



JACQUELINE ALMEIDA DA SILVA

**Efeito da paisagem sobre a diversidade de vertebrados terrestres em  
fragmentos florestais na Amazônia Oriental**

Belém, 2018

JACQUELINE ALMEIDA DA SILVA

**Efeito da paisagem sobre a diversidade de vertebrados terrestres em fragmentos florestais na Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e Conservação

Linha de Pesquisa: Zoologia Aplicada

**Orientador: Prof. Dr. Gleomar Fabiano Maschio**

Belém, 2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

Almeida da Silva, Jacqueline.

Efeito da paisagem sobre a diversidade de vertebrados terrestres em fragmentos florestais na Amazônia Oriental / Jacqueline Almeida da Silva, . — 2019.

56 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Gleomar Fabiano Maschio

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Amazônia. 2. Fragmentação. 3. Ecologia de paisagem. 4. vertebrados. I. Título.

CDD 301.3

---

# FOLHA DE APROVAÇÃO

JACQUELINE ALMEIDA DA SILVA

## **Efeito da paisagem sobre a diversidade de vertebrados terrestres em fragmentos florestais na Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. GLEOMAR FABIANO MASCHIO  
Universidade Federal do Pará

Profa. Dra. ANA CRISTINA MENDES-OLIVEIRA  
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. FELIPE MARTELLO RIBEIRO  
Universidade Federal de São Carlos

Profa. Dra. MARIA CRISTINA DOS SANTOS-COSTA  
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO  
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. RAPHAEL LIGEIRO BARROSO SANTOS  
Universidade Federal do Pará

Aprovada em: 17 de janeiro de 2019

Local da defesa: Universidade Federal do Pará

Dedico a minha querida mãe

O caminho muda e muda o caminhante  
É um caminho incerto, não um caminho errado  
Eu, caminhante quero o trajeto terminado  
Mas, no caminho mais importa o durante.  
(Estevão Queiroga)

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por sempre estar comigo, cada passo dado em minha vida tem a ver com ele. A ele toda honra, glória e louvor!

Aos meus queridos pais (Madalena e Raimundo) e minha irmã Jessica, vocês são extraordinários. Obrigada por sempre me incentivarem a seguir em frente e sempre acreditar que tudo ia ficar bem. Mãe, obrigada pelas muitas risadas dadas em momentos em que eu só queria chorar. Pelas tantas vezes que foi me buscar na parada de ônibus tarde da noite durante esses dois anos de muito trabalho. Minha irmã Jessica pela paciência nos meus momentos de estresse, pela cumplicidade e palavras de ânimo..e ahh não posso esquecer das delícias de comida que sempre me alegram, como sempre falo “tu és um espetáculo de irmã”.

Aos meus avós Raimunda (*in memoriam*) e Travassos que sempre me impulsionaram ao caminho do estudo e nunca mediram esforços para me ajudar, à minha avó Ana Maria que mesmo longe, sempre torce por mim. A todos da minha família: tios, tias, primos, primas, etc. vocês são minha força.

Ao meu orientador Professor Dr. Gleomar Maschio por todo apoio na realização deste trabalho e pelo voto de confiança! 😊

A Profa. Dra. Ana Cristina Mendes por ter cedido os dados de mamíferos usados neste trabalho, por todo ensino concedido durante minha caminhada da vida acadêmica, obrigada Cris.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia (PPGZOOL), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e auxílio pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD) e Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP). Sem esses recursos seria impossível concluir este trabalho.

Aos amigos da turma de mestrado Mayra, Klyssia, Laís, Paula, Rodrigo, Santiago, Diogo e Ricardo por todo companheirismo. Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Zoologia de Vertebrados, pelas dúvidas tiradas, pelas prévias de apresentações, pela boa convivência e pela grande amizade ♥!

Não poderia deixar de destacar minha amiga Mayra, a rainha dos excelentes..uma piauiense arretada que se tornou uma irmã nesse período, obrigada pela cumplicidade.

A amiga Leticia Silva, companheira desde a graduação e que me ajudou muito no processo de construção do meu projeto de mestrado, um presente que encontrei na UFPA.

As amigas Renatinha, Susanne e Regeane por toda torcida e mensagens de apoio, vocês são muito especiais, obrigada por fazerem eu me apaixonar ainda mais pelo mundo da ecologia durante nossa convivência no laboratório e nos “campos” da vida.

A amiga Geovana com a ajuda nas ideias deste trabalho, mesmo não entendendo no início o que eu estava fazendo, rsrsrsrs. Agradeço também a disponibilidade da Paulinha em me ajudar.

A Profa. Dra. Maria Cristina Costa (Kita) e ao Prof. Dr. Raphael Ligeiro pelas contribuições feitas durante a qualificação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Milton Cezar Ribeiro (Miltinho), por ter me recebido tão bem durante o período que estive na UNESP (Universidade Estadual Paulista) de Rio Claro, foi de primordial importância para a realização deste trabalho. Pela paciência, longas e prazerosas conversas, reuniões e discussões produtivas.

A Dra. Juliana por todo suporte dado a este trabalho, por me ensinar a mapear as áreas de estudo e pela grande ajuda com as ferramentas para calcular as métricas de paisagem, muito obrigada Ju.

Aos colegas da UNESP de Rio Claro, em especial a Júlia Assis e Bruno, obrigada por me receberem tão bem na casa de vocês, e por todo cuidado que tiveram comigo. Agradeço também a Milene (não me deixou passar frio em Sampa), Vanessa, Camila, Naty, Paula, Laura, Mineiro e André, por me deixarem tão à vontade no LEEC (Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação), pelas contribuições no meu trabalho, boas conversas e risadas, vocês são ótimos!

Ao Professor Dr. Leandro pela ajuda nas análises estatísticas deste trabalho.

Aos amigos da AD (Assembleia de Deus) pelas orações e carinho, especialmente aos da congregação Nova Galileia.

Enfim recebam toda minha gratidão, sem vocês tudo seria ainda mais difícil!

Foram dois anos de muito, mas muito APRENDIZADO.



## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>RESUMO</b> .....	12
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>MATERIAL E METODOS</b> .....	17
<b>RESULTADOS</b> .....	24
<b>DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR</b> .....	49
<b>Anexo 1. Normas da revista <i>Landscape Ecology</i></b> .....	51

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Ocorrência das espécies de vertebrados terrestres nos doze fragmentos estudados no nordeste da Amazônia.....	<b>25</b>
<b>Tabela 2</b> Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelo avaliando a relação entre riqueza de espécies de anfíbios anura e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia.....	<b>32</b>
<b>Tabela 3</b> Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelo avaliando a relação entre riqueza de espécies de lagartos e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia.....	<b>32</b>
<b>Tabela 4</b> Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelo avaliando a relação entre riqueza de espécies de serpentes e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia.....	<b>33</b>
<b>Tabela 5</b> Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelo avaliando a relação entre riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia.....	<b>33</b>

## **Effect of landscape on the diversity of terrestrial vertebrates in forest fragments in the Eastern Amazon**

### ***ABSTRACT***

*Context:* The advance of anthropic activities on the Amazonian frontier has provoked an intense process of forest fragmentation that reduces biodiversity and subjects the species to a situation of high vulnerability.

*Objectives:* To test the relation of fragment size, isolation and characterization of the forest fragments matrix, on the wealth of amphibians of the order Anura, reptiles of the order Squamata and mammals of small, medium and large size.

*Methods:* The study was carried out in 12 fragments in the northeast of the Amazon. The size of the fragment was calculated in hectares, the isolation in ENN\_MN (mean of the euclidean distance of the nearest neighbors) and the matrix was organized into categories. These landscape metrics were considered as explanatory variables and calculated on three spatial scales: 1, 2 and 3 km. The relationship of the metrics with the richness of terrestrial vertebrates was evaluated through multiple regressions with model selection.

*Results:* 130 species of terrestrial vertebrates were recorded. There was no significant effect of fragment size on spatial scales for any group of species. The isolation was significant only in the 3 km scale for the group of amphibian and snake species. The category of open areas in the matrix was significant in the three spatial scales for the group of species of lizards and mammals of medium and large size.

*Conclusions:* The landscape configuration is extremely important in the context of fragmentation, there were different responses from taxonomic groups, possibly due to differences in habitat use.

***Keywords:*** Amazon, Fragmentation, Landscape ecology, Vertebrates

## **Efeito da paisagem sobre a diversidade de vertebrados terrestres em fragmentos florestais na Amazônia Oriental**

### **RESUMO**

**Contexto:** O avanço das atividades antrópicas sobre a fronteira amazônica tem provocado um intenso processo de fragmentação florestal que reduz a biodiversidade e submete as espécies a uma situação de alta vulnerabilidade.

**Objetivos:** Testar em múltiplas escalas espaciais a relação do tamanho do fragmento, isolamento e caracterização da matriz de fragmentos florestais, sobre a riqueza de anfíbios da ordem Anura, répteis da ordem Squamata e mamíferos de pequeno, médio e grande porte.

**Métodos:** O estudo foi realizado em 12 fragmentos no nordeste da Amazônia. O tamanho do fragmento foi calculado em hectares, o isolamento em ENN\_MN (média da distância euclidiana dos vizinhos mais próximos) e a matriz foi organizada em categorias. Essas métricas de paisagem foram consideradas como variáveis explicativas e calculadas em três escalas espaciais: 1, 2 e 3 km. Avaliamos a relação das métricas com a riqueza de vertebrados terrestres através de regressões múltiplas com seleção de modelos.

**Resultados:** Registramos 130 espécies de vertebrados terrestres. Não houve efeito significativo do tamanho do fragmento nas escalas espaciais para nenhum grupo de espécies. O isolamento se mostrou significativo apenas na escala de 3 Km para o grupo de espécies de anfíbios e serpentes. A categoria de áreas abertas na matriz foi significativa nas três escalas espaciais para o grupo de espécies de lagartos e de mamíferos de médio e grande porte.

**Conclusões:** A configuração da paisagem é extremamente importante no contexto de fragmentação, houve respostas diferentes dos grupos taxonômicos, possivelmente devido às diferenças quanto ao uso do habitat.

**Palavras-chave:** Amazônia, Fragmentação, Ecologia de paisagem, vertebrados

# Capítulo Único

Esta dissertação contém um capítulo e está apresentada na forma de artigo científico, elaborada e formatada conforme as normas da revista científica *Landscape Ecology*, classificada como Qualis A1 pela CAPES. As Normas da revista se encontram em anexo (Anexo 1).

EFEITO DA PAISAGEM SOBRE A DIVERSIDADE DE VERTEBRADOS TERRESTRES EM  
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Jacqueline Almeida da Silva<sup>1</sup>, Milton Cezar Ribeiro<sup>2</sup>, Juliana Silveira dos Santos<sup>2</sup>, Leticia Braga da Silva<sup>1</sup>, Geovana Linhares de Oliveira<sup>1</sup>, Ana Cristina Mendes-Oliveira<sup>1</sup>, Gleomar Fabiano Maschio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Ecologia e Zoologia de Vertebrados, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correia, 1, Belém, PA 66075-110, Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Universidade Estadual Paulista, Avenida 24-A, 1515, Rio Claro, SP 13506-900, Brasil

Autor correspondente:

e-mail: [bio.ufpajacque@yahoo.com.br](mailto:bio.ufpajacque@yahoo.com.br)

Telefone: (91) 982428547

## INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica tem sofrido com a degradação e a perda de habitat, ocasionadas principalmente pelas atividades de pecuária, agricultura e extração madeireira (Nepstad et al. 2009; Gibbs et al. 2010). O nordeste da Amazônia é uma das regiões de colonização mais antiga deste Bioma, onde se concentra um intenso uso da terra financiado por investimentos públicos e privados ao longo dos últimos 60 anos para desenvolver atividades econômicas que demandam o desmatamento (Andersen e Reis 1997; Laurance 1999; Fearnside 2005). Estima-se que, atualmente, como consequência do avanço da fronteira econômica, aproximadamente 20% da Amazônia brasileira já tenha sido desmatada (PRODES 2017).

Uma das grandes consequências da retirada de cobertura vegetal é a fragmentação de habitats. Este fenômeno vem transformando a paisagem da Amazônia oriental de grandes áreas de florestas contínuas em remanescentes florestais de diferentes tamanhos e em sua maioria isolados por matrizes estruturalmente distintas do ambiente florestal (Laurance e Vasconcelos 2009; Laurance et al. 2011, Laurance et al. 2018).

No processo de fragmentação, os remanescentes florestais sofrem mudanças físicas e biológicas que afetam a estrutura e o funcionamento do ecossistema (Murcia 1995). A redução da área florestal disponível é um dos fatores físicos (Fahrig 2003). O tamanho do fragmento de vegetação nativa geralmente tem fortes efeitos sobre o número de espécies que ocupam uma área (MacArthur e Wilson 1967). Porém, as comunidades que habitam os fragmentos não são fechadas, de forma que existe um fluxo de indivíduos entre comunidades localizadas em diferentes fragmentos (Ricketts 2001; Fahrig 2003; Laurance 2008; Prevedello e Vieira 2010; Fahrig 2013). Fatores físicos e estruturais como a qualidade da matriz e o isolamento dos remanescentes florestais são importantes para a permanência e/ou fluxo das comunidades (Manning et al. 2009; Bailey et al. 2010). O isolamento seguido de matrizes mais inóspitas, e com pouca similaridade estrutural e microclimática com o remanescente florestal, influencia negativamente na riqueza das espécies (Ricketts 2001; Watling et al. 2011; Borges-Matos C. et al. 2016).

A perda da biodiversidade tem sido apontada como a mais grave consequência da fragmentação em Florestas Tropicais (Pimm et al. 2014). A mudança drástica da paisagem submete as espécies a novas condições ambientais e na maioria das vezes as coloca as populações em posição de alta vulnerabilidade (Dawson et al. 2011; Foden et al. 2013). As respostas dos seres vivos a estas mudanças podem ser bastante variáveis, dependendo das novas condições ambientais oferecidas, mas também das características e demandas ecológicas de cada táxon (Nally et al. 2000).

As alterações físicas provocadas pela fragmentação influenciam nas mudanças biológicas, como aumento ou diminuição na abundância de espécies e alterações na distribuição das espécies (Stoufer e Bierregaard 1995; Chiarello 1997). Além disso, provocam mudanças em processos ecológicos básicos como predação, competição, parasitismo, herbivoria, polinização e dispersão de sementes (Small e Hunter 1988; Patton 1994).

Os vertebrados terrestres que incluem as ordens Anura, Squamata e Mammalia possuem alta diversidade morfológica, comportamental e de hábitos, que refletem ampla diferenciação de papéis ecológicos no ambiente (Ramos e Carvalho Jr. 2001; Jellinek et al. 2004). Estes grupos vêm apresentando múltiplas respostas aos impactos antropogênicos que causa a fragmentação na Floresta Amazônica (Cushman 2005; Michalski e Peres 2007; Santos-Filho et al. 2012; Borges-Matos C. et al. 2016; Avila-Pires 2018).

Anura e Squamata, por exemplo, possuem baixa capacidade de deslocamento e alta especificidade de habitats, o que os torna sensíveis à permeabilidade e persistência em ambientes alterados (Haddad e Prado 2005; Rossa-Feres et al. 2008). Os anfíbios anuros têm características fortemente ligadas a umidade do ambiente e presença de corpos d'água (Becker et al. 2007; Rossa-Feres et al. 2008). As espécies florestais que fazem ninhos de espuma na serapilheira, são os primeiros a serem afetados pela fragmentação e são os primeiros a desaparecer do ambiente modificado. Já as espécies que possuem modo reprodutivo na água e que são mais generalistas no uso de habitat e no uso de presas, aumentam em abundância (Bitar et al. 2012). Nos Squamata, além da presença de riachos e corpos d'água, a estrutura da vegetação (abertura de dossel e densidade de sub-bosque), o tamanho e isolamento do fragmento tem se mostrado importantes nas respostas deste grupo à fragmentação florestal (Vallan 2000; Pianka e Vitt 2003; Jellinek et al. 2004; Silvano e Segalla 2005).

O grupo dos mamíferos, por apresentar alta diversidade morfológica e fisiológica, provavelmente é um dos grupos de vertebrados que respondem mais diferentemente aos impactos antropogênicos. Algumas espécies de pequenos mamíferos terrestres, que incluem as ordens Rodentia e Didelphimorphia, podem responder positivamente em termos de riqueza e abundância de espécies à processos de degradação que geram maior quantidade de árvores caídas e aumento de volume de serapilheira (Santos-Filho et al. 2008). Essas espécies possuem papéis de dispersores fundamentais de sementes e fungos micorrízios (Cáceres 2002; Janos et al. 1995), polinizadores de plantas (Vieira et al. 1991), predadores de artrópodes (Carvalho et al. 2005), além de base alimentar para aves, répteis e mamíferos maiores (Wright et al. 1994). Logo sua importância em processos ecológicos pode afetar a dinâmica sucessional da floresta (facilitar a regeneração) e influenciar fortemente, em longo prazo, a composição florística (Sánchez-Cordero e Martinez-Gallardo 1998).



Já os mamíferos de médio e grande porte podem apresentar maior demanda ecológica. Grupos como os felinos e grandes herbívoros normalmente são afetados negativamente pela redução de cobertura florestal, pois necessitam de grandes áreas de vida e deslocamento (Chiarello 2000; Michalski e Peres, 2007; Ahumada et al. 2011; Beca et al. 2017; Regolin et al. 2017). Outro grupo afetado pela perda de florestas são os primatas, devido ao seu hábito estritamente arborícola e florestal (Harcourt e Doherty 2005; Michalski e Peres 2005). A perda dessas espécies tem como consequência a degradação de processos ecossistêmicos (Link e Di Fiore 2006; Terborgh 2001; Marsh 2003), a exemplo de predadores chaves, que na falta de habitat deixam de exercer sua função, afetando não só o tamanho da população de presas, mas também a diversidade de espécies na comunidade (Ripple et al. 2014). Isso pode ocasionar o efeito em cascada, onde a exclusão de carnívoros (exemplo *Panthera onca* e *Puma concolor*) causa surtos populacionais de herbívoros (ungulados) e predadores menores e oportunistas (por exemplo *Procyon cancrivorus* e *Cerdocyon thous*), com perda significativa do controle e diversidade de plantas e animais (Suraci et al. 2016).

Entender como a estrutura da paisagem influencia na ocorrência e distribuição das espécies tem sido um desafio para a biologia da conservação (Carvalho et al. 2009). A compreensão dos impactos também depende da escala espacial, que deve variar de acordo com as demandas de diferentes grupos taxonômicos estudados é essencial (Jackson e Fahrig 2015). A escala influencia a força e a direção (positiva ou negativa) do efeito de variáveis ambientais sobre a resposta biológica (Holland 2004; McGarigal e Cushman 2002; Smith et al. 2011). Sendo assim, grupos de baixa mobilidade como anfíbios, lagartos e mamíferos de pequeno porte podem responder a características da paisagem em escalas menores, a passo que grupos taxonômicos de alta mobilidade respondem a escalas maiores (Jackson e Fahrig 2012, Ricci et al. 2013; Thornton e Fletcher 2014; Jackson e Fahrig 2015).

Neste trabalho, nosso objetivo foi verificar como as variáveis de paisagem influenciam a riqueza de vertebrados terrestres em áreas de alta pressão antropogênica. Para isso testamos em múltiplas escalas espaciais, a relação do tamanho do fragmento, isolamento e caracterização da cobertura e uso do solo no entorno do fragmento, ou matriz, sobre a riqueza de anfíbios da ordem Anura, répteis da ordem Squamata e mamíferos de pequeno, médio e grande porte, em fragmentos florestais no nordeste da Amazônia brasileira.

## **MATERIAL E METODOS**

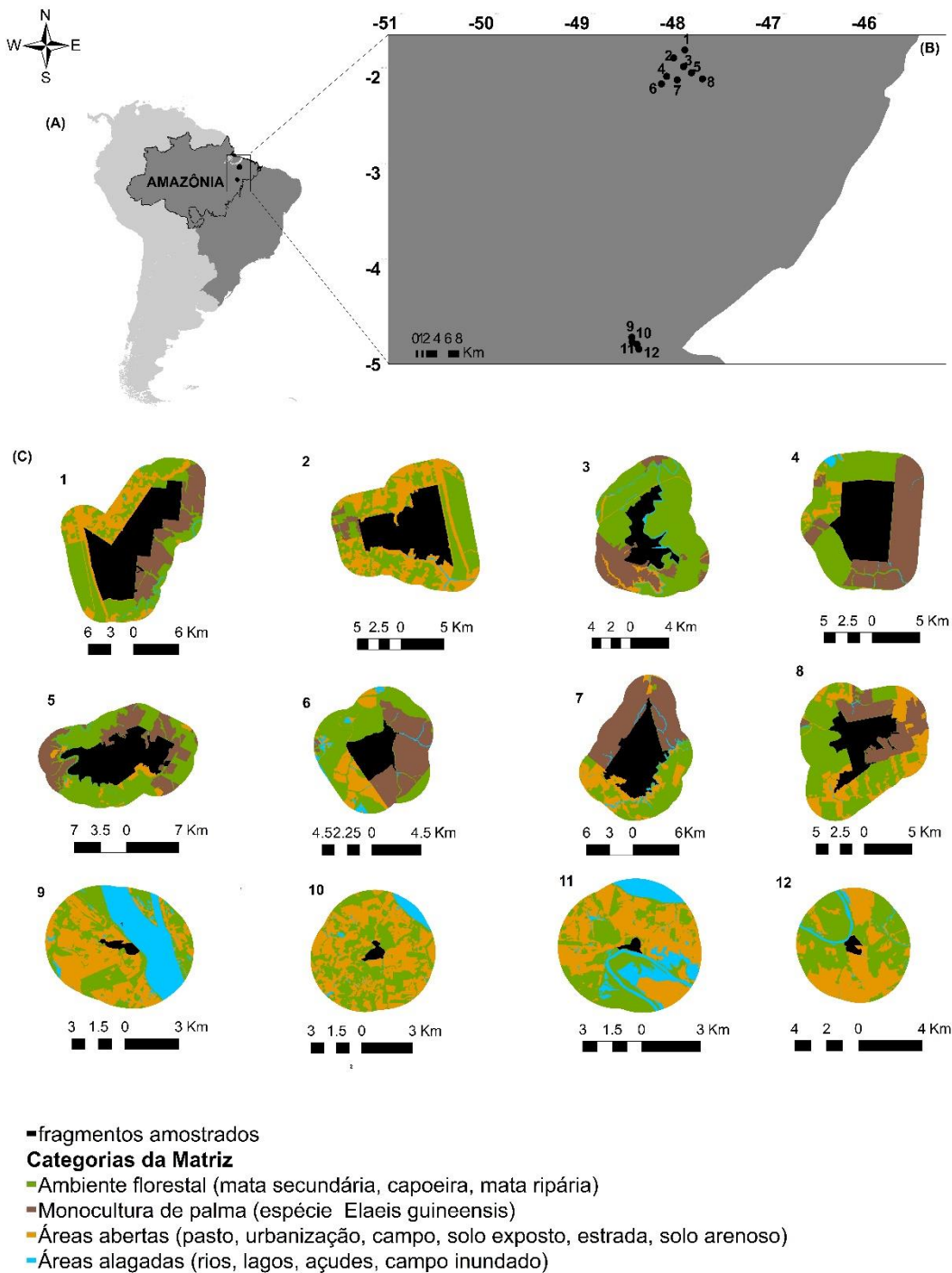
### **Área de estudo**

Foram estudados doze fragmentos florestais localizados no nordeste da Amazônia, nos municípios de Moju, Acará, Tailândia e Marabá, no estado do Pará (Fig. 1, Material Suplementar

Tabela 1). Esta região é uma das áreas de colonização mais antiga da Amazônia, e vem sofrendo intensamente com o desmatamento e degradação florestal desde a década de 1960 (Fearnside 2005). Atividades como agricultura, pecuária, exploração madeireira, mineração e urbanização, formaram nesta região um mosaico de remanescentes florestais, circundados por matrizes de diferentes níveis de degradação (Homma et al. 1996; Fearnside 2005).

A vegetação predominante dos fragmentos estudados se caracteriza como Floresta de Terra Firme (IBGE 2016). As árvores possuem dossel maior que 20 m de altura, o sub-bosque é dominado por pequenas árvores e cipós, com profundidade de serapilheira em torno de 3-10 cm (observação pessoal). A precipitação média anual é de 2344 mm, com pico médio de 427 mm no mês de março e máximo de 54 mm no mês de setembro (Albuquerque et al. 2010).

A paisagem ampla dentro da região de estudo é atualmente um mosaico de habitat aberto antrópico, onde a conversão florestal em pastagens e monocultura de palma de dendê (*Elaeis guineensis* (Jacq.)) caracterizam as matrizes predominantes destes fragmentos (Hurtienne 1999; Mendes-Oliveira et al. 2017).



**Fig. 1** Localização das áreas de estudo. (A) América do Sul com destaque para o Brasil e Amazônia. (B) Nordeste da Amazônia com destaque para os 12 fragmentos estudados. (C) Mapas do uso e cobertura do solo com *buffer* de 3 Km no entorno de cada fragmento

## Desenho Amostral

Cada um dos 12 fragmentos foi considerado uma unidade amostral independente. Para cada fragmento foram realizadas de duas a três expedições de coleta entre os anos de 2009 e 2014. As

expedições tiveram duração de no mínimo 10 dias e no máximo de 22 dias de amostragem. Em todos os fragmentos foram coletadas informações acerca da riqueza de espécies dos seguintes grupos de vertebrados terrestres: anfíbios (anura), répteis (squamata) e mamíferos de pequeno, médio e grande porte.

### **Amostragem de vertebrados terrestres**

Para a quantificação da riqueza de espécies dos grupos taxonômicos estudados, foram utilizadas sete metodologias diferentes de amostragem, sendo descritas a seguir. Todos os fragmentos foram submetidos às mesmas metodologias de amostragem para todos os grupos. Os esforços amostrais de cada método para cada fragmento amostrado, está descrito na Tabela I em Material Suplementar. Nas metodologias de captura direta alguns espécimes foram sacrificados para fins de identificação final e depositados na Coleção Científica do Museu de Zoologia da Universidade Federal do Pará.

As Armadilhas de Interceptação e Queda (AIQ) ou *pitfall* (Bury e Corn 1987), consistem em um método de captura direta. Neste tipo de armadilha são enterrados quatro baldes de 60 litros no solo, até a boca. Os baldes foram dispostos em linha reta com distância de 15 metros uns dos outros e unidos por cerca-guia de lona plástica, presas a estacas de madeira, de aproximadamente 60 cm de altura. O objetivo da armadilha é conduzir o animal através da cerca guia até a queda no balde, onde é capturado. Aplicamos esta metodologia para amostragem dos grupos de anfíbios, squamata (lagartos e serpentes) e mamíferos de pequeno porte (pequenos roedores e marsupiais com peso  $\geq 2$  Kg). Para cada fragmento foram instaladas de 1 a 2 linhas de *pitfall*.

Utilizamos a Procura Ativa (PA) (Martins e Oliveira 1998) e o Reconhecimento Auditivo (RA) (Pavan 2007) para a busca de anfíbios e squamatas (lagartos e serpentes). Neste método realizamos a varredura e coleta em microambientes, como: troncos caídos, rochas, cascas de árvores, bromélias, folhiço, forquilhas de árvores e arbustos, cavidades no solo, margens de brejos e cursos d'água. A Procura Ativa ocorreu nos períodos diurno, de 14:00 às 17:00 e noturno, de 19:00 às 22:00 (Maschio 2008). No percurso da atividade de PA foi realizada a metodologia complementar de RA, que consistiu na busca indireta de registros de vocalização das espécies de anfíbios.

Também aplicamos a metodologia de Armadilhas de contenção de animal vivo (Voss e Emmons 1996) de alumínio (Sherman) e do tipo gaiola (Tomahawk), para a coleta de dados sobre pequenos mamíferos não voadores (pequenos roedores e marsupiais). Distribuimos as armadilhas no solo e no sub-bosque (ramos ou cipós), entre 1 e 2 metros de altura. Iscamos as armadilhas com uma mistura feita a partir de pasta de amendoim, sardinha, óleo de fígado de bacalhau e fubá, além de pedaços de bacon suíno e frutas como banana, maçã e abacaxi.

Para amostragem de mamíferos de médio e grande porte utilizamos o Censo Visual por Transectos Lineares (Buckland et al. 2001) e Busca Ativa por Vestígios (Pardini et al. 2006). Ambos os métodos foram desenvolvidos simultaneamente. Dois observadores percorreram diariamente as transecções retilíneas de cerca de 2-5 km, coletando registros diretos (visualização direta de espécies) e indiretos (vestígios) das espécies de mamíferos de médio e grande porte (Peres e Cunha 2011). Foi aberta um transecto para cada fragmento, tendo este sido percorrido por vários dias não consecutivos. Como esse grupo de vertebrados possuem espécies que utilizam diferentes estratos florestais e horários de períodos de atividades variados, essas metodologias associadas proporcionaram maiores registros de espécies com características ecológicas e comportamentais diferentes (Srbek-Araujo e Chiarello 2005).

Ainda para amostragem complementar de mamíferos de médio e grande porte, principalmente noturnos, utilizamos o método de Armadilhamento fotográfico (Tomas e Miranda 2006). Neste caso, as câmeras traps foram instaladas próximas aos transectos de censo visual. Instalamos de 2 a 7 armadilhas fotográficas por fragmento, em troncos de árvores a cerca de 40 cm do solo. As armadilhas foram programadas para funcionar ininterruptamente ao longo do período de amostragem que variou de 20 a 60 dias, e ajustadas em intervalos de captura de 30 segundos entre os registros fotográficos, marcando a data e o horário de cada fotografia. Cada foto foi considerada um evento independente seguindo os seguintes critérios: 1- fotos consecutivas de indivíduos reconhecidamente diferentes da mesma espécie ou espécie diferente, 2- fotos consecutivas de indivíduos conspícuos com intervalos de 60 minutos entre elas, 3- fotos não consecutivas de indivíduos da mesma espécie (O' Brien et al. 2008).

## Métricas de paisagem

Para a coleta de dados de métricas de paisagem utilizamos imagens de satélite *Landsat* de anos correspondentes a coleta de dados em campo, com mapa de uso e cobertura do solo disponível na resolução espacial de 30m fornecidas pelo Projeto MapBiomias – Coleção [2] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, com acesso no link: [<http://mapbiomas.org>]. No entanto, como as áreas onde os fragmentos estavam inseridos eram pequenas, para uma boa classificação, produzimos novos mapas de uso e cobertura do solo para cada paisagem onde os fragmentos estavam inseridos, usando Albers como projeção e Datum SAD 69 no banco de dados espacial. Geramos estes mapas por vetorização manual, seguida de classificação visual, de imagens do *Google Earth*, com a ajuda do basemap imagery em alta resolução (5 m) no programa ArcGis 10.2.

Ao todo mapeamos 14 classes de uso e cobertura do solo, sendo elas: rios, lagos, açudes, pastagem, área urbana, estradas, solo exposto, solo arenoso, monocultura de palma (*Elaeis guineenses*), mata ripária, floresta secundária, capoeira, campo natural e campo inundado.

Calculamos o tamanho do fragmento em hectares, através do programa ArcGis 10.2. Ao redor de cada fragmento fizemos *buffers* de 1, 2 e 3 Km. Neste trabalho, a escala espacial foi definida de acordo com o tamanho do *buffer*. Sendo assim as variáveis de isolamento e caracterização da matriz do fragmento quanto ao uso e cobertura do solo foram calculadas separadamente em três escalas espaciais e relacionadas com os diferentes grupos taxonômicos.

Calculamos o isolamento de cada fragmento através da média da distância euclidiana dos vizinhos mais próximos (ENN\_MN). Esta distância é definida usando geometria euclidiana simples como a mais curta distância em linha reta entre o fragmento e seu vizinho mais próximo da mesma classe, com base na distância entre os centros das duas células mais próximas. ENN\_MN é dado em metros e quanto mais se aproxima de 0 o isolamento do fragmento diminui.

Para a caracterização da matriz organizamos as classes de uso do solo mapeadas em categorias considerando as características ecológicas de cada grupos taxonômicos estudados (Bridges e Semlitsch 2000; Santos-Filho et al. 2012; Correa et al. 2015; dos Santos-Costa et al. 2015; Mendes-Oliveira et al. 2017). Para o grupo de anfíbios delimitamos quatro categorias: 1) área alagada (incluindo as classes de rios, lagos e açudes); 2) área aberta (incluindo as classes de pastagem, área urbana, estradas, solo exposto, solo arenoso, campo natural); 3) monocultura de palma de dendê; 4) ambiente florestal (incluindo as classes de mata ripária, floresta secundária, capoeira, campo natural). Já para os grupos de lagartos, serpentes e mamíferos de pequeno médio e grande porte delimitamos três categorias: 1) área aberta (incluindo as classes de pastagem, área urbana, estradas, solo exposto,

solo arenoso, campo natural, rios, lagos e açudes); 2) monocultura de palma de dendê; 3) ambiente florestal (incluindo as classes de mata ripária, floresta secundária, capoeira e campo natural).

Convertemos nosso mapeamento em *raster* como entrada para calcular as métricas de paisagem (% das categorias de matriz e isolamento) separadamente em cada *buffer* (Material Suplementar Fig. 1), usando o software *Fragstats* (McGarigal et al. 2012).

### **Análise de dados**

Para evitar autocorrelação espacial, descartamos todos os fragmentos cujos *buffers* estabelecidos estavam sobrepostos. Desta forma, selecionamos 12 fragmentos que não apresentaram sobreposição. Os testes de Mantel não mostraram correlação espacial significativa entre os fragmentos e a riqueza de cada grupo taxonômico estudado ( $r$  variando de: -0,25 a 0,49;  $p > 0,05$ ). Para esse teste usamos o pacote *vegan* no programa R (R Development Core Team 2017).

Verificamos se havia multicolinearidade entre as classificações que serviram como variáveis preditoras da caracterização da matriz, para isso fizemos o teste de correlação de Pearson. Em todos os *buffers* encontramos uma alta correlação entre as categorias de monocultura de palma e áreas abertas ( $R > 0.7$ ). Então, a categoria de áreas abertas foi selecionada para entrar nas análises junto as outras categorias que não estavam correlacionadas. Baseamos esta escolha no fato de que áreas abertas correspondiam mais comumente as 12 paisagens estudadas (Fig. 1). Sendo assim, as variáveis selecionadas para caracterização da matriz para anfíbios, foram: área alagada, área aberta e ambiente florestal. Já para lagartos, serpentes e mamíferos de pequeno, médio e grande porte, as variáveis foram: área aberta e ambiente florestal.

Embora o esforço amostral empregado nas paisagens tenha sido diferente, fizemos curvas de rarefação para obter o valor mínimo da riqueza rarefeita e utilizamos este parâmetro nas análises (Material Suplementar Fig. 3). Usamos o pacote *iNEXT* no programa R (R Development Core Team 2017) (Hsieh et al. 2016). Testamos a associação entre a riqueza de espécies de anfíbios, lagartos, serpentes e mamíferos de pequeno, médio e grande porte com a estrutura da paisagem, tamanho do fragmento, isolamento e categorias da matriz, em diferentes escalas espaciais (1, 2 e 3 Km), através da análise de regressão. Testamos cada variável preditora (tamanho, isolamento e matriz) separadamente em cada escala espacial com a riqueza de espécies de cada grupo taxonômico através da análise de regressão linear. Os grupos taxonômicos foram avaliados separadamente. A seguir testamos as variáveis preditoras juntas através da análise de regressão múltipla com um modelo de seleção (*stepwise*) usado para selecionar os melhores modelos ( $p < 0.05$ ). As análises estatísticas foram feitas no programa R (R Development Core Team 2017), usando o pacote *vegan* (Oksanen et al. 2017).

## RESULTADOS

Ao todo registramos 130 espécies de vertebrados terrestres nos fragmentos estudados (Tabela 1). O grupo com maior riqueza foi o de mamíferos com um total de 55 espécies, sendo 16 de pequenos mamíferos não-voadores (7 da ordem Didelphimorphia e 9 da ordem Rodentia) e 39 espécies de mamíferos de médio e grande porte (5 da ordem Artiodactyla, 11 da ordem Carnivora, 3 da ordem Cingulata, 1 ordem Perissodactyla, 5 ordem Pilosa, 9 ordem Primates e 5 da ordem Rodentia). Para anfíbios da ordem Anura foram registradas 42 espécies e 33 espécies de répteis Squamata, sendo 18 espécies de serpentes e 15 de lagartos (Tabela 1). As espécies mais comuns entre os fragmentos foram *Physalaemus ephippifer* (anfíbio), *Gonatodes humeralis*, *Norops fuscoauratus* (lagartos) *Bothrops atrox*, *Corallus hortulanus* (serpentes) *Didelphis marsupialis* e *Marmosa demerarae* (pequenos mamíferos), *Pecari tajacu* (médio mamífero) (Tabela 1).

As análises de regressão linear feitas separadamente para cada variável preditora mostraram resultados semelhantes aos da regressão múltipla com seleção de modelos. Desta forma, apresentamos apenas os resultados das regressões múltiplas que tiveram modelos selecionados com  $p < 0.05$  (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

O tamanho do fragmento não foi uma variável selecionada no modelo para nenhum grupo taxonômico (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Já o isolamento do fragmento foi selecionado para alguns grupos em algumas escalas, mas foi significativa somente dentro da escala de 3 Km, para o grupo de espécies de anfíbios e serpentes (Tabelas 1 e 3). O Isolamento do fragmento influencia negativamente a riqueza de espécies de anfíbios e serpentes (Fig. 2).

Característica da matriz foram selecionadas em quase todos os grupos taxonômicos e nas três escalas estudadas. Entretanto a única categoria que mostrou resultados significativos foi a porcentagem de área aberta. Esta categoria de quantidade de área aberta teve influência positiva para os lagartos em todas as três escalas estudadas (Tabela 2). Ou seja, quanto mais aberta a matriz maior foi a riqueza de espécies de lagartos (Figura 3). Enquanto que para o grupo dos médios e grandes mamíferos, os resultados foram opostos (Tabela 5), quanto maior a porcentagem de área aberta na matriz, menor a riqueza de espécies deste grupo nos fragmentos estudados (Fig. 3).



**Tabela 1** Ocorrência das espécies de vertebrados terrestres nos doze fragmentos estudados no nordeste da Amazônia

Classe	Ordem	Espécie	Fragmento													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Amphibia	Anura	<i>Adelphobates galactonotus</i>									X					
Amphibia	Anura	<i>Adenomera andreae</i>											X	X		
Amphibia	Anura	<i>Adenomera hylaedactyla</i>				X				X		X	X			
Amphibia	Anura	<i>Amazophrynella bokermanni</i>				X										
Amphibia	Anura	<i>Amazophrynella minuta</i>										X			X	
Amphibia	Anura	<i>Boana boans</i>										X				
Amphibia	Anura	<i>Boana geographica</i>					X			X						
Amphibia	Anura	<i>Boana multifasciata</i>				X	X			X	X	X	X			
Amphibia	Anura	<i>Boana punctata</i>								X					X	
Amphibia	Anura	<i>Callimedusa tomopterna</i>						X								
Amphibia	Anura	<i>Ceratophrys cornuta</i>						X								
Amphibia	Anura	<i>Ctenophryne geayi</i>	X													
Amphibia	Anura	<i>Dendropsophus melanargyreus</i>														X
Amphibia	Anura	<i>Dendropsophus minutus</i>			X		X		X							X
Amphibia	Anura	<i>Dendropsophus nanus</i>					X			X	X					X
Amphibia	Anura	<i>Elachistocleis ovalis</i>								X			X	X		
Amphibia	Anura	<i>Engystomops petersi</i>								X			X			

Amphibia	Anura	<i>Hamptophryne boliviana</i>				X					
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus fuscus</i>		X	X	X	X	X	X	X	
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus macrosternum</i>		X	X	X	X	X	X	X	
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus mystaceus</i>	X								
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus paraensis</i>	X	X			X		X	X	X
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	X	X		X		X	X	X	X
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus petersii</i>	X		X			X		X	
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus pustulatus</i>						X	X		X
Amphibia	Anura	<i>Osteocephalus leprieurii</i>				X					
Amphibia	Anura	<i>Osteocephalus oophagus</i>				X		X			
Amphibia	Anura	<i>Osteocephalus taurinus</i>	X	X		X	X	X		X	
Amphibia	Anura	<i>Phyllomedusa bicolor</i>				X					
Amphibia	Anura	<i>Physalaemus cuvieri</i>									X
Amphibia	Anura	<i>Physalaemus ephippifer</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Amphibia	Anura	<i>Pipa pipa</i>	X								
Amphibia	Anura	<i>Pithecopus hypochondrialis</i>			X	X	X	X			
Amphibia	Anura	<i>Pristimantis fenestratus</i>			X	X			X	X	
Amphibia	Anura	<i>Rhaebo guttatus</i>					X	X			
Amphibia	Anura	<i>Rhinella margaritifera</i>		X	X			X	X		
Amphibia	Anura	<i>Rhinella marina</i>		X				X	X	X	

Amphibia	Anura	<i>Scinax boesemani</i>				X					X		
Amphibia	Anura	<i>Scinax nebulosus</i>		X						X	X	X	
Amphibia	Anura	<i>Scinax ruber</i>									X		
Amphibia	Anura	<i>Trachycephalus resinifictrix</i>							X				
Amphibia	Anura	<i>Trachycephalus typhoni</i>									X	X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Ameiva ameiva</i>									X	X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Chatogecko amazonicus</i>		X							X		
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Copeoglossum nigropunctatum</i>			X					X			
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Gonatodes humeralis</i>		X	X	X		X				X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Kentropyx altamazonica</i>			X	X	X	X					
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Kentropyx calcarata</i>		X						X		X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Leposoma percarinatum</i>			X								
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Norops fuscoauratus</i>		X	X			X	X			X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Plica umbra</i>			X	X	X	X		X			
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Polychrus marmoratus</i>										X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Thecadactylus rapicauda</i>		X								X	
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Tropidurus hispidus</i>								X	X	X	X
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Tropidurus oreadicus</i>								X	X		
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Tupinambis teguixin</i>								X			
Reptilia	Squamata/ Lagartos	<i>Uranoscodon superciliosus</i>								X	X	X	X

Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Bothrops atrox</i>				X	X		X	X		
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Chironius carinatus</i>								X		
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Chironius fuscus</i>									X	
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Corallus hortulanus</i>	X	X					X			X
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Dipsas catesbyi</i>					X					
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Dipsas pavonina</i>			X							
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Drymoluber dichrous</i>								X		
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Erythrolamprus typhlus</i>										X
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Erythrolampus reginae</i>									X	
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Helicops angulatus</i>	X								X	
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Imantodes cenchoa</i>				X			X			
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Leptodeira annulata</i>					X					
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Micrurus lemniscatus</i>								X		
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Micrurus surinamensis</i>									X	
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Oxybelis fulgidus</i>									X	
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Philodryas viridissima</i>					X					
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Siphlophis cervinus</i>										X
Reptilia	Squamata/ Serpentes	<i>Xenopholis scalaris</i>					X					
Mammalia	Artiodactyla	<i>Mazama americana</i>	X	X	X	X	X	X	X			X
Mammalia	Artiodactyla	<i>Mazama gouazoubira</i>								X	X	X



Mammalia	Didelphimorphia	<i>Marmosops parvidens</i>								X	X	X	
Mammalia	Didelphimorphia	<i>Marmosops pinheiroi</i>	X	X	X	X	X	X					
Mammalia	Didelphimorphia	<i>Monodelphis americana</i>	X			X				X			
Mammalia	Didelphimorphia	<i>Monodelphis glirina</i>									X		
Mammalia	Perissodactyla	<i>Tapirus terrestris</i>		X	X	X	X		X	X			
Mammalia	Pilosa	<i>Bradypus tridactylus</i>									X		
Mammalia	Pilosa	<i>Bradypus variegatus</i>	X			X	X		X				
Mammalia	Pilosa	<i>Choloepus didactylus</i>			X			X					
Mammalia	Pilosa	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>					X		X	X			
Mammalia	Pilosa	<i>Tamandua tetradactyla</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Mammalia	Primates	<i>Alouatta belzebul</i>	X	X	X			X	X	X	X	X	
Mammalia	Primates	<i>Aotus infulatus</i>										X	
Mammalia	Primates	<i>Callicebus moloch</i>									X		
Mammalia	Primates	<i>Cebus kaapori</i>					X						
Mammalia	Primates	<i>Chiropotes satanas</i>					X	X		X			
Mammalia	Primates	<i>Saguinus niger</i>									X	X	X
Mammalia	Primates	<i>Saguinus ursulus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			
Mammalia	Primates	<i>Saimiri collinsi</i>	X		X		X		X				
Mammalia	Primates	<i>Sapajus apella</i>	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
Mammalia	Rodentia	<i>Cerradomys langguthi</i>			X								



**Tabela 2** Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelo avaliando a relação entre riqueza de espécies de anfíbios anura e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia

<b>F(3,8)= 4.089, p= 0.04, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.4572</b>					
Escala espacial		Intecept	Tamanho do fragmento	Isolamento (ENN_MN)	Matriz Áreas Abertas
	Beta	17.055	-0.001	<b>-0.064</b>	0.252
3 Km	Std. Err. Beta	7.434	0.001	<b>0.028</b>	0.137
	T value	2.294	-1.200	<b>-2.245</b>	1.843
	P level	0.051	0.264	<b>0.045</b>	0.103

**Tabela 3** Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelos avaliando a relação entre riqueza de espécies de lagartos e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia

<b>F(2,9)=6.891, p= 0.015, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.517</b>					
Escala espacial		Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)	Matriz Áreas abertas
	Beta	-1.081		0.011	<b>0.112</b>
1 Km	Std. Err. Beta	1.687		0.009	<b>0.043</b>
	T value	-0.640		1.177	<b>2.583</b>
	P level	0.538		0.270	<b>0.030</b>

<b>F(2,9)= 9.897, p= 0.005, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.618</b>					
		Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)*	Matriz Áreas abertas
	Beta	-2.210	0.000		<b>0.161</b>
2 Km	Std. Err. Beta	2.121	0.000		<b>0.039</b>
	T value	-1.042	1.196		<b>4.147</b>
	P level	0.325	0.262		<b>0.002</b>

<b>F(2,9)= 8.703, p= 0.008, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.583</b>					
		Intecept	Tamanho do fragmento	Isolamento (ENN_MN)*	Matriz Áreas abertas
	Beta	-2.4897	0.0005		<b>0.1658</b>
3 Km	Std. Err. Beta	2.3243	0.0003		<b>0.0428</b>



T value	-1.0711	1.4196	<b>3.8766</b>
P level	0.3120	0.1894	<b>0.0038</b>

\*Métrica não selecionada no modelo

**Tabela 4** Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelos avaliando a relação entre riqueza de espécies de serpentes e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia

<b>F(2,9)= 4.100, p= 0.045, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.360</b>					
Escala espacial		Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)	Matriz Áreas abertas
3km	Beta	3.086738		<b>-0.016</b>	0.025
	Std. Err. Beta	0.886646		<b>0.006</b>	0.018
	T value	3.481370		<b>-2.802</b>	1.434
	P level	0.00692		<b>0.021</b>	0.185

\*Métrica não selecionada no modelo

**Tabela 5** Coeficientes de regressão múltipla com seleção de modelos avaliando a relação entre riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte e variáveis de paisagem em diferentes escalas espaciais de 12 fragmentos florestais na Amazônia.

<b>F(2,9)= 12.833, p= 0.002, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.682</b>						
Escala espacial		Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)*	Matriz Áreas abertas	Ambiente Florestal
1 Km	Beta	184.103			<b>-1.685</b>	-1.368
	Std. Err. Beta	28.095			<b>0.359</b>	0.565
	T value	6.553			<b>-4.698</b>	-2.421
	P level	0.000			<b>0.001</b>	0.309

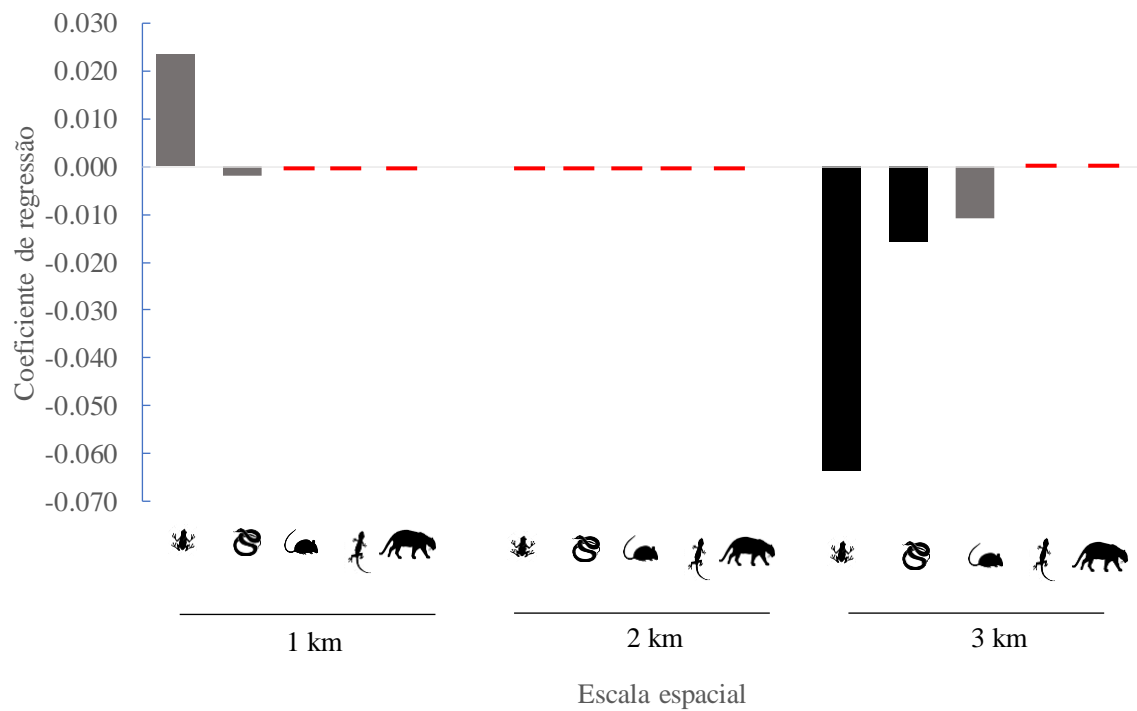
**F(2,9)=19.206, p= 0.001, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.767**

		Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)	Matriz Áreas abertas
2 Km	Beta	106.362		0.196	<b>-1.875</b>
	Std. Err. Beta	13.923		0.085	<b>0.303</b>
	T value	7.639		2.318	<b>-6.193</b>
	P level	0.000		0.046	<b>0.000</b>

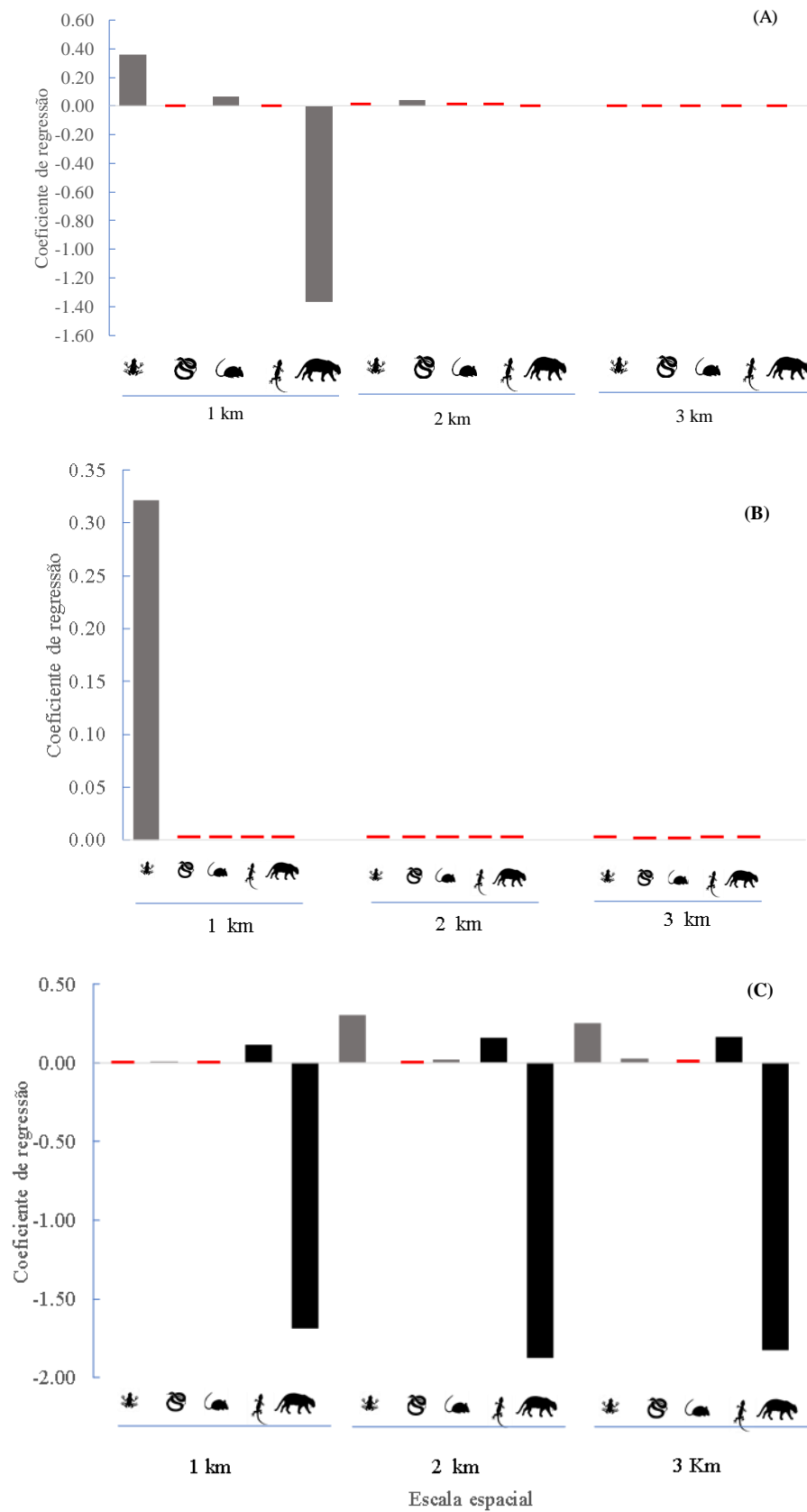
**F(3,8)=8.9496, p= 0.001, Adjusted R<sup>2</sup>= 0.684**

	Intecept	Tamanho do fragmento*	Isolamento (ENN_MN)	Áreas abertas	Matriz Ambiente Florestal
Beta	227.374		-0.162	<b>-1.828</b>	-1.600
3 Km Std. Err. Beta	67.087		0.142	<b>0.376</b>	0.999
T value	3.389		-1.145	<b>-4.857</b>	-1.601
P level	0.010		0.285	<b>0.001</b>	0.148

\*Métrica não selecionada no modelo



**Fig. 2** Seleção da métrica de isolamento através da regressão múltipla. O gráfico mostra a influência (positiva ou negativa) desta métrica sobre a riqueza de vertebrados terrestres nas escalas de 1, 2 e 3 Km (barra preta:  $p < 0.05$ , barra cinza:  $p > 0.05$ , linha vermelha: métrica não selecionada no modelo).



**Fig. 3** Seleção das categorias da matriz através da regressão múltipla. Categorias selecionadas: (A) Ambiente Florestal, (B) Áreas Alagadas, (C) Áreas Abertas. O gráfico mostra a influência (positiva ou negativa) da categoria sobre a riqueza de espécies de vertebrados terrestres nas escalas de 1, 2 e 3 Km (barra preta:  $p < 0.05$ , barra cinza:  $p > 0.05$ , linha vermelha: métrica não selecionada no modelo).

## DISCUSSÃO

Os resultados foram bastante variáveis tanto considerando os grupos taxonômicos quanto as escalas espaciais. Embora seja comum encontrar estudos de paisagem na literatura que mostram que o tamanho do fragmento e os efeitos de isolamento nos diferentes organismos sejam métricas de maior impacto do que os efeitos da matriz (Prevedello e Vieira 2010), nesse estudo nossos resultados mostraram que as características da matriz tiveram maior influência sobre a riqueza de espécies. A riqueza de vertebrados terrestres nas 12 paisagens estudadas não foi estatisticamente relacionada ao tamanho do fragmento. Segundo Fahrig (2003, 2013), a fragmentação ocorre no nível da paisagem, a quantidade de habitat em torno do fragmento não pode ser ignorada e que, portanto, os efeitos do tamanho do fragmento nem sempre são relevantes. A complexidade da matriz onde estão inseridos os fragmentos podem ser mais importantes do que seu tamanho e isolamento na sobrevivência de algumas espécies de animais (Gascon et al. 1999; Santos-Filho et al. 2012; Borges-Matos C. et al. 2016).

Concluimos que quanto maior o isolamento do fragmento menor a riqueza de espécies de anfíbios e serpentes (Fig. 2). Resultado esperado para esses dois grupos considerados de baixa mobilidade (Bowne e Bowers 2004; Cushman 2005; Wells 2007; Rodrigues et al. 2014). E nos mostra uma ideia de como a população dessas espécies poderiam estar estruturadas, uma vez que pesquisadores já propuseram que a conectividade do habitat é uma variável importante para a viabilidade regional de populações dos anfíbios (Semlitsch e Bodie 1998; Skelly et al. 1999; Marsh e Trenham 2001; Rothermel e Semlitsch 2002). Habitats isolados podem ser sumidouros populacionais devido à alta mortalidade de anfíbios juvenis durante sua emigração (Rothermel 2004). A importância do isolamento para os anfíbios na escala 3 Km, pode ser devido às grandes distâncias de dispersão dos juvenis (Berven e Grudzien 1990; Grant et al. 2010; Sinsch et al. 2012). Dessa forma, as diferenças interespecíficas na capacidade locomotora podem representar diferenças na susceptibilidade a fragmentação, não só pelo isolamento populacional, mas também pelo aumento das distâncias entre os fragmentos florestais e os sítios reprodutivos (Becker 2007; Patrick et al. 2008). A redução das taxas de dispersão para esse grupo, causada pela fragmentação florestal, já havia sido proposta por McDonough e Paton (2007) e a ordem Anura, em especial, seria um dos grupos possivelmente mais afetados pela fragmentação de habitat (Silvano e Segalla 2005; Janin et al. 2012).

É importante ressaltar que anfíbios e répteis estão entre os grupos da fauna menos estudados em trabalhos de nível paisagem, representando apenas 4% dos trabalhos sobre os efeitos fragmentação do habitat (McGarigal e Cushman 2002). E os resultados encontrados na literatura propuseram que a fragmentação florestal pode reduzir as taxas de dispersão para este grupo (Pittman

et al. 2014), corroborando com o encontrado neste estudo, onde espécies de baixa mobilidade são afetadas negativamente pelo isolamento em escalas maiores.

Nesse estudo, a matriz mostrou ser a principal variável de paisagem na determinação da riqueza de espécies de lagartos e mamíferos de médio e grande porte, pois foi a única que respondeu em todas as escalas analisadas, com a categoria de áreas abertas. Essa categoria caracteriza a ausência de cobertura florestal em torno dos fragmentos, e isto pode representar uma barreira importante para várias espécies, principalmente para aquelas consideradas como de interior de floresta (Primack e Rodrigues 2001). O aumento da riqueza de espécies de lagartos com o aumento das áreas abertas na matriz pode ser explicado de acordo com as previsões de Vitt et al. 2008, em que as áreas abertas beneficiam espécies heliotérmicas como é o caso de várias espécies de lagartos registradas neste estudo (p.e. *Ameiva ameiva*, *Kentropyx altamazonica*, *K. calcarata*, *Tropidurus hispidus*, *T. oreadicus* e *Tupinambis teguixin*). O autor menciona ainda que complexas comunidades de lagartos da floresta estão sendo substituídas por algumas espécies de áreas abertas, alterando a composição das comunidades florestais. Podemos também inferir que, espécies mais especialistas apresentam tamanho reduzido de ninhadas e alta especificidade de habitats, o que contribui para o aumento da vulnerabilidade a modificações no ambiente (Pianka e Vitt 2003; Rossa-Feres et al. 2008).

Em trabalhos como Virgós et al. (2002), Swihart et al. (2003), Michalski e Peres (2007) e Silva Jr. e Pontes (2008) as variáveis de tamanho do fragmento e isolamento também não conseguiram explicar a riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte. Porém, atributos da matriz tem se mostrado extremamente importantes para esse grupo (Brady et al. 2011; Da Silva et al. 2015). No nosso trabalho, a categoria de áreas abertas na matriz teve efeito negativo, e uma possível explicação para isto é que espécies com maior capacidade de dispersão resulta em um maior risco de mortalidade em paisagens fragmentadas, ou seja, organismos altamente vagos podem apresentar desvantagens em paisagens com estradas, por exemplo, devido ao aumento da probabilidade de mortalidade (Carr e Fahrig 2001).

A importância da matriz é demonstrada pela forte correlação entre a riqueza das espécies na matriz e sua persistência nos fragmentos florestais, controlando a capacidade fragmentos de reter espécies em longo prazo (Gascon et al. 1999). O que reforça a importância da conservação de matrizes com menores níveis de perturbação antrópica (Michalski e Peres 2007; Boesing et al. 2017; Fletcher et al. 2018) permitindo assim a persistência das espécies no fragmento (Fahrig 2003).

## CONCLUSÕES

Nossos resultados indicaram que a configuração da paisagem é extremamente importante no contexto de fragmentação e como as espécies podem responder as variáveis embutidas nas relações com o ambiente. Nosso trabalho mostrou que o tamanho do fragmento não teve efeito detectável sobre a riqueza de vertebrados terrestres, e houve evidência do efeito negativo do isolamento apenas sobre os grupos de anfíbios e serpentes. Contudo, a categoria de áreas abertas na matriz foi capaz de explicar a riqueza de espécies de lagartos e mamíferos de médio e grande porte em todas as escalas espaciais analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada JA, Silva CEF, Gajapersad K, Hallam C, Hurtado J, Martin E, McWilliam A, Mugerwa B, O'Brien T, Rovero F, Sheil D, Spironello WR, Winarni N, Andelman SJ (2011) Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366:2703–2711. doi: 10.1098/rstb.2011.0115c
- Albuquerque MF, Souza EB, Oliveira MCF, Souza Jr. JA (2010) Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Rev Bras Climatol* 6:151-168
- Andersen LE, Reis EH (1997) *Deforestation, Development and Government Policy in the Brazilian Amazon: An Econometric Analysis*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro
- Ávila-Pires TCS, Alves-Silva KR, Barbosa L, Correa FS, Cosenza JFA, Costa-Rodrigues APV, Cronemberger AA, Hoogmoed MS, Lima-Filho GR, Maciel AO, Missassi AFR, Nascimento LRS, Nunes ALS, Oliveira LS, Palheta GS, Pereira AJS, Pinheiro L, Santos-Costa MC, Pinho SRC, Silva FM, Silva MB, Sturaro MJ (2018) Changes in amphibian and reptile diversity over time in Parque Estadual do Utinga, Pará State, Brazil, a protected area surrounded by urbanization *Herpetology Notes* 11:499-512
- Bailey D, Schmidt-Entling MH, Eberhart P, Herrmann JD, Hofer G, Kormann U, Herzog1 F (2010) Effects of habitat amount and isolation on biodiversity in fragmented traditional orchards. *Journal of Applied Ecology* 47:1003–1013. doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01858.x
- Beca G, Vancine MH, Carvalho CS, Pedrosa F, Souza, Alves CR, Buscariol D, Peres CA, Milton CR, Galetti, M (2017) High mammal species turnover in forest patches immersed in biofuel plantations. *Biol Conserv* 210:352–359. doi: 10.1016/j.biocon.2017.02.033
- Becker CG, Fonseca CR, Haddad CFB, Batista RF, Prado PI (2007) Habitat split and the global decline of amphibians. *Nature* 318:1775-1777. <https://doi.org/10.1126/science.1149374>
- Becker RG, Paise G, Baumgarten LC, Vieira EM (2007) Estrutura de comunidades de pequenos mamíferos e densidade de *Necomys lasiurus* (Rodentia, Sigmodontinae) em áreas abertas de cerrado no Brasil. *Mastozool Neotrop* 14:157–168
- Berven KA, Grudzien TA (1990) Dispersal in the wood frog (*Rana sylvatica*): implications for genetic population structure. *Evolution* 44:2047–2056

- Bitar YOC, Pinheiro LPC, Abe PS, Santos-Costa MC (2012) Species composition and reproductive modes of anurans from a transitional Amazonian forest, Brazil. *Zoologia* 29: 19-26
- Boesing AL, Nichols E, Metzger JP (2017) Biodiversity extinction thresholds are modulated by matrix type *Ecography* doi:10.1111/ecog.03365
- Borges-matos C, Aragón S, Nazareth M, Fortin MJ, Magnusson WE (2016) Importance of the matrix in determining small-mammal assemblages in an Amazonian forest-savanna mosaic. *Biol Conserv.* doi: 10.1016/j.biocon.2016.10.037
- Bowne DR, Bowers MA (2004) Interpatch movements in spatially structured populations: a literature review. *Lands Ecol* 19: 1–20
- Brady MJ, McAlpine CA, Possingham HP, Miller CJ, Baxter GS (2011) Matrix is important for mammals in landscapes with small amounts of native forest habitat. *Lands Ecol* 26:617–628
- Bridges CM, Semlitsch RD (2000) Variation in pesticide tolerance of tadpoles among and within species of Ranidae and patterns of amphibian decline. *Conserv Biol* 14:1490–1499
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham K, Laake JL, Borchers DL, Thomas L(2001) *Introduction to DistanceSampling: Estimating Abundance of Biological Populations*: Oxford University Press
- Bury RB, Corn PS (1987) Evaluation of pitfall trapping in northwestern forests: trap array with drift fences. *J Wildl Manag* 51:112-119
- Cáceres NC (2002) Food habits and seed dispersal by the white-eared opossum, *Didelphis albiventris*, in southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 37:97- 104
- Carr L, Fahrig L (2001) Effect of Road Traffic on Two Amphibian Species of Differing Vagility. *Conserv Biol* 15:1071-1078
- Carvalho CJB (2009) Padrões de endemismos e a conservação da biodiversidade. *Megadiversidade* 5:1-2
- Carvalho FMV, Fernandez FAS, Nessimian JL (2005) Food habits of sympatric opossums coexisting in small Atlantic Forest fragments in Brazil. *Mammal Biol* 70:366- 375
- Chiarello AG (1997) *Mammalian Community and Vegetation Structure of Atlantic Forest Fragments in South-eastern Brazil*. Thesis, University of Cambridge
- Chiarello AG (1999) Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in south-easternBrazil. *Biol Conserv* 89: 71–82



- Correa FS, Juen L, Rodrigues LC, Silva-Filho HF, dos Santos-Costa MC (2015) Effects of oil palm plantations on anuran diversity in the eastern Amazon. *Anim Biol* 65:321–335. doi: 10.1163/15707563-00002481
- Cushman SA (2005) Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biol Conserv* 8:0–9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.031>
- Da Silva LG, Ribeiro MC, Hasui E, Costa CA, Cunha RGT (2015) Patch size, functional isolation, visibility and matrix permeability influences neotropical primate occurrence within highly fragmented landscapes. *PLoS ONE* 10:1–20. doi: 10.1371/journal.pone.0114025
- Dos Santos-Costa MC, Maschio GF, da Costa Prudente AL (2015) Natural history of snakes from Floresta Nacional de Caxiuanã, eastern Amazonia, Brazil. *Herpetology Notes* 8:69–98
- Fahrig L (2001) How much habitat is enough? *Biol Conserv* 100:65–74
- Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 34:487–515
- Fahrig L (2013) Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography* 40:1649–1663. doi: 10.1111/jbi.12130
- Fearnside PM (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conserv Biol* 19:680–688. doi:10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x
- Fletcher RJ, Didham RK, Banks-Leite C, Barlow J, Robert ME, James R, Holt DR, Gonzalez A, Pardini R, Damschen EI, Melo FPL, Ries L, Prevedello JA, Tscharntke T, Laurance WF, Lovejoy T, Haddad NM (2018) Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biol Conserv* 226:9–15. doi: 10.1016/j.biocon.2018.07.022
- Foden WB, Butchart SHM, Stuart SN, Vié JC, Akçakaya HR, Angulo DeVantier ALM, Gutsche A, Turak E, Cao L, Donner SD, Katariya V, Bernard R, Holland RA, Hughes AF, O’Hanlon SE, Garnett ST, Şekercioğlu CH, Mace GM (2013) Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE* 1–31. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.006542>
- Gascon C, Lovejoy TE, Bierregaard Jr. RO, Malcolm JR, Stouffer PC, Vasconcelos HL, Laurance WF, Zimmerman B, Tocher M, Borges S (1999) Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biol Conserv* 91:223–229

- Gibbs HK, Reusch AS, Achard F, Clayton MK, Holmgren P, Ramankutty N, Foley JA (2010) Tropical forests were the primary sources of new agricultural lands in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107:16732–16737
- Grant EHC, Nichols JD, Lowe WH, Fagan WF (2010) Use of multiple pathways facilitates amphibian persistence in stream networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 6936–6940
- Haddad CFB, Prado CPA (2005) Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55: 207-217
- Harcourt AH, Doherty DA (2005) Species–area relationships of primates in tropical forest fragments: a global analysis. *J Appl Ecol* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01037.x>
- Hurtienne T (1999). *Agricultura Familiar na Amazonia Oriental*. *Novos Cad do NAEA*. 2: 75-94. <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/search/authors/view?firstName=Thomas&middleName=Peter&lastName=Hutienne&affiliation=NAEA/UFPA>
- Holland KN (2011) Scales of orientation, directed walks and movement path structure in sharks. *J Animal Ecol* 80:864–874
- Homma AKO, Walker R, Carvalho RA, Conto AJ, Ferreira CA (1996) Razões de risco e rentabilidade na destruição de recursos florestais: O caso de castanhais em lotes de colonos no sul do Pará. *Revista Econômica do Nordeste* 27:515–535
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2016) iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). 1451–1456. doi: 10.1111/2041-210X.12613
- IBGE (2016) Mapas temáticos de vegetação. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE (2017) Projeto Prodes: Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. In: Instituto de Pesquisa Espacial
- Jackson HB, Fahrig L (2015) Meta- Are ecologists conducting research at the optimal scale? *Global Ecol Biogeogr* 24: 52–63. doi: 10.1111/geb.12233
- Janin A, Lena JP, Joly P (2012) Habitat fragmentation affects movement behavior of migrating juvenile common toads. *Behav Ecol Sociobiol* 66:1351–1356
- Janos DP, Sahley CT, Emmons LH (1995) Rodent dispersal of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in amazonian Peru. *Ecology* 76:1852-1858

- Jellinek S, Driscoll DA, Kirkpatrick JB (2004) Environmental and vegetation variables have a greater influence than habitat fragmentation in structuring lizard communities in remnant urban bushland. *Austral Ecol* 29:294-304
- Laurance WF (1999) Reflections on Tropical Deforestation crisis. *Biol Conserv* 91: 109-117. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00088-9)
- Laurance WF (2008) Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biol Conserv* 141: 1731-1744
- Laurance WF, Camargo JLC, Fearnside PM, Lovejoy TE, Williamson GB, Mesquita, Rita CG, Meyer Christoph FJ, Bobrowiec PED, Laurance SGW (2018) An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biol Rev* 93:223–247 doi: 10.1111/brv.12343
- Laurance WF, Camargo JLC, Luizão RCC, Laurance SG, Pimm SL, Emilio MB, Stouffer PC, Bruce WG, Benítez-Malvido JV, Heraldo LV, Houtan, KSV, Zartman CE, Boyle AS, Didham RK, Andrade A, Lovejoy TE (2011) The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biol Conserv* 144:56–67. doi: 10.1016/j.biocon.2010.09.021
- Laurance WF, Vasconcelos HL (2009) Consequências ecológicas da fragmentação florestal na amazônia. *Oecol bras* 13:434–451. doi: 10.4257/oeco.2009.1303.03
- Link A, Di FA (2006) Seed dispersal by spider monkeys and its importance in the maintenance of neotropical rain-forest diversity. *J Trop Ecol* 22:235–246
- MacArthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, New Jersey
- Manning AD, Gibbons P, Lindenmayer DB (2009) Scattered trees: a complementary strategy for facilitating adaptive responses to climate change in modified landscapes? *J Appl Ecol* 46:915–919
- Marsh DM, Trenham P (2001) Metapopulation Dynamics and Amphibian Conservation *Conserv Biol* 15:40-49. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2001.00129.x>
- Marsh LK (2003) *Primates in Fragments: Ecology and Conservation*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Maschio GF (2008) História natural e ecologia das serpentes da Floresta Nacional de Caxiuanã e áreas adjacentes, Pará, Brasil. Tese, Universidade Federal do Pará

- McDonough C, Paton PWC (2007) Salamander dispersal across a forested landscape fragmented by a golf course. *J Wildl Manag* 71:1163–1169
- McGarigal K, Cushman SA (2002) Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecol Appl* 12:335–345
- McGarigal K, Cushman SA, Ene E (2012) FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts
- Mendes-Oliveira AC, Peres CA, Maués PCRDA, Oliveira GL, Mineiro IGB, Silva de Maria SL, Lima RCS (2017) Oil palm monoculture induces drastic erosion of an Amazonian forest mammal fauna. *PLoS ONE* 12:1–19. doi: 10.1371/journal.pone.0187650
- Michalski F, Peres CA (2005) Anthropogenic determinants of primate and carnivore local extinctions in a fragmented forest landscape of southern Amazonia. *Biol Conserv* 124:383–396
- Michalski F, Peres CA (2007) Disturbance-mediated mammal persistence and abundance-area relationships in Amazonian forest fragments. *Conservation Biology* 21:1626–1640. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00797.x
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecol Evol* 10:58–62
- Nally RM, Bennett AF, Horrocks G (2000) Forecasting the impacts of habitat fragmentation. Evaluation of species-specific predictions of the impact of habitat fragmentation on birds in the box-ironbark forests of central Victoria, Australia. *Biol Conserv* 95:7-29. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00017-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00017-3)
- Nepstad D, Soares-Filho BS, Merry F, Lima A, Moutinho P, Carter J, Bowman M,† Cattaneo A, Rodrigues H, Schwartzman S, McGrath DV, Stickler CM, Lubowski R, Piris-Cabezas, Rivero S, Alencar A, Almeida O, Stella O (2009) The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326: 1350-1351
- O'brien TG (2008) On the use of automated cameras to estimate species richness for large- and medium-sized rainforest mammals. *Anim Conserv* 11:179–181. doi:10.1111/j.1469-4891795.2008.00178.x
- Oksanen, J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, Minchin D, Minchin PR, O'hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H (2017) Vegan: community ecology package. R package version 2.4-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

- Pardini R, Ditt EH, Cullen-Jr L, Bassi C, Rudran R (2006) Levantamento rápido de mamíferos terrestres de médio e grande porte, 181-201 p. In: L. Cullen Jr, C. Valladares-Padua, R. Rudran (orgs.). Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba, UFPR/Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 667p.
- Patrick, DA, Harper EB, Hunter Jr. ML, Calhoun AJK (2008) Terrestrial habitat selection and strong density-dependent mortality in recently metamorphosed amphibians. *Ecology* 89:2563–2574
- Patton PWC (1994) The effects of edge on avian nest success: How strong is the evidence? *Conserv Biol* 8:17-26
- Pavan D (2007) Assembléia de répteis e anfíbios do Cerrado ao longo da bacia do rio Tocantins e o impacto do aproveitamento hidrelétrico da região na sua conservação. Tese, Universidade de São Paulo
- Peres CA, Cunha AA (2011) Manual para censo e monitoramento de vertebrados de médio e grande porte por transecção linear em florestas tropicais. Wildlife Technical, Brasil
- Pianka ER, Vitt LJ (2003) *Lizards: windows to the evolution of diversity*. University of California Press, Los Angeles
- Pimm SL, Jenkins CN, Abel R, Brooks TM, Gittleman JL, Joppa LN, Sexton JO (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344:1246752–1246752. doi: 10.1126/science.1246752
- Pittman SE, Osbourn MS, Semlitsch RD (2014) Movement ecology of amphibians: A missing component for understanding population declines. *Biol Conserv* 169:44–53. doi: 10.1016/j.biocon.2013.10.020
- Prevedello JA, Vieira MV (2010) Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. 1205–1223. doi: 10.1007/s10531-009-9750-z
- Primack RB, Rodrigues E (2001) *Biologia da Conservação*. Planta, Londrina
- R development core team (2017) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing
- Regolin AL, Cherem JJ, Bogoni JA, Ribeiro JW, Vancine MH, Tortato MA, Oliveira-Santos LG, Fantacini FM, Ribeiro ML, Castilho PV, Ribeiro MC, Cáceres NC (2017) Forest cover influences occurrence of mammalian carnivores within Brazilian Atlantic Forest cover influences occurrence of mammalian carnivores within. *J Mammal*. doi: 10.1093/jmammal/gyx103

- Ricci B, Franck P, Valantin-Morison M, Bohan DA, Lavigne C (2013). Do species population parameters and landscape characteristics affect the relationship between local population abundance and surrounding habitat amount? *Ecological Complexity* 15: 62–70.
- Ricketts TH (2001) The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *Amer Nat* 158:87–99
- Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, Wilmers CC, Ritchie EG, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson MP, Schmitz OJ, Smith DW, Wallach AD, Wirsing AJ (2014) Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores 343:6167-1241484. doi: 10.1126/science.1241484
- Rossa-Feres DC, Martins M, Marques OAV, Martins IA, Sawaya RJ, Haddad CFB (2008) Herpetofauna. In: Rodrigues RR, Joly CA, De Brito MCW, Paese A, Metzger JP, Casatti L, Nalon MA, Menezes M, Ivanauskas NM, Bolzani V, Bononi VLR Diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo, Instituto de Botânica, São Paulo pp 83-94
- Rothermel BB (2004) Migratory success of juveniles: a potential constraint on connectivity for pond-breeding amphibians. *Ecological Applications* 14:1535–1546
- Rothermel BB, Semlitsch RD (2002) An experimental investigation of landscape resistance of forest versus old-field habitats to emigrating juvenile amphibians. *Conserv Biol* 16:1324–1332
- Sánchez-Cordero V, Martínez-Gallardo R (1998) Postdispersal fruit and seed removal by Forest-dwelling rodents in a lowland rainforest in México. *J Trop Ecol* 14:139-151
- Santos-Filho M, Peres CA, Silva DJ, Sanaiotti TM (2012) Habitat patch and matrix effects on small-mammal persistence in Amazonian forest fragments. *Biodivers Conserv* 21:1127–1147. doi: 10.1007/s10531-012-0248-8
- Santos-Filho M, Silva DJ, Sanaiotti TM (2008) Variação sazonal na riqueza e na abundância de pequenos mamíferos na estrutura da floresta e na disponibilidade de artrópodes em fragmentos florestais no Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotrop* 8:115-121
- Semlitsch RD, Bodie JR (1998). Are small, isolated wetlands expendable? *Conserv Biol* 12: 1129-1133.
- Silva -Jr AP, Pontes ARM (2008) The effect of a megafragmentation process on large mammal assemblages in the highlythreatened Pernambuco Endemism Centre, north-eastern Brazil. *Biodivers Conserv* 17:1455–1464

- Silvano DL, Segalla M (2005) Conservation of Brazilian Amphibians. *Conserv. Biol* 19: 653-658
- Sinsch U, Oromi N, Miaud C, Denton J, Sanuy D (2012) Connectivity of local populations: modelling the migratory capacity of radio-tracked natterjack toads. *Animal Conservation* 15, 388–396.
- Skelly DK, Werner EE, Cortwright SA (1999) Long-term distributional dynamics of a Michigan amphibian assemblage. *Ecology* 80:2326–2337
- Small MF, Hunter ML (1988) Forest fragmentation and avian nest predation in forested landscape. *Oecologia* 76: 62-64
- Srbek-Araújo AC, Chiarello AG (2007) Short Communication: Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical Forests? A case study in south-eastern Brazil. *J. Trop. Ecol* 21:121-125
- Stouffer PC, Bierregaard RO (1995) Use of Amazonian forest fragments by understory insectivorous bird. *Ecology* 76:2429-2445
- Suraci, JP et al (2016) Fear of large carnivores causes a trophic cascade. *Nat Comms* 7: 10698 doi: 10.1038 / ncomms10698
- Swihart RK, Atwood TC, Goheen JR, Scheiman DM, Munroe KE, Gehring TM (2003) Patch occupancy of North American mammals: is patchiness in the eye of the beholder? *J Biogeogr* 30:1259–1279
- Terborgh J, Lopez L, Nunez P, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G, Balbas L (2001). Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science* 294:1923–1926. doi:10.1126/science.1064397
- Thornton DH, Fletcher RJ (2014). Body size and spatial scales in avian response to landscapes: a meta-analysis. *Ecography* 37:454–463.
- Tomas WM, Miranda GHB (2006) Uso de armadilhas fotográficas em levantamentos populacionais. In: Cullen Jr, Valladares-Padua C, Rudran R Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, Curitiba pp667
- Vallan D (2000) Influence of forest fragmentation on amphibian diversity in the nature reserve of Ambohitantely, highland Madagascar. *Biol Conserv* 96: 31-43
- Vieira MF, Carvalho-Okano RM, Sazima M (1991) The common opossum (*Didelphis marsupialis*), as a pollinator of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae). *Ciência e Cultura* 43:390-393

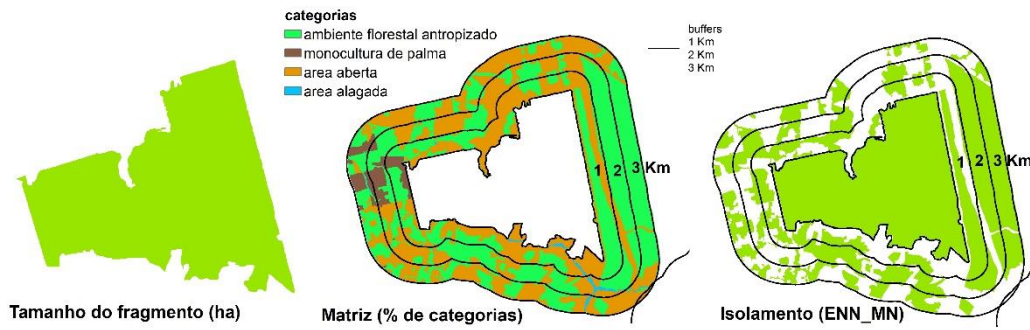
- Virgós E, Tellería JL, Santos T (2002) A comparison on the response to forest fragmentation by medium-sized Iberian carnivores in central Spain. *Biodivers Conserv* 11:1063–1079
- Voss RS, Emmons LH (1996) Mammalian Diversity in Neotropical Lowland Rainforests: a Preliminary Assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 230:1-115
- Watling JI, Nowakowski J, Donnelly MA, Orrock JL (2011) Meta-analysis reveals the importance of matrix composition for animals in fragmented habitat. *Global Ecol Biogeogr* 20:209–217
- Wells KD (2007) *The ecology and behavior of amphibians*. The University of Chicago Press, Chicago. 1148p.
- Wright SJ, Gomper ME, Deleon B (1994) Are large predators keystone species in Neotropical forests? The evidence from Barro Colorado Island. *Oikos* 71:279-294



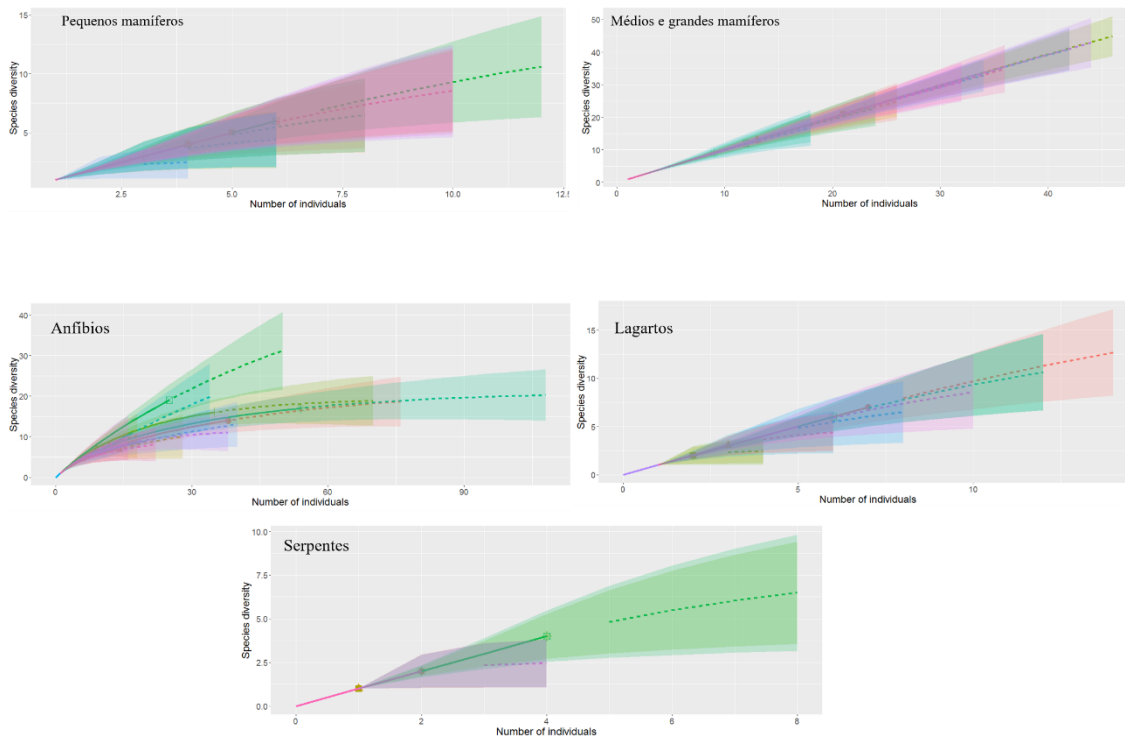
## MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela 1** Esforço dos métodos utilizados na amostragem de vertebrados terrestres nos 12 fragmentos estudados no nordeste da Amazônia, no estado do Pará. AIQ: Armadilha de Intercepção e Queda (pitfall), PA: Procura Ativa, ACAV: Armadilha de contenção de animal vivo, CVTL: Censo Visual por Transectos Lineares, BAV: Busca Ativa por Vestígios, AF: Armadilha Fotográfica

Fragmento	Município	Latitude	Longitude	Esforço amostral por método				
				AIQ	PA	ACAV	CVTL/BAV	AF
1	Acará	-2.38419	-48.80628	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	42 Km	372 armadilhas/noite
2	Acará	-2.30111	-48.69031	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	46 Km	399 armadilhas/noite
3	Tailândia	-2.47636	-48.70406	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	49 Km	340 armadilhas/noite
4	Moju	-2.57473	-48.88033	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	54 Km	476 armadilhas/noite
5	Tailândia	-2.53058	-48.62067	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	52 Km	399 armadilhas/noite
6	Moju	-2.65572	-48.93503	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	40 Km	372 armadilhas/noite
7	Tailândia	-2.61364	-48.77036	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	42 Km	285 armadilhas/noite
8	Tailândia	-2.60253	-48.50558	140 baldes/noite	48 horas	820 armadilhas/noite	45 Km	441 armadilhas/noite
9	Marabá	-5.30333	-49.24472	160 baldes/noite	57 horas	1600 armadilhas/noite	18 Km	280 armadilhas/noite
10	Marabá	-5.35167	-49.24139	160 baldes/noite	57 horas	1600 armadilhas/noite	18 Km	280 armadilhas/noite
11	Marabá	-5.37556	-49.19222	160 baldes/noite	57 horas	1600 armadilhas/noite	18 Km	280 armadilhas/noite
12	Marabá	-5.42694	-49.16972	40 baldes/noite	20 horas	280 armadilhas/noite	6 Km	40 armadilhas/noite



**Fig. 1** Representação esquemática da metodologia empregada no cálculo das variáveis de paisagem



**Fig. 2** Curvas de rarefação da riqueza de espécies de cada grupo taxonômico baseadas no número de indivíduos registrados em cada fragmento

## **Anexo 1.** Normas da revista *Landscape Ecology*

### **Title Page**

- The title page should include:
- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author
- If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

All manuscripts (except editorials and book reviews) submitted to the journal, *Landscape Ecology*, from November 1, 2014 on must have a structured abstract (replacing the unstructured abstract before). The structured abstract must have the following format, with the exact headings shown below:

#### **ABSTRACT**

##### **Context.**

State the broader context (or background) of your study and its relevance to landscape ecology. This section should be 2 to 3 sentences.

##### **Objectives.**

State the specific research objectives (and/or research questions) of your study. The number of research objectives usually should not exceed two. This section should be 2 to 4 sentences.

##### **Methods.**

State the location, design, and major method(s) and procedures of your study. Do not include details on equipment, statistics, and modeling methods. This section should be 2 to 3 sentences.

##### **Results.**

State the major results of your study and explain why they are important. Focus on what you found, not what you did. Clearly indicate what your key findings are. This section should be 5 to 8 sentences.

##### **Conclusions.**

State the significance and implications of your key findings in a broader context. Also, does your study lead to any recommendations relevant to landscape management and planning? This section should be 2 to 4 sentences.

All the elements under each heading described above must be covered. The total length of the structured abstract should not exceed 250 words. The language used in the abstract should be concise and precise. The use of adjectives is generally discouraged unless it is necessary.

##### **Keywords**

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

### **Text Formatting**

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

**Scientific Style**

Please always use internationally accepted signs and symbols for units (SI units).

Nomenclature: Insofar as possible, authors should use systematic names similar to those used by Chemical Abstract Service or IUPAC.

**References**

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

#### Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

#### Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

#### Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med.* <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

#### Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

#### Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

#### Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

#### Dissertation

Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal’s name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

#### ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

EndNote style (zip, 2 kB)

## **Tables**

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

## **Artwork and illustrations guidelines**

### Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

### Halftone Art

halftone-gray-color

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

### Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

#### Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

#### Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,

"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

#### Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term **Fig.** in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

#### Figure Placement and Size

Figures should be submitted separately from the text, if possible.

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

### Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

### Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

### **Electronic supplementary material**

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

### Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

### Audio, Video, and Animations

Aspect ratio: 16:9 or 4:3

Maximum file size: 25 GB

Minimum video duration: 1 sec

Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp



### Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

### Spreadsheets

Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

### Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

### Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

### Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.

Name the files consecutively, e.g. “ESM\_3.mpg”, “ESM\_4.pdf”.

### Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

### Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

### Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)