

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir  
de 05/07/2026.

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E  
BIODIVERSIDADE**

---

**ESTRUTURA DA PAISAGEM COMO PREDITOR DA DIVERSIDADE  
TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE ANFÍBIOS NA MATA ATLÂNTICA**

**MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE**

**Rio Claro – SP  
2024**

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E  
BIODIVERSIDADE**

---

**ESTRUTURA DA PAISAGEM COMO PREDITOR DA DIVERSIDADE  
TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE ANFÍBIOS NA MATA ATLÂNTICA**

**MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ecologia, Evolução e Biodiversidade.

Orientador: Dr. Milton Cezar Ribeiro

V222e

Vancine, Maurício Humberto

Estrutura da paisagem como preditor da diversidade taxonômica e funcional de anfíbios na Mata Atlântica / Maurício Humberto

Vancine. -- Rio Claro, 2024

244 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Milton Cezar Ribeiro

1. Fragmentação de habitat. 2. Desconexão de habitat. 3. Mata Atlântica. 4. Anfíbios. 5. Diversidade Funcional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTRUTURA DA PAISAGEM COMO PREDITOR DA DIVERSIDADE TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE ANFÍBIOS NA MATA ATLÂNTICA

**AUTOR: MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE**

**ORIENTADOR: MILTON CEZAR RIBEIRO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ecologia, Evolução e Biodiversidade, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO (Participação Presencial)  
Departamento de Biodiversidade / Unesp - IB Rio Claro

Documento assinado digitalmente  
 **MILTON CEZAR RIBEIRO**  
Data: 16/07/2024 15:47:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. MAURICIO DE ALMEIDA GOMES (Participação Virtual)  
Departamento de Ecologia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. GABRIEL LOURENÇO BREJÃO (Participação Presencial)  
Departamento de Biodiversidade / Unesp - IB Rio Claro

Documento assinado digitalmente  
 **GABRIEL LOURENCO BREJAO**  
Data: 16/07/2024 16:19:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Claro, 05 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente  
 **MAURICIO DE ALMEIDA GOMES**  
Data: 22/07/2024 09:21:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico esta tese à Lauren Ono (Japa) e Paulo Eduardo Ono Vancine, nada seria possível sem o suporte de vocês. Por isso eu os suporto tanto...

Dedico esta tese também à todas as pessoas que perderam suas vidas durante a pandemia de COVID-19. Muitas dessas pessoas poderiam estar vivas, não fosse a incompetência de alguns e/ou a escolha de outros.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Milton Cezar Ribeiro, também conhecido como Miltinho, pela orientação, confiança e amizade. Não poderia ter escolhido melhor minha orientação acadêmica, que se iniciou lá em 2011. Muito obrigado por me guiar durante todos esses anos, mesmo sumindo às vezes, quase um Mestre dos Magos...

Agradeço também às minhas orientações não formais, que apesar de não constarem formalmente aqui nesta tese, foram com certeza fundamentais para o seu desenvolvimento: Prof. Célio Haddad, Prof. Thiago Gonçalves-Souza, Prof. Diogo Provete, Prof. Carlos Grohmann e Prof. Guilherme Becker. Agradeço especialmente à Renata Muylaert e ao Bernardo Niebuhr, vocês foram essenciais para a realização desta tese, tanto na ajuda com as análises, quanto na redação dos manuscritos e ainda todas as conversas ao longo do caminho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho também teve apoio do processo nº 2022/01899-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Aos amigos Fernanda Añez e Rafael Fávero, por todo apoio e companhia. Romeu chegou chegando e vocês me deram a alegria de virar tio e padrinho de uma criança maravilhosa.

Agradeço aos meus pais e demais membros da minha família pelo amor e compreensão nos meses que fiquei distante, mas fazendo longas vídeo chamadas.

Agradeço ao pessoal do Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da Unesp Rio Claro pela ajuda e companheirismo todos esses anos.

Agradeço ao Prof. Mathias Pires da Unicamp e ao pessoal do laboratório que ele coordena (ainda não decidiram o nome), que gentilmente me receberam e me fizeram sentir parte do laboratório nos últimos meses da tese.

Agradeço também a todos os meus colegas de pós-graduação, especialmente: Pedro (C3), Eduardo, Yuri e Paulo. Agradeço ainda ao Rafael (Urucum) que me convenceu a começar este doutorado. Agradeço especialmente aos meus alunos orientados: Helena, Lucas e Bruno, aprendi muito orientando vocês.

Agradeço aos membros das bancas de avaliação de projeto, qualificação e defesa: Diogo, Samanta, Vitor, Alexandre, Marcos, Gabriel e Maurício. Suas contribuições e opiniões foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese.

Agradeço aos coautores dos artigos desta tese, sem vocês esses artigos não teriam sido terminados: Bernardo, Renata, Julia, Kauã, Paula, Danilo, Luana, Nayara, Vinicius, Rodrigo, Carlos, Victor, João e Mauro.

Agradeço ainda aos coautores e camaradas do livro “Análises Ecológicas no R”: Fernando, Thiago, Diogo e Gustavo. Entre 2020 e 2022, nossas conversas quase que diárias para desenvolver a escrita do livro foram parte essencial da minha formação acadêmica e pessoal. Decidi não acrescentar o livro como um capítulo na tese, mas ele com certeza deu mais trabalho que todos os outros capítulos.

Agradeço ao pessoal da Seleção Natural, João, Camila, Rodrigo e Andrezza. Devo muito a todos vocês pelo suporte e ótimas conversas e ideias.

Agradeço aos meus muito alunos e ouvintes que assistiram minhas aulas, cursos e palestras. Aprendi muito com vocês todos esses anos.

Agradeço também ao pessoal do GeoCast Brasil, centrado nas figuras do Felipe, Sadeck, Kyle e Narcélio. Aprendi muito durante nossos anos de interação no YouTube.

Agradeço ao Alexandre Beck (criador das tirinhas do Armandinho), que gentilmente me informou pela terceira vez a fonte e enviou-me a tirinha usada na epígrafe desta tese.

Esta tese iniciou-se durante a pandemia de COVID-19. Entre 2020 e 2022, eu integrei o comitê científico da Unesp para ajudar na interpretação dos dados. Durante esse tempo, tive o privilégio de interagir principalmente com os Profs. Eduardo e Rodrigo. Agradeço a eles pela oportunidade de contribuir, mesmo que timidamente, para ajudar a salvar vidas em Rio Claro.

Agradeço especialmente à Lauren (Japa) Ono, minha companheira e melhor amiga. Desde 2008 nos aturamos e nos suportamos; nada seria possível seu apoio... Te amo JAPA!

Agradeço especialmente ao Paulo Ono (Dudu), meu filho. Esta tese se iniciou num dos períodos mais conturbados da nossa recente história. Entre 2020 e 2022 fomos companheiros inseparáveis todos os dias. Obrigado por me aguentar todo esse tempo. Te amo JOVEM!



Fonte: BECK, 2018, p. 39.

## RESUMO

A perda e fragmentação de habitat devido a mudanças no uso e cobertura da terra por ações antrópicas são uma das principais causas da perda de biodiversidade em todo o mundo. Essas modificações envolvem perda, fragmentação e degradação do habitat. A atuação conjunta desses processos altera as características da paisagem, impactando múltiplos componentes da biodiversidade, como a diversidade taxonômica, genética, filogenética e funcional nas comunidades. Os anfíbios estão entre os organismos mais influenciados pelas características do ambiente, principalmente devido aos seus atributos morfológicos, fisiológicos e ecológicos intrínsecos. A Mata Atlântica contém mais de 720 espécies de anfíbios, das quais mais de 500 espécies (cerca de 70%) são endêmicas, sendo que 46 espécies se encontram em algum grau de ameaça de extinção, principalmente devido à agricultura e expansão urbana. Porém, apesar das intensas mudanças na cobertura e uso da terra na Mata Atlântica nos últimos 50 anos, poucos estudos analisaram a estrutura da paisagem num contexto espaço-temporal para grandes escalas de tempo para esse bioma. Tendo em vista essas questões, nesta tese, respondemos a duas questões principais, estruturada em quatro capítulos: (1) uma envolvendo a dinâmica espaço-temporal da estrutura da paisagem de todo o bioma da Mata Atlântica, e outra (2) em como estrutura da paisagem afeta as dimensões taxonômicas e funcionais de comunidades de anuros neste mesmo bioma. Relacionado a cada uma dessas questões, nós organizamos parte dos dados reunidos e tornamos os mesmos disponíveis para a toda a comunidade científica, por meio de dois data papers: (3) o primeiro com 500 rasters das informações de métricas de paisagem, topografia, hidrografia e antrópicas (ATLANTIC SPATIAL); e (4) o segundo com atributos funcionais morfológicos e ecológicos de parte da diversidade de anfíbios ao longo de toda a Mata Atlântica (ATLANTIC AMPHIBIAN TRAITS). O primeiro capítulo destacou a importância da legislação e da análise da dinâmica da paisagem para auxiliar nos futuros programas de conservação e restauração da biodiversidade na Mata Atlântica. O segundo capítulo gerou dados que permitem a integração eficiente de dados ambientais e de biodiversidade, assim como planejamento da paisagem, conservação da biodiversidade e programas de restauração florestal na Mata Atlântica. O terceiro capítulo demonstrou que a quantidade de habitat florestal, assim como a quantidade de habitat aquático e a conexão entre ambos são fundamentais para a manter múltiplos aspectos da diversidade de anuros na Mata Atlântica. E por fim, o quarto capítulo disponibiliza um valioso conjunto de dados para o avanço de pesquisas sobre os impactos antrópicos e das alterações climáticas na diversidade funcional dos anfíbios na Mata Atlântica.

**Palavras-chave:** Fragmentação de habitat. Desconexão de habitat. Mata Atlântica. Anfíbios. Diversidade Funcional.

## ABSTRACT

Habitat loss and fragmentation due to changes in land use and cover due to human actions are one of the main causes of biodiversity loss worldwide. These modifications involve habitat loss, fragmentation, and degradation. The joint action of these processes changes the characteristics of the landscape, impacting multiple components of biodiversity, such as taxonomic, genetic, phylogenetic, and functional diversity in communities. Amphibians are among the organisms most influenced by the characteristics of the environment, mainly due to their intrinsic morphological, physiological, and ecological attributes. The Atlantic Forest contains more than 720 species of amphibians, of which more than 500 species (around 70%) are endemic, with 46 species facing some degree of threat of extinction, mainly due to agriculture and urban expansion. However, despite the intense changes in land cover and use in the Atlantic Forest in the last 50 years, few studies have analyzed the landscape structure in a spatio-temporal context for large time scales for this biome. Bearing these questions in mind, in this thesis, we answer two main questions, structured in four chapters: (1) one involving the spatio-temporal dynamics of the landscape structure of the entire Atlantic Forest biome, and another (2) on how the structure of the landscape affects the taxonomic and functional dimensions of anuran communities in this same biome. Related to each of these questions, we organized part of the data gathered and made it available to the entire scientific community, through two data papers: (3) the first with 500 rasters of information on landscape metrics, topography, hydrography and anthropic (ATLANTIC SPATIAL); and (4) the second with morphological and ecological functional attributes of part of the diversity of amphibians throughout the entire Atlantic Forest (ATLANTIC AMPHIBIAN TRAITS). The first chapter highlighted the importance of legislation and analysis of landscape dynamics to assist in future biodiversity conservation and restoration programs in the Atlantic Forest. The second chapter generated data that allows the efficient integration of environmental and biodiversity data, as well as landscape planning, biodiversity conservation and forest restoration programs in the Atlantic Forest. The third chapter demonstrated that the amount of forest habitat, as well as the amount of aquatic habitat and the connection between them are fundamental to maintaining multiple aspects of anuran diversity in the Atlantic Forest. And finally, the fourth chapter provides a valuable set of data to advance research on the impacts of anthropic and climate change on the functional diversity of amphibians in the Atlantic Forest.

**Keywords:** Habitat fragmentation. Habitat split. Atlantic Forest. Amphibians. Functional Diversity.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	14
CAPÍTULO 1: The Atlantic Forests of South America: spatiotemporal distribution of vegetation and implications for conservation .....	28
Highlights .....	30
Abstract.....	31
1 Introduction .....	32
2 Methods .....	34
2.1 Study region .....	34
2.2 Mapping .....	35
2.3 Landscape metrics.....	36
3 Results .....	37
3.1 Forest and natural vegetation cover .....	37
3.2 Number of fragments and fragment size distribution .....	38
3.3 Core and edge area.....	42
3.4 Functional connectivity.....	43
3.5 Mean isolation.....	45
3.6 Protected areas and indigenous territories .....	45
4 Discussion.....	47
4.1 Main results.....	47
4.2 Forest and natural vegetation cover .....	48
4.3 Number of fragments and fragment size distribution .....	50
4.4 Core and edge area.....	51
4.5 Functional connectivity and mean isolation .....	52
4.6 Protected areas and indigenous territories .....	53
4.7 Conservation implications and applications .....	54

5 Conclusion.....	55
Funding.....	56
Acknowledgements .....	56
Data availability.....	57
References .....	57
Supplementary material.....	70
Data.....	70
Figures .....	71
Tables .....	90
References.....	97
CAPÍTULO 2: ATLANTIC SPATIAL: a data set of landscape, topographic, hydrological, and anthropic metrics for the Atlantic Forests of South America .....	98
Introduction .....	100
METADATA.....	103
Class I. Data set descriptors .....	103
A. Data set identity.....	103
B. Data set identification code .....	103
C. Data set description .....	103
D. Keywords.....	104
Class II. Research origin descriptors .....	105
A. Overall project description .....	105
B. Specific subproject description.....	106
Class III. Data set status and accessibility .....	138
A. Status .....	138
B. Accessibility .....	138
Class IV. Data structural descriptors .....	139
A. Data set file.....	140

B. Variable information.....	140
C. Data anomalies .....	142
Class V. Supplemental descriptors .....	142
A. Data acquisition.....	142
1. Data forms or acquisition methods.....	142
2. Location of completed data forms.....	142
3. Data entry verification procedures .....	142
B. Quality assurance/quality control procedures.....	142
C. Related materials .....	143
D. Computer programs and data-processing algorithms.....	143
E. Archiving .....	143
F. Publications and results.....	143
G. History of data set usage .....	143
CRedit authorship contribution statement.....	143
Acknowledgments .....	144
Literature Citations .....	144
CAPÍTULO 3: Landscape structure as the predictor of anuran taxonomic and functional diversity in a highly threatened hotspot.....	158
Abstract.....	160
Introduction .....	161
Methods .....	164
Amphibian communities.....	164
LULC and hydrological data .....	165
Covariates .....	167
Trait data .....	167
Taxonomic and functional diversities metrics .....	169
Data analyses .....	170

Results .....	171
Taxonomic diversity.....	171
Functional diversity .....	173
Discussion.....	175
Data availability.....	181
References .....	181
Acknowledgements .....	190
Funding.....	190
Contributions .....	190
Supplementary Information.....	192
Figures .....	192
Tables .....	199
<b>CAPÍTULO 4: ATLANTIC AMPHIBIAN TRAITS: a data set of morphological and ecological traits of amphibians in the Atlantic Forest .....</b>	<b>202</b>
Introduction .....	204
<b>METADATA.....</b>	<b>207</b>
Class I. Data set descriptors .....	207
A. Data set identity.....	207
B. Data set identification code .....	207
C. Data set description .....	207
D. Keywords.....	209
E. Description.....	209
Class II. Research origin descriptors .....	209
A. Overall project description .....	209
B. Specific subproject description.....	210
Class III. Data set status and accessibility .....	223
A. Status .....	223

B. Accessibility .....	223
Class IV. Data structural descriptors .....	224
A. Data set file.....	224
B. Variable information.....	224
C. Data anomalies .....	230
Class V. Supplemental descriptors .....	230
F. Publications and results.....	230
G. History of data set usage .....	230
CRedit authorship contribution statement.....	230
Acknowledgments .....	231
Literature cited.....	232
CONCLUSÃO.....	243

## INTRODUÇÃO GERAL

A perda e fragmentação de habitat devido a mudanças no uso e cobertura da terra por ações humanas são uma das principais causas da perda de biodiversidade em todo o mundo (CHASE et al., 2020; DAVISON; RAHBK; MORUETA-HOLME, 2021). Essas modificações envolvem a redução da quantidade total de habitat (perda de habitat), subdivisão do habitat em manchas (fragmentação do habitat), alterações na qualidade do habitat (degradação do habitat) e a introdução de outra classe de cobertura da terra (geralmente antrópica) que substitui a habitat perdido (BANKS-LEITE et al., 2020; HADDAD et al., 2015). A atuação conjunta desses processos gera efeitos diretos e indiretos sobre a estrutura da paisagem, alterando sua composição e configuração, reduzindo a área de habitat e aumentando o isolamento e os efeitos de borda sobre a biodiversidade (FAHRIG, 2003, 2017). Em conjunto, esses efeitos alteraram as características da paisagem, como a quantidade/qualidade do habitat e a permeabilidade para as espécies, o que pode impactar múltiplos componentes da biodiversidade, como a diversidade taxonômica, genética, filogenética e funcional nas comunidades (FAHRIG, 2017; FAHRIG et al., 2019; FLETCHER et al., 2018; MILLER-RUSHING et al., 2019).

Há diferentes formas de se mensurar e analisar a diversidade nas comunidades, como as dimensões taxonômica, funcional e filogenética (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009; CISNEROS et al., 2014; STEVENS; TELLO, 2014). A dimensão taxonômica é mensurada por índices que consideram o número e/ou composição de espécies através da identificação taxonômica das mesmas, avaliando sua incidência ou abundância (MAGURRAN; MCGILL, 2011). A dimensão funcional reflete a variabilidade dos atributos ecológicos das espécies (e.g. morfologia, fisiologia ou história de vida) em relação ao funcionamento dos ecossistemas (PETCHEY; GASTON, 2006). Já a dimensão filogenética representa as diferenças evolutivas entre as espécies desde a divergência de um ancestral comum (FAITH, 1992), refletindo as diferenças ecológicas e fenotípicas filogeneticamente conservadas entre as espécies (CAVENDER-BARES et al., 2009). A análise simultânea dessas dimensões da biodiversidade ao longo dos gradientes ambientais fornece informações fundamentais sobre os mecanismos ecológicos e evolutivos que estruturam os diferentes componentes da diversidade, aumentando o espectro de entendimento do mesmo nas comunidades (CISNEROS et al., 2014; MOUILLOT et al., 2013).

Embora a maioria dos estudos tenha demonstrado os efeitos das modificações na paisagem sobre a diversidade taxonômica (BANKS-LEITE et al. 2014; PALMEIRIM et al.

2019; PÜTTKER et al. 2020; RIOS et al. 2021b), referindo-se ao número ou à composição de espécies em uma comunidade ecológica, uma ampla gama de estudos também demonstrou esses efeitos na redução da diversidade funcional (FLYNN et al. 2009; NOWAKOWSKI et al. 2017; LIU et al. 2018; HATFIELD et al. 2018; SUÁREZ-CASTRO et al. 2020). Por exemplo, a quantidade de habitat, o tamanho dos fragmentos e a heterogeneidade da paisagem foram os principais preditores da diversidade funcional de aves com base na morfologia (por exemplo, massa corporal, índice de asa-mão e largura do bico), dieta, comportamento de forrageamento, reprodução, migração e período de atividade (DE COSTER et al. 2015; BOVO et al. 2018; MATUOKA et al. 2020; BONFIM et al. 2021; FUZESSY et al. 2024; MORENO et al. 2024). O tamanho dos fragmentos e a quantidade de habitat explicaram a diversidade funcional de mamíferos pequenos, médios e grandes em termos de morfologia (por exemplo, massa corporal, comprimento da cauda e forma de locomoção), comportamento, dieta e sensibilidade ambiental (MAGIOLI et al. 2015, 2021; BOVENDORP et al. 2019; RIOS et al. 2021a). Além disso, a quantidade de habitat e os efeitos de borda explicaram a redução da diversidade funcional de anuros ligada aos traços de habitat e reprodução (ALMEIDA-GOMES; ROCHA 2015; FERREIRA et al. 2016; ALMEIDA-GOMES et al. 2019).

Os anfíbios estão entre os organismos mais influenciados pelas características do ambiente, principalmente devido aos seus atributos morfológicos, fisiológicos e ecológicos particulares (MORENO-RUEDA; COMAS, 2023; POUGH et al., 2015). Por exemplo, os anfíbios geralmente têm tamanho corporal pequeno e capacidade limitada de dispersão e locomoção, e são dependentes da respiração cutânea, que geralmente requer alta permeabilidade da pele, tornando-os sensíveis a pequenas mudanças nas condições microclimáticas (MORENO-RUEDA; COMAS, 2023; WELLS, 2007). A maioria das espécies de anfíbios possui ciclo de vida bifásico (larval-aquático e adulto-terrestre), com alta dependência de umidade e/ou disponibilidade de água para sua reprodução (DUELLMAN; TRUEB, 1994). Além disso, por habitarem a interface de ambientes aquáticos e terrestres, os anfíbios tiveram diversas formas de reprodução selecionados ao longo da sua evolução, explicando a alta divergência e diversidade dos modos reprodutivos (CRUMP, 2015; HADDAD; PRADO, 2005; NUNES-DE-ALMEIDA; HADDAD; TOLEDO, 2021). Essas especificidades de habitat envolvem quase sempre a transição entre diferentes tipos de habitat e uma elevada dependência de micro-habitat específicos para reprodução (BECKER et al., 2007, 2010a). Em decorrência dessas particularidades, as modificações da paisagem, principalmente a perda de habitat, são apontadas como uma das principais causas para o

declínio mundial das populações de anfíbios (CUSHMAN, 2006; GRANT; MILLER; MUTHS, 2020; GREEN et al., 2020; LUEDTKE et al., 2023).

A Mata Atlântica contém mais de 720 espécies de anfíbios, das quais mais de 500 espécies (cerca de 70%) são endêmicas (FIGUEIREDO et al., 2021), sendo que 46 espécies se encontram em algum grau de ameaça de extinção, principalmente devido à agricultura e expansão urbana (ANUNCIACÃO et al., 2024). Porém, atualmente a Mata Atlântica apresenta 23% de sua extensão original de floresta, com 97% de fragmentos <50 ha, altamente isolados (~800 m) e com alto efeito de estradas e ferrovias (VANCINE et al., 2024). Isso tem resultados em uma grande perda de biodiversidade e de biomassa (DE LIMA et al., 2020, 2024), e apesar da estabilidade e do aumento da cobertura florestal, as florestas antigas estão sendo substituídas por florestas jovens, o que pode estar causando uma grande perda na qualidade do habitat (DIAS; SILVEIRA; FRANCISCO, 2023; PIFFER et al., 2022; ROSA et al., 2021; VANCINE et al., 2024). Embora a diversidade e o endemismo dos anfíbios sejam elevados, o elevado grau de perda, fragmentação e conversão de habitat e micro-habitat sugere que uma parcela significativa dessa diversidade está em vias de ser extirpada da Mata Atlântica (ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2014; HADDAD; PRADO, 2005). Este alto nível de perda e fragmentação de habitat pode ser o mecanismo direto ou indireto por trás do declínio populacional das espécies (ANUNCIACÃO et al., 2024; BECKER et al., 2010a; TOLEDO et al., 2023), o que pode comprometer o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e terrestres (NOWAKOWSKI et al., 2017; WHILES et al., 2006) ao longo da Mata Atlântica, uma vez que os anfíbios tendem a ser ótimos bioindicadores (VENTURINO et al., 2003).

Os anfíbios possuem vários modos reprodutivos descritos mundialmente (NUNES-DE-ALMEIDA; HADDAD; TOLEDO, 2021), a maioria deles pode ser encontrada na Mata Atlântica, tornando este um aspecto fundamental da história de vida e da diversidade dessas espécies neste bioma (HADDAD; PRADO, 2005). Essa grande diversidade de guildas reprodutivas tem respostas diferentes às modificações da paisagem (ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2015; FERREIRA; BEARD; CRUMP, 2016). Espécies com reprodução aquática, que possuem fase larval aquática (girinos) e fase adulta terrestre dependente de florestas precisam migrar entre esses habitats em diversos momentos de sua vida, e assim são mais afetadas pela desconexão de habitat (Habitat Split) e pela distância de conexão (Split Distance) (BECKER et al., 2007, 2010a, 2010b; FONSECA et al., 2013; LION; GARDA; FONSECA, 2014). Guildas reprodutivas que não possuem estágio larval ou que os adultos não migram entre diferentes habitats, tendem a ser mais afetadas pelo tamanho da mancha e/ou efeitos de borda, como espécies que se reproduzem em bromélias ou diretamente na

serapilheira (DIXO; MARTINS, 2008; DIXO; METZGER, 2010; FERREIRA; BEARD; CRUMP, 2016). Além disso, a desconexão de habitat possui efeitos sobre a incidência de doenças infecciosas, como o fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BECKER et al., 2023). Dessa forma, para entender como as comunidades podem estar sendo estruturadas em paisagens fragmentadas, é fundamental considerar as diferentes respostas das guildas reprodutivas às diferentes métricas da paisagem (ALMEIDA-GOMES et al., 2022; ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2014, 2015; TODD et al., 2009; WERNER et al., 2007).

Atualmente, as principais ameaças à diversidade de anfíbios são as conversões da cobertura e uso da terra, mudanças climáticas e doenças infecciosas (HOF et al., 2011), com perdas de diversidade funcional e filogenética em comunidades de anfíbios em todo o mundo (NOWAKOWSKI et al., 2017, 2018). Na Mata Atlântica, diversos estudos têm demonstrado os efeitos negativos das modificações das paisagens sobre a diversidade de comunidades de anfíbios em escala local. Por exemplo, diversos temas têm sido abordados nesse sentido, como a composição das comunidades (ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2014; ALMEIDA-GOMES; ROCHA; VIEIRA, 2016; FERREIRA; BEARD; CRUMP, 2016), diversidade funcional (ALMEIDA-GOMES et al., 2019; ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2015), diversidade genética (DIXO et al., 2009) e desconexão de habitat (BECKER et al., 2007, 2010b; LION; GARDA; FONSECA, 2014). Apesar desses trabalhos, ainda há uma lacuna de conhecimento em entender como a estrutura da paisagem funciona como preditor da estruturação das comunidades de anfíbios em todo o bioma, analisando as diferentes dimensões da diversidade, como, por exemplo, taxonômica, funcional e filogenética. Esses resultados podem ser usados para proposição e espacialização de medidas de conservação das espécies de anfíbios no bioma.

Apesar das intensas mudanças na cobertura e uso da terra na Mata Atlântica nos últimos 50 anos (DEAN, 1996; LIRA; PORTELA; TAMBOSI, 2021; SOLÓRZANO; BRASIL; DE OLIVEIRA, 2021), poucos estudos analisaram a estrutura da paisagem num contexto espaço-temporal para grandes escalas de tempo para esse bioma. No estudo mais abrangente até então, Ribeiro et al. (2009) mostraram que restava apenas entre 11 e 16% da cobertura florestal em 2005, da qual 83% estava concentrada em fragmentos menores que 50 hectares, e metade de todas as florestas estavam a menos de 100 m de suas bordas. Adicionalmente, Tabarelli et al. (2010) e Ribeiro et al. (2011) mostraram que uma grande proporção de florestas permanecia em altitudes elevadas (>1600 m). Com base em dados de satélite em escala mais precisa (resolução espacial de 5 m), Rezende et al. (2018) estimou 28% da cobertura vegetal na Mata Atlântica. Em estudos mais recentes, utilizando dados do

MapBiomas (SOUZA et al., 2020), Bicudo da Silva et al. (2020) mostraram que a composição da paisagem não mudou substancialmente entre 1985 e 2018, e que a perda em áreas de vegetação montanhosa foi menor do que em altitudes mais baixas. Além disso, Rosa et al. (2021) mostraram que a relativa estabilidade temporal da cobertura florestal nativa da Mata Atlântica (28 Mha) nos últimos anos foi devida à substituição de florestas nativas antigas em terrenos mais planos por florestas mais jovens em áreas agrícolas marginais, resultando em maior isolamento entre fragmentos florestais.

Mesmo com esses estudos, existia ainda uma grande necessidade de uma compreensão refinada de como a estrutura da paisagem variou ao longo do tempo na Mata Atlântica. Atualmente, iniciativas brasileiras como o MapBiomas vêm mapeando o uso e a mudança de cobertura da terra com ampla cobertura temática, alta resolução espaço-temporal e classificação padronizada (SOUZA et al., 2020). Isso tem permitido o cálculo e comparação de métricas de paisagem para grandes extensões territoriais e períodos para compreender a dinâmica da paisagem de grandes regiões e biomas inteiros, como a Mata Atlântica e Cerrado (BICUDO DA SILVA et al., 2020; POMPEU; ASSIS; OMETTO, 2023; ROSA et al., 2021; VANCINE et al., 2023, 2024). Além disso, a Mata Atlântica tem uma elevada densidade de infraestruturas lineares (e.g., rodovias, ferrovias, linhas de transmissão de energia e oleodutos e gasodutos) devido à sua elevada (e crescente) população humana e ao desenvolvimento industrial. Essas infraestruturas lineares têm um impacto severo na conectividade da vegetação natural e sobre a biodiversidade (por exemplo, através do desmatamento, perturbações sonoras, poluição e atropelamentos) (CASSIMIRO; RIBEIRO; ASSIS, 2023; MARTINEZ PARDO et al., 2023), mas esses efeitos nunca foram analisados no contexto da estrutura da paisagem do bioma todo.

Tendo em vista todas essas questões, nesta tese, respondemos a duas questões principais: (1) uma envolvendo a dinâmica espaço-temporal da estrutura da paisagem de todo o bioma da Mata Atlântica, e outra (2) em como estrutura da paisagem afeta as dimensões taxonômicas e funcionais de comunidades de anuros neste mesmo bioma. Relacionado a cada uma dessas questões, nós organizamos parte dos dados reunidos e tornamos os mesmos disponíveis para a toda a comunidade científica, por meio de dois data papers: (1) o primeiro com 500 rasters das informações de métricas de paisagem, topografia, hidrografia e antrópicas (ATLANTIC SPATIAL); e (2) o segundo com atributos funcionais morfológicos e ecológicos de parte da diversidade de anfíbios ao longo de toda a Mata Atlântica (ATLANTIC AMPHIBIAN TRAITS).

Dessa forma, esta tese se estrutura em quatro capítulos:

**Capítulo 1:** *The Atlantic Forests of South America: spatiotemporal distribution of vegetation and implications for conservation*

Analisamos métricas de paisagem da vegetação florestal (VF), floresta e outras vegetações naturais (VN) e a sensibilidade das métricas a infraestruturas lineares (rodovias e ferrovias) entre 1986 e 2020 para toda a Mata Atlântica. Em 2020, os remanescentes de Mata Atlântica compreendiam 22,9% de VF e 36,3% de VN, extensão que diminuiu 2,4% e 3,6% desde 1986, respectivamente. As infraestruturas lineares afetaram principalmente os maiores fragmentos (>500.000 ha), reduzindo o seu tamanho entre 56% e 94%. O período anterior a 2005 foi caracterizado por perda de VN e VN (3% e 3,43%) e diminuição do número de fragmentos de VF e VN (8,6% e 8,1%). Em contrapartida, após 2005, a vegetação se estabilizou, com recuperação de cerca de 1 Mha de VF (0,6%) e aumento no número de fragmentos, em parte devido a políticas ambientais. Contudo, a Mata Atlântica ainda é um domínio altamente fragmentado: 97% dos fragmentos de vegetação são pequenos (<50 ha), com tamanho médio de fragmento entre 16,3 e 25,5 ha; 50-60% da vegetação está a <90 m de suas bordas, e o isolamento entre os fragmentos é alto (250-830 m). As áreas protegidas e territórios indígenas cobrem apenas 10% da vegetação da Mata Atlântica, e a maioria da vegetação se estende por mais de 10 km nessas áreas. Nosso trabalho destaca a importância da legislação e da análise da dinâmica da paisagem para auxiliar nos futuros programas de conservação e restauração da biodiversidade na Mata Atlântica.

**Capítulo 2:** *ATLANTIC SPATIAL: a data set of landscape, topographic, hydrological, and anthropic metrics for the Atlantic Forests of South America*

Disponibilizamos um conjunto de dados de informações geoespaciais integradas e em escala precisa (resolução = 30 m) para toda a extensão da Mata Atlântica para o ano de 2020. Esse conjunto de dados é composto por 500 rasters com métricas de paisagem, topografia, hidrografia e antrópicas, e por um vetor de polígono de delimitação da Mata Atlântica, disponível através do pacote R atlanticr (<https://mauriciovancine.github.io/atlanticr>), que desenvolvemos para facilitar a organização e aquisição dos dados. Esse conjunto de dados permite a integração eficiente de dados ambientais e de biodiversidade para a Mata Atlântica em futuros estudos ecológicos, e esperamos que sejam uma importante referência e fonte de

dados para planejamento da paisagem, conservação da biodiversidade e programas de restauração florestal.

**Capítulo 3:** *Landscape structure as the predictor of anuran taxonomic and functional diversity in a highly threatened hotspot*

Avaliamos o efeito da estrutura da paisagem na diversidade taxonômica e funcional de anuros na Mata Atlântica brasileira. Nossa hipótese foi de que a desconexão de habitat (descontinuidade entre habitat terrestres e aquáticos) seria o principal preditor das medidas de diversidade de anuros. Utilizamos 324 comunidades com 274 espécies de anuros e 12 atributos funcionais para medir a diversidade taxonômica (número de espécies com reprodução aquática e reprodução terrestre) e diversidade funcional (riqueza, regularidade e divergência funcional). Nossos resultados mostraram que a perda de habitat foi o principal preditor da diversidade taxonômica e funcional, embora a desconexão do habitat também tenha sido importante para pelo menos um dos componentes da diversidade funcional. Concluimos que a quantidade de habitat florestal, assim como a quantidade de habitat aquático e a manutenção da conexão entre ambos são fundamentais para a manter múltiplos aspectos da diversidade de anuros na Mata Atlântica.

**Capítulo 4:** *ATLANTIC AMPHIBIAN TRAITS: a data set of morphological and ecological traits of amphibians in the Atlantic Forest*

Reunimos um conjunto de dados que inclui características morfológicas e ecológicas tanto ao nível individual quanto de espécie. No nível individual, medimos 2.489 indivíduos representando 357 espécies de anuros em 17 famílias (50% da diversidade de anfíbios da FA), provenientes de espécimes da coleção herpetológica CFBH (Célio Fernando Baptista Haddad). Medimos 12 características morfológicas contínuas, incluindo tamanho do corpo, formato da cabeça e membros locomotores relevantes para características de história natural, alimentação, níveis tróficos, locomoção, migração e dispersão. O conjunto de dados ao nível de espécie compreende 17 características ecológicas (relacionadas ao habitat, reprodução e características tróficas) de 533 espécies de anfíbios em 21 famílias (74% da diversidade de anfíbios da AF). Este conjunto de dados é um recurso valioso para o avanço das pesquisas sobre os impactos antrópicos e das alterações climáticas na diversidade funcional dos anfíbios nos ecossistemas da Mata Atlântica.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-GOMES, M. et al. Habitat amount drives the functional diversity and nestedness of anuran communities in an Atlantic Forest fragmented landscape. **Biotropica**, v. 51, n. 6, p. 874–884, nov. 2019.
- ALMEIDA-GOMES, M. et al. Random placement models explain species richness and dissimilarity of frog assemblages within Atlantic Forest fragments. **Journal of Animal Ecology**, v. 91, n. 3, p. 618–629, mar. 2022.
- ALMEIDA-GOMES, M.; ROCHA, C. F. D. Landscape connectivity may explain anuran species distribution in an Atlantic forest fragmented area. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 1, p. 29–40, jan. 2014.
- ALMEIDA-GOMES, M.; ROCHA, C. F. D. Habitat Loss Reduces the Diversity of Frog Reproductive Modes in an Atlantic Forest Fragmented Landscape. **Biotropica**, v. 47, n. 1, p. 113–118, jan. 2015.
- ALMEIDA-GOMES, M.; ROCHA, C. F. D.; VIEIRA, M. V. Local and Landscape Factors Driving the Structure of Tropical Anuran Communities: Do Ephemeral Ponds have a Nested Pattern? **Biotropica**, v. 48, n. 3, p. 365–372, maio 2016.
- ANUNCIAÇÃO, P. R. et al. Amphibian conservation status in Brazil: Spatial patterns, threats, and challenges. **Journal for Nature Conservation**, v. 79, p. 126611, 29 mar. 2024.
- BANKS-LEITE, C. et al. Countering the effects of habitat loss, fragmentation, and degradation through habitat restoration. **One Earth**, v. 3, n. 6, p. 672–676, 18 dez. 2020.
- BANKS-LEITE, C. et al. Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot. **Science**, v. 345, n. 6200, p. 1041–1045, 29 ago. 2014.
- BECK, A. **Armandinho Dez**. Florianópolis: edição do autor, 2018.
- BECKER, C. G. et al. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. **Science**, v. 318, n. 5857, p. 1775–1777, 14 dez. 2007.
- BECKER, C. G. et al. Integrating species life-history traits and patterns of deforestation in amphibian conservation planning: Integrating life-history and landscape configuration in amphibian conservation. **Diversity and Distributions**, v. 16, n. 1, p. 10–19, jan. 2010a.
- BECKER, C. G. et al. Habitat Split as a Cause of Local Population Declines of Amphibians with Aquatic Larvae. **Conservation Biology**, v. 24, n. 1, p. 287–294, fev. 2010b.
- BECKER, C. G. et al. Habitat split as a driver of disease in amphibians. **Biological Reviews**, v. 98, n. 3, p. 727–746, jun. 2023.

- BICUDO DA SILVA, R. F. et al. Three decades of land-use and land-cover change in mountain regions of the Brazilian Atlantic Forest. **Landscape and Urban Planning**, v. 204, p. 103948, 1 dez. 2020.
- BONFIM, F. C. G.; DODONOV, P.; CAZETTA, E. Landscape composition is the major driver of the taxonomic and functional diversity of tropical frugivorous birds. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 9, p. 2535–2547, set. 2021.
- BOVENDORP, R. S. et al. Defaunation and fragmentation erode small mammal diversity dimensions in tropical forests. **Ecography**, v. 42, n. 1, p. 23–35, jan. 2019.
- BOVO, A. A. A. et al. Habitat fragmentation narrows the distribution of avian functional traits associated with seed dispersal in tropical forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 2, p. 90–96, 1 abr. 2018.
- CASSIMIRO, I. M. F.; RIBEIRO, M. C.; ASSIS, J. C. How did the animal come to cross the road? Drawing insights on animal movement from existing roadkill data and expert knowledge. **Landscape Ecology**, v. 38, p. 2035–2051, 20 maio 2023.
- CAVENDER-BARES, J. et al. The merging of community ecology and phylogenetic biology. **Ecology Letters**, v. 12, n. 7, p. 693–715, jul. 2009.
- CHASE, J. M. et al. Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. **Nature**, v. 584, n. 7820, p. 238–243, 13 ago. 2020.
- CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 93–103, set. 2009.
- CISNEROS, L. M. et al. Multiple dimensions of bat biodiversity along an extensive tropical elevational gradient. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 5, p. 1124–1136, 2014.
- CRUMP, M. L. Anuran Reproductive Modes: Evolving Perspectives. **Journal of Herpetology**, v. 49, n. 1, p. 1–16, mar. 2015.
- CUSHMAN, S. A. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. **Biological Conservation**, v. 128, n. 2, p. 231–240, mar. 2006.
- DAVISON, C. W.; RAHBEK, C.; MORUETA-HOLME, N. Land-use change and biodiversity: Challenges for assembling evidence on the greatest threat to nature. **Global Change Biology**, v. 27, n. 21, p. 5414–5429, nov. 2021.
- DE COSTER, G.; BANKS-LEITE, C.; METZGER, J. P. Atlantic forest bird communities provide different but not fewer functions after habitat loss. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1811, p. 20142844, 22 jul. 2015.

- DE LIMA, R. A. F. et al. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 6347, dez. 2020.
- DE LIMA, R. A. F. et al. Comprehensive conservation assessments reveal high extinction risks across Atlantic Forest trees. **Science**, v. 383, n. 6679, p. 219–225, 12 jan. 2024.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da mata atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DIAS, T. DA C.; SILVEIRA, L. F.; FRANCISCO, M. R. Spatiotemporal dynamics reveals forest rejuvenation, fragmentation, and edge effects in an Atlantic Forest hotspot, the Pernambuco Endemism Center, northeastern Brazil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 9, p. e0291234, de set. de 2023.
- DIXO, M. et al. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 8, p. 1560–1569, ago. 2009.
- DIXO, M.; MARTINS, M. Are leaf-litter frogs and lizards affected by edge effects due to forest fragmentation in Brazilian Atlantic forest? **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, n. 05, p. 551–554, set. 2008.
- DIXO, M.; METZGER, J. P. The matrix-tolerance hypothesis: an empirical test with frogs in the Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 11, p. 3059–3071, out. 2010.
- DUELLEMAN, W. E.; TRUEB, L. **Biology of amphibians**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1994.
- FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487–515, nov. 2003.
- FAHRIG, L. Ecological responses to habitat fragmentation per se. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, n. 1, p. 1–23, 2 nov. 2017.
- FAHRIG, L. et al. Is habitat fragmentation bad for biodiversity? **Biological Conservation**, v. 230, p. 179–186, fev. 2019.
- FAITH, D. P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. **Biological Conservation**, v. 61, n. 1, p. 1–10, 1 jan. 1992.
- FERREIRA, R. B.; BEARD, K. H.; CRUMP, M. L. Breeding Guild Determines Frog Distributions in Response to Edge Effects and Habitat Conversion in the Brazil's Atlantic Forest. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0156781, 7 jun. 2016.
- FIGUEIREDO, M. DE S. L. et al. Tetrapod Diversity in the Atlantic Forest: Maps and Gaps. Em: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History,**

**Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest.** Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 185–204.

FLETCHER, R. J. et al. Is habitat fragmentation good for biodiversity? **Biological Conservation**, v. 226, p. 9–15, out. 2018.

FLYNN, D. F. B. et al. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. **Ecology Letters**, v. 12, n. 1, p. 22–33, jan. 2009.

FONSECA, C. R. et al. Modeling Habitat Split: Landscape and Life History Traits Determine Amphibian Extinction Thresholds. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, p. e66806, 20 jun. 2013.

FUZESSY, L. et al. Loss of species and functions in a deforested megadiverse tropical forest. **Conservation Biology**, v. n/a, n. n/a, p. e14250, 2024.

GRANT, E. H. C.; MILLER, D. A. W.; MUTHS, E. A Synthesis of Evidence of Drivers of Amphibian Declines. **Herpetologica**, v. 76, n. 2, p. 101–107, jun. 2020.

GREEN, D. M. et al. Amphibian Population Declines: 30 Years of Progress in Confronting a Complex Problem. **Herpetologica**, v. 76, n. 2, p. 97, 23 jun. 2020.

HADDAD, C. F. B.; PRADO, C. P. A. Reproductive Modes in Frogs and Their Unexpected Diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience**, v. 55, n. 3, p. 207, 2005.

HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. e1500052, mar. 2015.

HATFIELD, J. H.; HARRISON, M. L. K.; BANKS-LEITE, C. Functional Diversity Metrics: How They Are Affected by Landscape Change and How They Represent Ecosystem Functioning in the Tropics. **Current Landscape Ecology Reports**, v. 3, n. 2, p. 35–42, jun. 2018.

HOF, C. et al. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. **Nature**, v. 480, n. 7378, p. 516–519, dez. 2011.

LION, M. B.; GARDA, A. A.; FONSECA, C. R. Split distance: a key landscape metric shaping amphibian populations and communities in forest fragments. **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 11, p. 1245–1257, nov. 2014.

LIRA, P. K.; PORTELA, R. DE C. Q.; TAMBOSI, L. R. Land-Cover Changes and an Uncertain Future: Will the Brazilian Atlantic Forest Lose the Chance to Become a Hopespot? Em: MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest.** Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 233–251.

LIU, J. et al. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship? **Landscape Ecology**, v. 33, n. 3, p. 341–352, 1 mar. 2018.

- LUEDTKE, J. A. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. **Nature**, v. 622, p. 308–314, 4 out. 2023.
- MAGIOLI, M. et al. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest. **Animal Conservation**, v. 18, n. 6, p. 499–511, 2015.
- MAGIOLI, M. et al. Land-use changes lead to functional loss of terrestrial mammals in a Neotropical rainforest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 161–170, 1 abr. 2021.
- MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J. **Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment**. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- MARTINEZ PARDO, J. et al. Much more than forest loss: four decades of habitat connectivity decline for Atlantic Forest jaguars. **Landscape Ecology**, v. 38, n. 1, p. 41–57, jan. 2023.
- MATUOKA, M. A.; BENCHIMOL, M.; MORANTE-FILHO, J. C. Tropical forest loss drives divergent patterns in functional diversity of forest and non-forest birds. **Biotropica**, v. 52, n. 4, p. 738–748, jul. 2020.
- MILLER-RUSHING, A. J. et al. How does habitat fragmentation affect biodiversity? A controversial question at the core of conservation biology. **Biological Conservation**, v. 232, p. 271–273, 1 abr. 2019.
- MORENO-RUEDA, G.; COMAS, M. **Evolutionary Ecology of Amphibians**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023.
- MORENO, D. J.; RIBEIRO, M. C.; PIRATELLI, A. J. Landscape heterogeneity increases bird functional diversity within Neotropical vineyards. **Biotropica**, v. 56, n. 3, p. e13328, 2024.
- MOUILLOT, D. et al. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 3, p. 167–177, 1 mar. 2013.
- NOWAKOWSKI, A. J. et al. Amphibian sensitivity to habitat modification is associated with population trends and species traits. **Global Ecology and Biogeography**, v. 26, n. 6, p. 700–712, 2017.
- NOWAKOWSKI, A. J. et al. Phylogenetic homogenization of amphibian assemblages in human-altered habitats across the globe. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 15, p. 3454–3462, 10 abr. 2018.
- NUNES-DE-ALMEIDA, C. H. L.; HADDAD, C. F. B.; TOLEDO, L. F. A revised classification of the amphibian reproductive modes. **Salandra**, v. 57, n. 3, p. 413–427, 2021.

- PALMEIRIM, A. F. et al. When does habitat fragmentation matter? A biome-wide analysis of small mammals in the Atlantic Forest. **Journal of Biogeography**, v. 46, n. 12, p. 2811–2825, dez. 2019.
- PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741–758, 2006.
- PIFFER, P. R. et al. Turnover rates of regenerated forests challenge restoration efforts in the Brazilian Atlantic forest. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, p. 045009, mar. 2022.
- POMPEU, J.; ASSIS, T. O.; OMETTO, J. P. Landscape changes in the Cerrado: Challenges of land clearing, fragmentation and land tenure for biological conservation. **Science of The Total Environment**, v. 906, p. 167581, 7 out. 2023.
- POUGH, F. H. et al. **Herpetology**. 4a edição ed. Sunderland, Massachusetts, USA: Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press, 2015.
- PÜTTKER, T. et al. Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. **Biological Conservation**, v. 241, p. 108368, jan. 2020.
- REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 1 out. 2018.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. Em: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.). **Biodiversity Hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 405–434.
- RIOS, E. et al. Testing the habitat amount hypothesis and fragmentation effects for medium- and large-sized mammals in a biodiversity hotspot. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 5, p. 1311–1323, maio 2021a.
- RIOS, E. et al. Spatial predictors and species' traits: evaluating what really matters for medium-sized and large mammals in the Atlantic Forest, Brazil. **Mammal Review**, p. mam.12276, 12 nov. 2021b.
- ROSA, M. R. et al. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science Advances**, v. 7, n. 4, p. eabc4547, jan. 2021.
- SOLÓRZANO, A.; BRASIL, L. S. C. DE A.; DE OLIVEIRA, R. R. The Atlantic Forest Ecological History: From Pre-colonial Times to the Anthropocene. Em: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and**

- Opportunities of the Mega-diverse Forest.** Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 25–44.
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 25 ago. 2020.
- STEVENS, R. D.; TELLO, J. S. On the measurement of dimensionality of biodiversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 10, p. 1115–1125, 2014.
- SUÁREZ-CASTRO, A. F. et al. Correlations and variance among species traits explain contrasting impacts of fragmentation and habitat loss on functional diversity. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 10, p. 2239–2253, 1 out. 2020.
- TABARELLI, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2328–2340, out. 2010.
- TODD, B. D. et al. Effects of forest removal on amphibian migrations: implications for habitat and landscape connectivity. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 3, p. 554–561, jun. 2009.
- TOLEDO, L. F. et al. A retrospective overview of amphibian declines in Brazil’s Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 277, p. 109845, 1 jan. 2023.
- VANCINE, M. H. et al. ATLANTIC SPATIAL: a dataset of landscape, topographic, hydrologic and anthropogenic metrics for the Atlantic Forest. **EcoEvoRxiv**, 16 nov. 2023. Disponível em: <<https://ecoevorxiv.org/repository/view/6076>>. Acesso em: 11 dez. 2023
- VANCINE, M. H. et al. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, mar. 2024.
- VENTURINO, A. et al. Biomarkers of effect in toads and frogs. **Biomarkers**, v. 8, n. 3–4, p. 167–186, 1 jan. 2003.
- WELLS, K. D. **The ecology & behavior of amphibians.** Chicago: The University of Chicago Press, 2007.
- WERNER, E. E. et al. Turnover in an amphibian metacommunity: the role of local and regional factors. **Oikos**, v. 116, n. 10, p. 1713–1725, out. 2007.
- WHILES, M. R. et al. The effects of amphibian population declines on the structure and function of Neotropical stream ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, n. 1, p. 27–34, 2006.

## CONCLUSÃO

Esta tese buscou responder a duas questões principais: (1) como ocorreu a dinâmica espaço-temporal da estrutura da paisagem de todo o bioma da Mata Atlântica, e (2) como a estrutura da paisagem afeta as dimensões da diversidade taxonômica e funcional de comunidades de anuros neste mesmo bioma. Nossos resultados trouxeram uma gama de novas perspectivas e entendimento para ações de conservação tanto para a Mata Atlântica como um todo, como para os anfíbios. Além disso, com a reunião e disponibilização dos dados geoespaciais e de atributos funcionais de anfíbios, os resultados ainda podem ser utilizados para outros estudos que busquem entender novos questionamentos acerca de como a estrutura da paisagem e a diversidade de anuros ocorrem na Mata Atlântica. Resumindo, nossos resultados demonstraram que:

- Nos últimos 34 anos, houve uma perda considerável de vegetação na Mata Atlântica até meados de 2005. Depois desta data, a vegetação se estabilizou, com recuperação de cerca de 1 Mha de vegetação florestal (0,6%) e aumento no número de fragmentos, em parte devido a políticas ambientais. Contudo, a Mata Atlântica ainda é um domínio altamente fragmentado: 97% dos fragmentos de vegetação são pequenos (<50 ha), com tamanho médio de fragmento entre 16,3 e 25,5 ha; 50-60% da vegetação está a <90 m de suas bordas, e o isolamento entre os fragmentos é alto (250-830 m). As áreas protegidas e territórios indígenas cobrem apenas 10% da vegetação da Mata Atlântica, e a maioria da vegetação se estende por mais de 10 km nessas áreas. Esses resultados possuem várias implicações para a manutenção dos processos de regeneração da vegetação da Mata Atlântica e toda sua biodiversidade, tendo em vista os impactos iminentes das mudanças climáticas e da expansão urbana e agropecuária nessa região.
- Arelado aos resultados anteriores, disponibilizamos um conjunto de dados de informações geoespaciais integradas e em escala precisa (resolução = 30 m) para toda a extensão da Mata Atlântica para o ano de 2020. Esse conjunto de dados é composto por 500 rasters com métricas de paisagem, topografia, hidrografia e antrópicas. Esse conjunto de dados pode ser utilizado em novos estudos sobre a conservação da biodiversidade, como modelos de distribuição de espécies,

planejamento sistemático da conservação, regeneração e restauração florestal, auxiliando pesquisadores e a sociedade em geral na preservação da Mata Atlântica.

- Avaliamos o efeito da estrutura da paisagem (perda, fragmentação e desconexão de habitat) sobre a diversidade taxonômica e funcional de anuros na Mata Atlântica brasileira. Analisamos 324 comunidades abrangendo 274 espécies de anuros e 12 características funcionais para avaliar os índices de diversidade das comunidades de anuros. Nossos resultados indicaram que a perda de habitat foi o principal preditor tanto da diversidade taxonômica, quanto da diversidade funcional, embora a desconexão de habitat tenha sido a mais importante para pelo menos um componente da diversidade funcional. Esses resultados mostraram que a quantidade e a conectividade dos habitats florestais e aquáticos são essenciais para a manutenção de vários aspectos da diversidade de anuros na Mata Atlântica, principalmente relacionados à movimentação e uso do habitat. Concluímos que a conservação dos remanescentes florestais e sua conectividade com ambientais aquáticos como riachos e lagos, representadas por áreas de preservação permanentes como matas ciliares, são fundamentais para garantir os funcionamentos dos ecossistemas terrestres e aquáticos, assim garantindo os processos ecológicos inerentes a ambos, visto que os anuros necessitam da integridade de ambos, pois usam esses dois habitats durante seu ciclo de vida.
- Arelado aos resultados anteriores, disponibilizamos um segundo conjunto de dados que inclui atributos morfológicos e ecológicos ao nível individual e de espécie de anfíbios na Mata Atlântica. Ao nível individual, há 12 medidas morfológicas de 2.489 indivíduos de 357 espécies de anuros em 17 famílias. Ao nível de espécie há 17 atributos ecológicas de 533 espécies de anfíbios em 21 famílias. Este conjunto de dados pode auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas sobre as influências antropogênicas e das mudanças climáticas no componente da diversidade funcional dos anfíbios na Mata Atlântica.