T. N.; RIBEIRO, M. C.; LANDGUTH, E. L.; SPEAR, S. F.; BALKENHOL, N.; HIGGINS, C. B.; FORTIN, M. J.; CUSHMAN, S. A.; WAITS, L. P. **The influence of landscape characteristics and home-range size on the quantification of landscape-genetics relationships**. Landscape Ecology, v. 99, p. 1-10, 2012.

HEISLER, C.; KAISER, E. A. **Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil**. Biology and Fertility of Soils, v. 19, p. 159-165, 1995.

KOFFLER, N. F. **Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990**. Geografia, v. 18 (1), p. 135-150, 1993.

LAURANCE, W. F. **Do edge effects occur over large spatial scales?**. Trends in Ecology and Evolution, v. 15 (4), 2000.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservação Internacional, Relatório técnico não publicado, 2004.

MANEL, S.; SCHWARTZ, M. K.; LUIKART, G.; TABERLET, P. **Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics**. Trends in Ecology & Evolution, v. 18 (4), p. 189-197, 2003.

MOORE, J. C.; SNIDER, R. J.; ROBERTSON, L. S. **Effects of different management practices on Collembola and Acarina in corn production systems**. Pedobiologia, v.26, p.143-152, 1984.

MURCIA, C. **Edge effects in fragmented forests: implications for conservation**. Trends in Ecology and Evolution, v. 10, p. 58-62, 1995.

OLIVEIRA, A. R.; MORAES, G. J.; DEMÉTRIO, C. G. B.; NARDO, E. A. B. **Efeito do vírus de poliedrose nuclear de *Anticarsia gemmatilis* sobre Oribatida edáficos (Arachnida: Acari) em campo de soja**. EMBRAPA MEIO AMBIENTE, Boletim de Pesquisa, n. 13, p. 31, 2001.

PAOLETTI, M. G. **Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 74, p. 1-18, 1999.

PAOLETTI, M. G.; BRESSAN, M. **Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance**. Critical Review in Plant Sciences, v. 15, p. 21-62, 1996.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing, 2013**, R Foundation for Statistical Computing, Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Holos, 2012.

ROQUE, F. O.; SIQUEIRA, T.; BINI, L. M.; RIBEIRO, M. C.; TAMBOSI, L. R.; CIOCHETI, G.; TRIVINHO-STRIXINO, S. **Untangling associations between chironomid taxa in Neotropical streams using local and landscape filters**. Freshwater Biology, v. 55, p. 847-865, 2010.

SALATI, E. **Análise ambiental sintética e qualidade da água do rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do rio Corumbataí**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

SANTOS-FILHO, M.; SILVA, D. J.; SANAIOTTI, T. M. **Edge effects and matrix use by small mammals community in fragments of semideciduous submontane forest in Mato Grosso – Brazil**. Braz. J. Biol, v. 68 (4), p. 703-710, 2008.

SILVA, M. L; VALVERDE, S. R; PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. **Viabilidade do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijoeiro um estudo de caso**. Revista Árvore, v. 21 (4), p. 527-535, 1997.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Studies in Ecology, v. 5, p. 372, 1979.

UEHARA-PRADO, M.; FREITAS, A. V. L. **The effect of rainforest fragmentation on species diversity and mimicry ring composition of ithomiine butterflies**. Insect Conservation and Diversity, v. 2, p. 23-28, 2009.

UEZU, A.; BEYER, D. D.; METZGER, J. P. **Can agroforest woodlots work as stepping stones for birds in the Atlantic Forest region?**. Biodiversity and Conservation, v. 17, p. 1907–1922, 2008.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.