



**DAYANE NATHÁLIA BARBOSA PASTANA**

**CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DE FRAGMENTOS  
DA MATA ATLÂNTICA: SUA RELAÇÃO COM A  
ESTRUTURA DE HABITAT E MÉTRICAS DE PAISAGEM**

**LAVRAS – MG  
2021**

**DAYANE NATHÁLIA BARBOSA PASTANA**

**CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DE FRAGMENTOS DA MATA  
ATLÂNTICA: SUA RELAÇÃO COM A ESTRUTURA DE HABITAT E  
MÉTRICAS DE PAISAGEM**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras -  
UFLA, como parte das exigências  
do Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Florestal, área de  
concentração em Ecologia, para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Florestal.

Profa. Dra. Renata Dias Françoso Brandão  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Pastana, Dayane Nathália Barbosa.

Características Ambientais de Fragmentos da Mata Atlântica:  
Sua Relação com a Estrutura de Habitat e Métricas de Paisagem /  
Dayane Nathália Barbosa Pastana. - 2021.

68 p.: il.

Orientador(a): Renata Dias França Brandão.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Estrutura de habitat. 2. Fragmentação florestal. 3. Ecologia  
de paisagem. I. Brandão, Renata Dias França. II. Título.

**DAYANE NATHÁLIA BARBOSA PASTANA**

**CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DE FRAGMENTOS DA MATA  
ATLÂNTICA: SUA RELAÇÃO COM A ESTRUTURA DE HABITAT E  
MÉTRICAS DE PAISAGEM**

**ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF ATLANTIC FOREST  
FRAGMENTS: ITS RELATIONSHIP WITH HABITAT STRUCTURE AND  
LANDSCAPE METRICS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Florestal, área de  
concentração em Ecologia, para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Florestal.

APROVADA em 31 de maio de 2021.

Dra. Renata Dias Françaoso Brandão – Universidade Federal de Lavras

Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho – Universidade Federal de Lavras

Dr. Ricardo Bomfim Machado – Universidade de Brasília



---

Profa. Dra. Renata Dias Françaoso Brandão  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2021**

**Dedico à todas as pessoas que resistem em fazer pesquisa no nosso país, lutam pela  
conservação e uso sustentável das florestas.**

## AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada gostaria de agradecer à Deus por guiar o meu caminho e colocar em meu coração somente sonhos os quais Ele sabe que eu sou capaz de realizar. Esse mestrado significou muito mais do que apenas uma qualificação profissional, foi a primeira vez que me vi completamente distante de amigos, familiares e pessoas que me fortalecem e não me fazem esquecer quem sou.

Mesmo mantendo ligações semanais por vídeo a saudade com certeza foi o mais difícil durante a primeiro ano do mestrado. Gostaria de agradecer ao meus pais por serem meu alicerce independente da distância, por acreditarem em mim, entenderem minha ausência e embarcarem junto comigo nessa loucura de estudar longe de casa.

Por sorte, Lavras me presenteou com pessoas incríveis, e pude reconstruir uma base de alicerce emocional que estivesse junto a mim fisicamente, os novos amigos. Agradeço ao Rafael Lucas Figueiredo, Luis Schoor, Bruno D'armada, Matheus Eleutério, Dáfilla, João Ucella, Vitor Abreu, Bruna e a Rafaela por terem participado desta caminha comigo e por todas as histórias vividas que vão ficar pra sempre em nossas memórias.

Os novos amigos foram essenciais, mas também não posso deixar de agradecer aos amigos antigos que se fizeram presentes nos grupos de whats app da vida e sempre que eu voltei para nossa cidade (Macapá-AP) estiveram de braços abertos para me receber. Agradeço ao Bruno Costa, Bruno Santos, Rafael Ramos, Ana Luiza, Vanessa Macêdo, Beatriz Couto, Jéssica Santos, Ana Paula, Thaisa Marques, Thainá Horrara, Marhina Lima, Euler e Amon Felix por me mostrarem que amizade não tem distância.

Também gostaria de agradecer a Ana Cláudia, minha primeira orientadora da graduação, por sempre me incentivar, por ter sido peça fundamental na minha escolha de vir para Universidade Federal de Lavras - UFLA e por ter conseguido um local para eu ficar durante as primeiras semanas que estive em Lavras. Dona Marli foi a pessoa que me recebeu e em pouco tempo de convivência me mostrou o coração lindo que tem. Aqui fica o meu muito obrigado pela estadia e hospitalidade.

Agradeço aos meus professores da UFLA por todo ensinamento, à Letícia Vieira por ter me acolhido assim que cheguei e por ter me presenteado com a Renata Françoso como orientadora. Falando na Renata, sou muito grata por ela ter me “adotado” quando eu estava prestes a qualificar, pelos ensinamentos e por toda

paciência que teve comigo durante o período de pandemia do vírus SARS-CoV2 e trabalhos remotos (período o qual, sendo bem honesta, foi muito difícil em relação a concentração, foco e produtividade, mas todas as nossas reuniões via Google meet sempre me deram combustível para continuar).

Agradeço ao Júlio Louzada pela oportunidade de trabalhar com esses dados e essa temática. Também agradeço aos integrantes do projeto “Perda e Fragmentação de Habitat na Mata Atlântica: Efeito Cascata em Vegetação, Mamíferos e Besouros Rolabosta (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) afetam o funcionamento do ecossistema?”, que foram responsáveis pela coleta de dados desta pesquisa, principalmente a Tais, Kátia e o Cássio, que foram pessoas as quais eu tive um contato direto maior.

Também agradeço a amizade e disponibilidade dos integrantes do grupo de pesquisa “Lec-Flora” em assistir a prévia da apresentação deste trabalho e dar suas importantes contribuições. Por fim, mas não menos importante, agradeço ao programa de pós-graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de cursar este mestrado e como o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 00,1 também agradeço à CAPES pela bolsa de incentivo a pesquisa.

## RESUMO GERAL

Essa dissertação é composta por dois artigos. No primeiro foi realizada uma revisão sobre a estrutura de habitats. Foram realizadas buscas na base de pesquisa *Scopus*, com o auxílio de palavras-chave em inglês. As buscas ocorreram durante 12 meses e os artigos selecionados para leitura foram analisados quanto aos métodos utilizados e resultados obtidos. A estrutura do habitat é fundamental para ocorrência, estabelecimento de padrões comportamentais e sociais de várias espécies. Ainda é difícil identificar quais estruturas são consideradas “chave” para ocorrência de cada *taxa* por conta da falta de repetibilidade de trabalhos que visem estudar as relações da estrutura do habitat com os padrões de cada *taxa*. Algumas estruturas merecem atenção por terem sido relacionadas ao aumento da ocorrência de diferentes espécies: cobertura florestal, tipo de cobertura do solo, propriedades do solo, diversidade de árvores, altura média da vegetação, abertura do sub-bosque, altura do dossel, cobertura e profundidade da serapilheira. Somente poucas estruturas foram realmente identificadas como uma estrutura-chave, que é o caso da cobertura florestal, em relação a organização básica das redes de frugivoria e riqueza de espécies de mamíferos, assim como a estratificação florestal para ocorrência de aves e pântanos temporários, para ocorrência de diversos *táxon*. Já no segundo artigo, foram testadas as relações entre a estrutura de habitat e métricas da paisagem. Foram selecionadas áreas de 60 m x 20 m em 30 paisagens distribuídas por Minas gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Nessas áreas foram coletadas a serapilheira acima do solo, amostras de solo para obtenção da matéria orgânica, abertura do sub-bosque, abertura e diversidade da serrapilheira, temperatura e umidade do ar. Layers de classificações do uso do solo do Mapbiomas foram usadas para o cálculo das métricas de paisagem pelo pacote “Landscape”, no Software R versão 4.1. Usando modelos lineares generalizados, foi testada a relação entre variáveis de estrutura de habitat e de paisagem. O aumento no número de fragmentos de floresta natural tende a diminuir a diversidade da serrapilheira e a matéria orgânica encontrada em um micro-habitat físico, isso porque um maior número de fragmentos significa maior fragmentação. Isto é corroborado com o resultado que mostra que a área central de fragmentos de floresta natural tem relação positiva a diversidade da serrapilheira e matéria orgânica e negativa a temperatura mínima, deixando o ambiente com temperaturas mais agradáveis. O aumento da área central e média da área de fragmentos de floresta plantada tende a ter uma maior quantidade de serapilheira, isso pode estar relacionado ao tipo de espécie encontrada no fragmento. Quanto maior a média da área e a relação perímetro-área dos fragmentos de floresta natural a umidade máxima local diminui isso porque a uma maior concentração de árvores juntas diminui a exposição à temperaturas elevadas. Esses resultados são importantes para subsidiar a identificação de estruturas importantes para gerar ambientes propícios a manutenção das espécies locais, identificação do limiar da ação antrópica sobre a estrutura de habitat e auxiliar o desenvolvimento de políticas públicas e otimizar os métodos atuais de monitoramento da conservação de áreas fragmentadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Complexidade de habitat. Heterogeneidade do habitat. Estrutura-chave. Ecologia de paisagem.



## GENERAL ABSTRACT

This dissertation consists of two articles. In the first, it was made a review about habitat structure. Searches were realized in the Scopus research base, with the help of keywords in English. The searches of bibliography took place over 12 months and the articles selected for reading were analyzed as to the methods used and results obtained. The habitat structure is fundamental for occurrence, establishing behavioral and social patterns of various species. It is still difficult to identify which structures are considered as a "key" for the occurrence of each Taxa due to the lack of repeatability of studies aimed at studying the relationships between the habitat structure and the patterns of each Taxa. Some structures deserve attention because they have been related to the increase in the occurrence of different species: forest cover, type of soil cover, soil properties, diversity of trees, average vegetation height, understory opening, canopy height, cover and burlap depth. Only a few structures have actually been identified as a key structure, which is the case of forest cover, in relation to the basic organization of the frugivory networks and richness of mammal species, as well as the forest stratification for the occurrence of temporary birds and swamps, for occurrence of various Taxon. In the second article, the relations between habitat structure and landscape metrics were tested. Areas of 60 m x 20 m were selected in 30 landscapes spread over Minas Gerais, São Paulo and Rio de Janeiro. In these areas, litter above the soil, soil samples for obtaining organic matter, opening the understory, opening and diversity of the litter, temperature and air humidity were collected. Mapbiomas' land use classification layers were used for the calculation of landscape metrics by the "Landscape" package, in Software R version 4.1. Using generalized linear models, the relations between habitat and landscape structure variables was tested. The increase in the number of fragments of natural forest tends to decrease the diversity of the litter and the organic matter found in a physical micro-habitat, because a bigger number of fragments means bigger fragmentation. This is corroborated by the result that shows that the central area of fragments of natural forest has a positive relation to the diversity of the litter and organic matter and negative to the minimum temperature, leaving the environment with more pleasant temperatures. The increase in the central and average area of planted forest fragments tends to have a greater amount of litter, this may be related to the type of species found in the fragment. The higher the average area and the perimeter-area ratio of fragments of natural forest, the maximum local humidity decreases because the greater concentration of trees together reduces exposure to high temperatures. These results are important to support the identification of important structures to generate environments conducive to the maintenance of local species, identification of the threshold of anthropic action on the habitat structure and assist the development of public policies and optimize the current methods of monitoring the conservation of fragmented areas.

**KEY-WORDS:** Habitat complexity. Habitat Heterogeneity. Key structure. Landscape ecology.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	12
<b>1 APRESENTAÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>REFERÊNCIA</b> .....	15
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b> .....	16
<b>Artigo 1: ESTRUTURA DE HABITAT COMO INDICADOR DA QUALIDADE AMBIENTAL: UMA REVISÃO</b> .....	17
<b>Resumo</b> .....	17
<b>1. Introdução</b> .....	17
<b>3. Análise descritiva da literatura analisada</b> .....	20
<b>4. Estrutura de habitat</b> .....	24
<b>4.1 Elementos da estrutura de habitat</b> .....	27
<b>4.2 Eventos que interferem negativamente na estrutura de habitat</b> .....	31
<b>5. Consequências das alterações ocorridas na estrutura do habitat</b> .....	32
<b>5.1 Influência da estrutura de habitat na diversidade e abundância de indivíduos</b> .....	32
<b>5.2 Influência da estrutura do habitat no comportamento social dos indivíduos</b> .....	34
<b>5.3 Relação da estrutura de habitat com o ambiente e funcionamento do ecossistema</b> .....	36
<b>6. Estrutura de habitat como indicador da qualidade ambiental do fragmento</b> .....	37
<b>7. Conclusões</b> .....	40
<b>8. Referências</b> .....	41
<b>Artigo 2: Relações da paisagem com a estrutura do habitat local e o microclima no interior de fragmentos florestais</b> .....	49
<b>Resumo</b> .....	49
<b>1. Introdução</b> .....	49
<b>2. Material e métodos</b> .....	50
<b>2.1 Área de estudo</b> .....	50
<b>2.2 Desenho amostral do experimento</b> .....	52
<b>2.3 Parâmetros de paisagem</b> .....	53
<b>2.4 Parâmetros de estrutura de habitat e microclima local</b> .....	54
<b>2.5 Análises estatísticas</b> .....	56
<b>3. Resultados</b> .....	57
<b>3.1 Caracterização das paisagens</b> .....	57

<i>3.2 Relação da estrutura da paisagem com a estrutura do habitat e microclima local</i> .....	60
<b>4. Discussão</b> .....	62
<b>5. Conclusão</b> .....	63
<b>6. Referências</b> .....	64

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 APRESENTAÇÃO GERAL

A taxa em que o homem vem alterando a paisagem natural tem extrapolado a capacidade de regeneração das florestas e originado fragmentos florestais cada vez menores, o que por sua vez, tem impulsionado muitas espécies a entrarem em risco de extinção. Já foram identificados aproximadamente 130 milhões de fragmentos florestais, que estão distribuídos pelos trópicos (TAUBERT et al., 2018). Modelos de previsão sugerem que a perda adicional de florestas resultará em um grande aumento no número total de fragmentos florestais (em um período máximo de 33 a 50 anos), bem como uma diminuição em seu tamanho (TAUBERT et al., 2018).

As modelagens de previsões de redução florestal para os próximos anos visam nos atentar para a importância das nossas ações de natureza econômica, social, política e ambiental, estejam alinhadas ao conhecimento científico sobre conservação da biodiversidade, funcionamento dos ecossistemas e desempenho dos serviços ecossistêmicos (TABARELLI et al., 2005). Muitos estudos já foram realizados sobre essa temática de conservação de diferentes ecossistemas fragmentados e desse compilado de estudos, é possível extrair algumas generalizações de ideias, como proposto por TABARELLI et al. (2005): 1 – A fragmentação florestal gera perda e rupturas no habitat, expondo a borda dos fragmentos remanescentes à matrizes não florestais ao seu redor (CORLETT, 2000; TABARELLI et al., 2004); 2 – A maior parte dos efeitos sofridos pela biota são resultante da fragmentação florestal, por meio da perda de habitat, efeito de borda, efeito da matriz circundante e caça e coleta nos fragmentos florestais remanescentes (fatores de degradação) (BIERREGAARD, 2002); 3 - Esses fatores de degradação podem agir de forma combinada ou sinérgica, potencializando os efeitos individuais de cada um dos fatores (FAHRIG, 2017; TABARELLI; CARDOSO DA SILVA; GASCON, 2004).

Visando entender em que direção ocorrem as alterações da biodiversidade nesses cenários de intensa fragmentação foi confeccionado o projeto intitulado “Perda e fragmentação de habitat na Mata Atlântica: efeito cascata em vegetação, mamíferos e besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) afetam o funcionamento do ecossistema?”. No decorrer do projeto levantou-se a hipótese de que a estrutura do habitat também interfere na biodiversidade e que também pode estar presente nesse efeito em cascata da perda e fragmentação de habitat. A partir disso foi idealizada esta dissertação como um dos produtos deste projeto.

A presente dissertação foi estruturada em dois artigos, de acordo com o manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal de Lavras (2020). O primeiro artigo é uma revisão e foi preparado para submissão à revista *Biological Conservation* e o segundo artigo foi preparado para submissão à revista *Landscape Research*. No primeiro, a hipótese é de que é possível utilizar a estrutura do habitat como indicador da qualidade ambiental de um fragmento, com o objetivo principal de caracterizar e sintetizar os trabalhos referentes a estrutura do habitat. O segundo artigo, tem como hipótese principal que a paisagem modifica os padrões de distribuição da estrutura do habitat, com o objetivo principal de analisar a influência de paisagem com diferentes níveis de cobertura florestal sobre a estrutura de habitat e do microclima local. As duas hipóteses foram parcialmente confirmadas, demonstrando que a estrutura de habitat tem grandes influências sobre a qualidade do habitat disponível dentro de um fragmento, podendo ter seus padrões de distribuição alterados pela paisagem.

A área onde o artigo 2 foi desenvolvido presta múltiplos serviços para a população local, como: alimento, emprego, moradia, ecoturismo, recreação, espiritualismo, religiosidade, inspiração, educação, senso de localização e herança cultural. Por conta disso são necessárias medidas que auxiliem na sua conservação. As ações deste estudo como um todo, buscam entender como o processo de alteração da paisagem interfere na estrutura de habitat presentes nesse local.

Essa é uma abordagem inicial, que visa subsidiar embasamento teórico para as unidades competentes implementarem políticas públicas, como a identificação de áreas para conservação florestal. Pretende-se também auxiliar na definição de métodos adequados para recuperação de áreas degradadas, na medida em que estudos sobre a estrutura do habitat e microclima são fundamentais para entender a capacidade do ambiente em promover o estabelecimento e crescimento de mudas arbóreas.

**REFERÊNCIA**

BIERREGAARD, R. O., C. Lessons from Amazonia: The ecology and conservation. **Journal of Mammalogy**, v. 83, n. 4, p. 2001–2003, 2002.

FAHRIG, L. Ecological Responses to Habitat Fragmentation Per Se. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 1–23, 2017.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 23, n. 4, p. 1029–1033, 2005.

TABARELLI, M.; CARDOSO DA SILVA, J. M.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, n. 7, p. 1419–1425, 2004.

TAUBERT, F. et al. Global patterns of tropical forest fragmentation. **Nature**, v. 554, n. 7693, p. 519–522, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature25508>>.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**



## **Artigo 1: ESTRUTURA DE HABITAT COMO INDICADOR DA QUALIDADE AMBIENTAL: UMA REVISÃO**

(Artigo preparado de acordo com as normas da revista Biological Conservation)

### **Resumo**

Alterações em estruturas específicas do habitat podem alterar todo o funcionamento do ecossistema. Identificar quais variáveis são fundamentais (estruturas-chave) para o equilíbrio do ecossistema, é de suma importância para subsidiar métodos eficientes e mais baratos para o monitoramento da conservação da biodiversidade. No entanto, ainda são incipientes trabalhos que visem sintetizar quais estruturas do habitat são usualmente avaliadas e identificar suas contribuições para a conservação florestal. Assim, o objetivo deste artigo foi caracterizar a literatura a respeito da estrutura do habitat. Para isso, foram realizadas buscas de artigos científicos (06/2019 – 06/2021), com o auxílio de palavras-chave em inglês. Os artigos selecionados foram analisados e utilizados para confeccionar uma revisão, descrevendo e exemplificando o que se conhece na literatura a respeito da estrutura de habitats de ecossistemas florestais. Os resultados obtidos mostram que ainda existem lacunas no conhecimento sobre estrutura de habitat e a falta de padronização das variáveis coletadas em cada estudo dificulta a comparação de resultados e a identificação de estruturas-chave, que possam ser utilizadas como indicadores de sustentabilidade. Mesmo com as adversidades de padronização da metodologia e repetibilidade dos estudos, foi possível identificar fortes relações da estrutura de habitat com a biota. O debate sobre a necessidade de as equipes de gestores utilizarem a complexidade e heterogeneidade do habitat como pilares para restaurar e sustentar a biodiversidade já vem ocorrendo na literatura. Como forma de enriquecer este debate e subsidiar a confecção de um protocolo para o monitoramento de fragmentos florestais, são apresentados os elementos da estrutura do habitat que influenciaram positivamente a biota e uma lista das estruturas consideradas “chave” para ocorrência de algumas espécies.

**Palavras-chave:** Estrutura-chave; Heterogeneidade do habitat; Complexidade do habitat; Conservação da biota nativa.

### **1. Introdução**

O processo atual de antropização e mudança no uso da terra tem gerado consequências negativas para a estrutura e funcionamento ecológico das florestas remanescentes, como por exemplo o empobrecimento do solo, qualidade da água e do ar (Bartlett et al., 2016; Wright, 2005). Essas alterações no ambiente, qualidade do habitat e padrões do ecossistema são capazes de exercer grande influência sobre a

biodiversidade encontrada em uma região, assim como pode potencializar a substituição de espécies nativas por espécies exóticas (Pauchard et al., 2016).

Algumas estruturas do habitat são determinantes para ocorrência de uma espécie ou para a manutenção de suas principais funções, podendo ser caracterizadas como "estruturas-chave" (Tews et al., 2004) para manutenção do ecossistema. Ou seja, a conservação de estruturas-chave tende a manter um alto nível de biodiversidade, assim como a sua remoção provavelmente levará a uma quebra na diversidade de espécies (Lindenmayer et al., 2000). A identificação de estruturas-chave é de suma importância e já vem sendo evidenciada como uma ferramenta para ser utilizada como indicador de biodiversidade (Lindenmayer et al., 2000), mecanismo alternativo para o monitoramento da conservação da biodiversidade e gestão de áreas intensamente antropizadas.

Os trabalhos sobre monitoramento da biodiversidade, geralmente abordam fatores ligados à composição da comunidade da flora e fauna (Audino et al., 2017; Casas et al., 2016; Díaz et al., 2010; Gomes et al., 2010; Imai et al., 2014; Pardini et al., 2010; Pivello et al., 2006; Renó et al., 2016; Sanchez-de-Jesus et al., 2016). Entretanto, um dos maiores empecilhos para o monitoramento da biodiversidade são os altos custos de inventário florestal e a identificação de espécies (Imai et al., 2014). Assim, a utilização de estruturas-chave como indicador de qualidade do habitat para uso no monitoramento da biodiversidade pode auxiliar na redução de custos com a identificação e inventário da biota nativa, tornando-se uma forma viável de gestão da conservação da biodiversidade local, dependendo dos seus objetivos.

No entanto, não há um consenso sobre qual(is) estruturas são consideradas "chave" e quais são as mais importantes para serem priorizadas na avaliação de um habitat, o que gera a falta de repetibilidade de estudos que avaliem a mesma variável de estrutura de habitat para o mesmo *taxa*. Também não há uma síntese sobre quais são as variáveis de habitat atualmente utilizadas nos estudos e seus reflexos na biodiversidade. Além disso, ainda são incipientes trabalhos que enfatizam quais fatores são capazes de alterar a estrutura do habitat.

A partir da premissa de que é possível monitorar a conservação de áreas fragmentadas usando métricas relacionadas a estrutura de habitat, o objetivo desta revisão foi caracterizar e sintetizar os trabalhos referentes a estrutura do habitat e responder as seguintes questões: (i) Quais variáveis caracterizam a estrutura e

complexidade do habitat? (ii) Como a estrutura de habitat influencia a biota nativa? (iii) Quais são as estruturas essenciais para cada tipo de *taxa*?

## 2. Material e métodos

Foram realizadas buscas de artigos científicos durante um período de dezoito meses (06/2019 – 06/2021), com o auxílio de palavras-chave em inglês. As buscas foram realizadas pela combinação de um conjunto de palavras-chave e descritores, na base de pesquisa *Scopus*: TS=("Estrutura de habitat" OR "Estrutura florestal" OR "Complexidade estrutural" OR "Complexidade do habitat" OR "Heterogeneidade do habitat") AND TS=(Biodiversidade OR Riqueza de espécies OR Diversidade OR Abundância OR "diversidade filogenética") NOT TS=(Mar OR Rio OR Lagoa OR "algas marinhas" OR macrófitas).

Os trabalhos que tiveram no seu título, resumo ou palavras-chaves relacionados com a linha de pesquisa deste trabalho foram selecionados e inseridos em uma matriz de literaturas. Posteriormente, os artigos selecionados foram lidos na íntegra. O critério para inclusão dos trabalhos foi ser artigo científico ou livro, ocorrência de dados sobre estrutura de habitats florestais, ser um trabalho experimental ou baseado em literaturas com experimentos. O critério para exclusão foi a ocorrência de dados sobre estrutura de habitats em ecossistemas aquáticos, não ser artigo ou livro.

Foi realizado um sistema de compilação de dados em planilha digital, o qual incluía informações sobre os autores, ano de publicação, periódico, palavras-chave, localidade a qual o estudo foi realizado, variáveis de estrutura de habitat, variáveis da biodiversidade, *taxa*, variáveis que afetam a estrutura do habitat e principais conclusões encontradas pelos autores.

Com o auxílio do programa Arcgis 10.5 foi confeccionado um mapa com a distribuição dos locais de ocorrência de cada trabalho. Por meio do VOSviewer version 1.6.16 foi analisada a ocorrência de rede de interação dos autores dos trabalhos analisados e no software R 4.0.5 (R Core Team, 2020) foram confeccionados gráficos para melhor visualização dos dados. A partir disso, foi confeccionada uma revisão narrativa descrevendo e exemplificando o que se conhece na literatura a respeito da estrutura de habitats de ecossistemas florestais.

### 3. Análise descritiva da literatura analisada

A busca realizada com os descritores resultou em um total de 422 trabalhos. Desses estudos, 143 foram incluídos nesta revisão e 279 foram excluídos. A maioria (107) dos estudos relacionou métricas de estrutura de habitat com a biodiversidade mensurada *in loco*, (8) fizeram experimentos em laboratório ou análises estatísticas com modelos de previsão e (28) dedicaram a explicar o conceito e importância da estrutura de habitat sem a realização de experimentos.

Os estudos relacionados a esta temática estão em sua maioria concentrados em poucos países, cerca de 73% dos trabalhos analisados foram encontrados em apenas 6 dos 25 países encontrados neste estudo. Na figura 1 é possível observar a distribuição dos trabalhos analisados pelo globo.

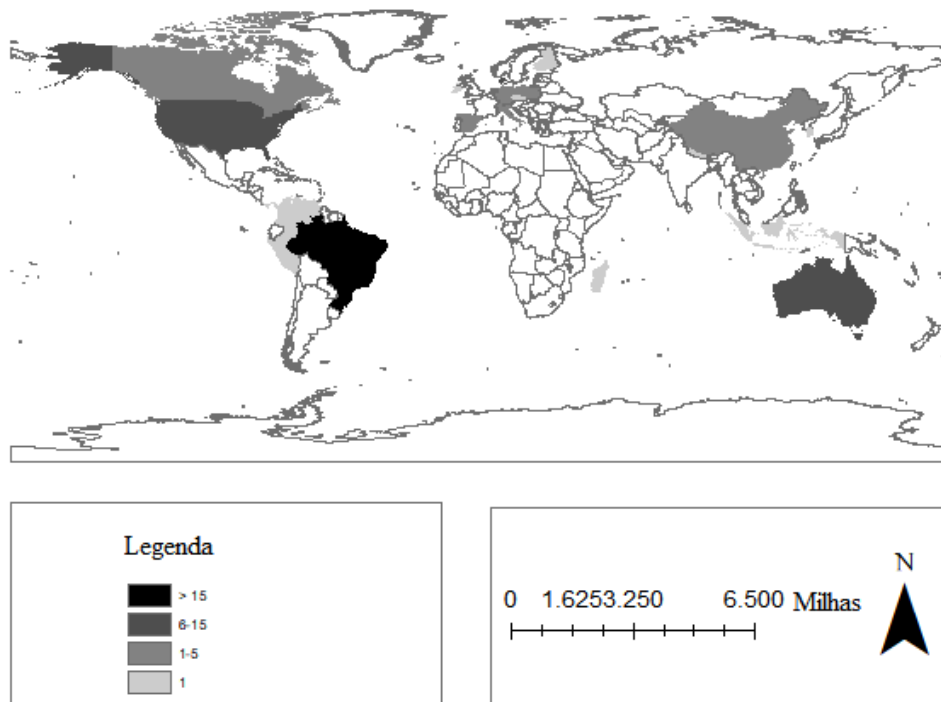


Figura 1. Distribuição e número dos trabalhos publicados em cada país (n=107).

O Brasil foi o país que mais publicou (23 trabalhos analisados) nesta temática, apresentando contribuições, principalmente, com trabalhos realizados no bioma Mata Atlântica, provavelmente por ser uma região de intensa ocorrência de espécies

endêmicas e por só restarem 12,4% da sua área original (SOS Mata Atlântica and INPE., 2019).

Após o primeiro colocado neste ranking de países com publicações a respeito de interações entre a estrutura do habitat e a biodiversidade, vem a Austrália (n=13), Estados Unidos (n=12), Suíça (n=5), Alemanha (n=4), Canadá e Espanha (n=3, respectivamente), juntos representando os 6 países mais representativos na publicação de trabalhos relacionados a esta temática. Estudos altamente concentrados em poucas regiões de estudo inviabilizam a caracterização e conhecimento de padrões associados a estrutura do habitat em diferentes realidades ambientais.

O primeiro trabalho registrado na base Scopus, relacionando a estrutura do habitat com a biodiversidade, foi publicado em 1974, seguido de outra publicação apenas após 8 anos em 1982 e outra em 1983. Conforme os anos foram passando o interesse por esta temática tem aumentado, principalmente após 2004, o que reflete no aumento da frequência anual de publicações (Figura 2).

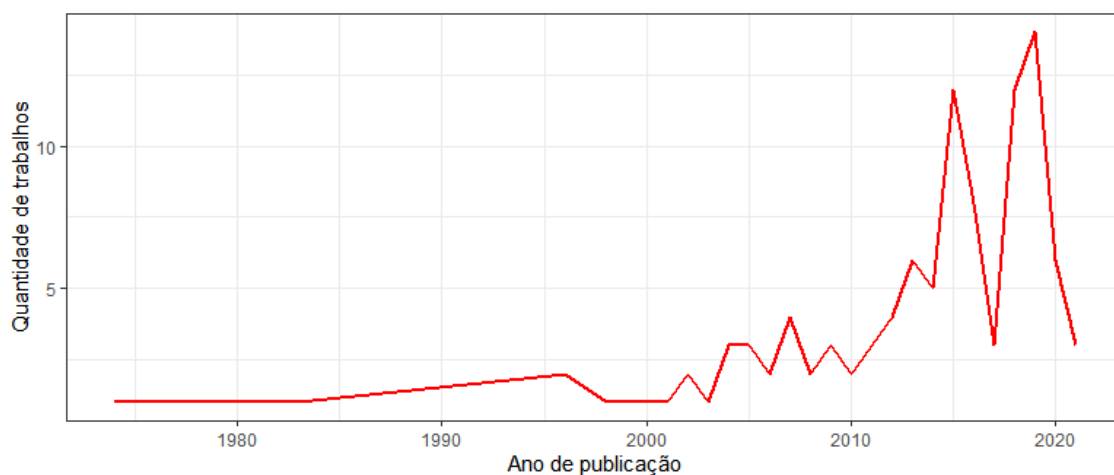


Figura 2. Frequência de publicações realizadas anualmente sobre a influência da estrutura do habitat na biodiversidade (n=107).

Entretanto, ainda é um ramo pouco estudado, de forma a apresentar anos com baixa ocorrência ou sem nenhuma publicação realizada. Por conta da baixa publicação anual de estudos relacionados a estrutura de habitat e alta concentração desses estudos em poucas regiões de ocorrência, é interessante que ocorra interações entre autores (Figura 3), para que a troca de conhecimentos e dados aumente a escala de conhecimento sobre essa temática.

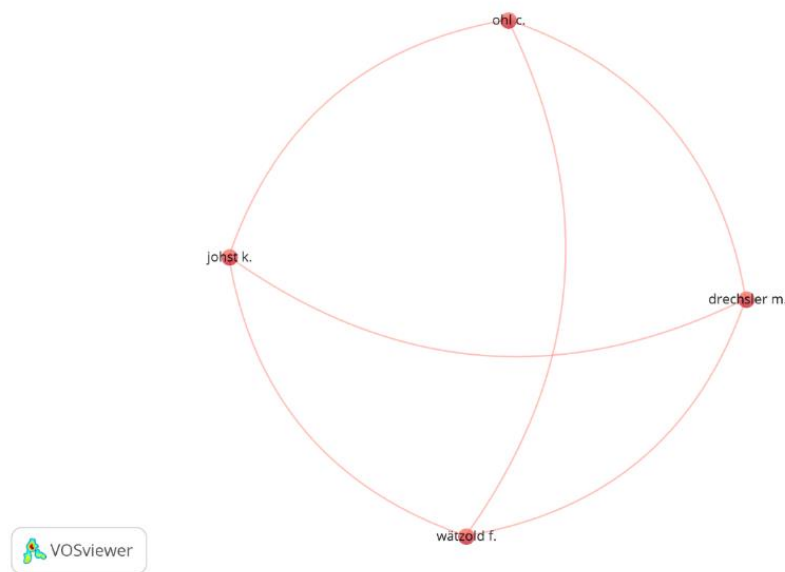


Figura 3. Rede de interação entre autores dos trabalhos levantados na plataforma *Scopus* (n=107), por meio da análise de suas co-autorias.

O compartilhamento de informações e a rede de interações entre autores, de acordo com a literatura levantada na plataforma Scopus, ainda está em estágio inicial. Com apenas 4 autores publicando juntos em diferentes trabalhos, podemos perceber como esta área do conhecimento ainda precisa ser mais compreendida.

O primeiro autor a publicar sobre esta temática foi o Wilson et al. (1974), por meio da revista *Ecology Society of America*. Apesar de ter sido um dos pioneiros neste ramo de estudo, não foram encontrados outros trabalhos similares deste autor, em contrapartida foram analisados outros 2 trabalhos nesta mesma revista. Também não foi encontrado um periódico que publique fielmente trabalhos relacionados a estrutura do habitat. Os trabalhos analisados estavam divididos entre 64 revistas, em que as 6 com maior frequência de trabalhos publicados, representam juntas 28% (n=29) da publicação total e são mostradas na figura 4.

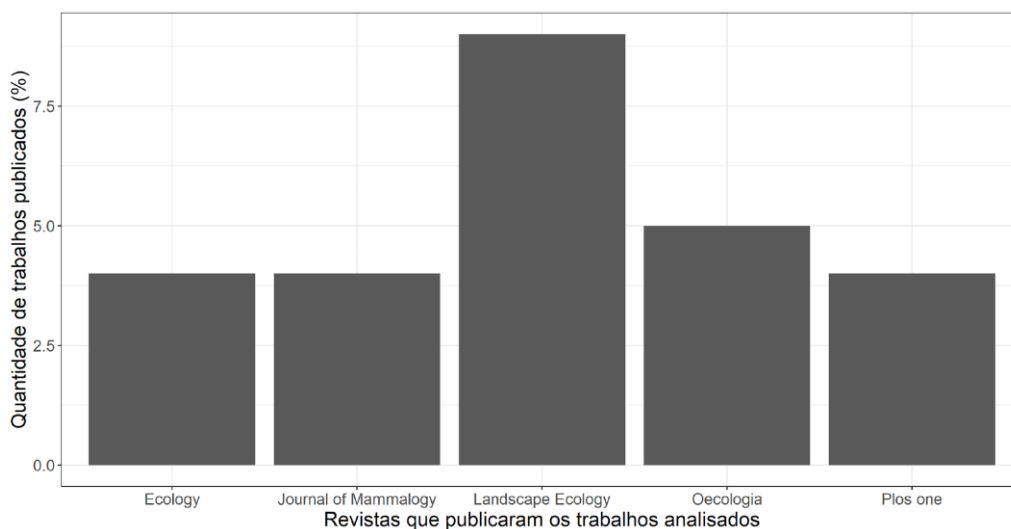


Figura 4. Periódicos de maior ocorrência de trabalhos publicados sobre a relação da estrutura do habitat com a biodiversidade.

Essas 6 principais revistas são de nível internacional, com grande relevância para o meio científico e de fator de impacto distribuídos em 3.385 (2019, Landscapy ecology), 2.654 (2019, Oecologia), 2.776 (2018-2019, Plos One), 1.891 (2019, Journal of mammalogy) e 4.7 (2019-2020, Ecology). Com relação às palavras-chave utilizadas em cada trabalho, parece haver um senso mais comum em relação às palavras importantes para esta temática de estudo (Figura 5).



Figura 5. Grau de frequência das palavras-chave encontradas nos trabalhos (n=107) analisados. Quanto maior a palavra é mostrada, maior é a sua frequência.

Foram encontradas 64 palavras-chave nos trabalhos analisados, sendo que apenas 15 palavras foram responsáveis por 55% das menções realizadas. A palavra-chave mais frequente foi a “heterogeneidade do habitat” (n=11), seguido de “perda do habitat” (n=6), “estrutura do habitat” (n=6), “complexidade do habitat” (n=6), “fragmentação do habitat” (n=5), “estrutura da vegetação” (n=5) e “heterogeneidade espacial” (n=3). A unificação desses trabalhos em palavras-chave, amplamente utilizada pela comunidade científica, é de suma importância na hora da confecção de uma base de informações sólida sobre a temática, desta forma a busca por esses dados é facilitada.

#### **4. Estrutura de habitat**

A estrutura do habitat foi definida por Bell et al. (1990) como a quantidade, composição e arranjo tridimensional da matéria física (abiótica e biótica) em um local. Esta definição de estrutura de habitat é abrangente para interpretações em diferentes escalas e em até três dimensões. Entretanto, a maioria dos estudos que avaliam a estrutura de habitat, utilizam o ramo da estrutura espacial (em apenas duas dimensões, vertical e horizontal) que visa entender a disposição dos objetos no espaço e sua influência sobre variáveis ecológicas (McCoy and Bell, 1991).

A estrutura da paisagem é uma forma de estrutura do habitat em macroescala, alguns trabalhos utilizam esta abordagem (Boeye et al., 2014; Kostylev et al., 2005) e mensuram métricas da paisagem (conectividade, forma do fragmento e área de borda, por exemplo), mas a maioria dos estudos que visam caracterizar a estrutura de um habitat mensura as suas componentes em escala de micro-habitat (microescala), sendo mensurado componentes estruturais como: serapilheira, abertura do dossel, abertura do sub-bosque, estratificação (Bretscher et al., 2018; Kang et al., 2015; Magee et al., 2021). Para o nosso estudo, analisamos apenas os trabalhos que consideraram a estrutura do habitat em uma escala local, de micro-habitat e em duas dimensões.

Os elementos que compõem o habitat são categorizados em vertical, como por exemplo a abertura de dossel e estágio sucessional ou em horizontal, como a cobertura florestal, densidade de árvores, serapilheira e a conectividade (Culbert et al., 2013). Juntando os elementos horizontais e verticais é possível mensurar a heterogeneidade e complexidade do habitat (Bell et al., 1991).

A estrutura de habitat (Figura 6) pode ser determinada por dois parâmetros, a disponibilidade dos elementos que compõem o habitat e seu nível de aglomeração



(Boeye et al., 2014). Neste sentido, a heterogeneidade refere-se a números de estruturas diferentes (Byrne, 2007). Já a complexidade do habitat pode ser entendida como a quantidade absoluta dos componentes da matéria física em uma escala definida, ou seja, a densidade da matéria dentro de um determinado volume (Byrne, 2007).

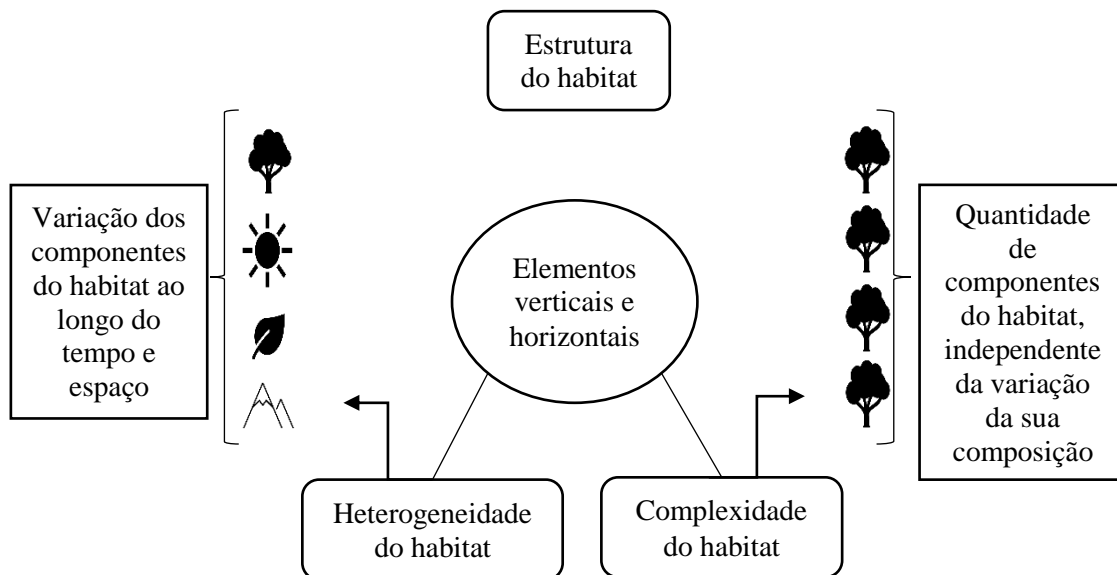


Figura 6. Esquema de conceituação de estrutura do habitat.

No entanto, ainda existem confusões quanto a conceituação desses parâmetros base para o entendimento da estrutura do habitat, visto que August (1983) descreveu a complexidade estrutural do habitat como as variáveis que estão distribuídas verticalmente, enquanto a heterogeneidade foi conceituada como a variabilidade horizontal das estruturas. Esta conceituação feita por August (1983) ainda foi replicada por Williams et al. (2002) mesmo após mais de 10 anos do estudo e desta conceituação ter sido renovada por Bell et al. (1990), ressaltando essa confusão nas definições dos conceitos base.

Dentro de um habitat existe uma grande variedade de estruturas físicas que o compõem, podendo ser entendido e nomeado de uma forma diferenciada por cada profissional e equipe de pesquisa, de acordo com o objetivo de cada trabalho. Esse problema foi inicialmente relatado por McCoy and Bell (1991), que mostrou as diferentes formas que os componentes da estrutura de habitat podem ser mencionados

(“heterogeneidade espacial”, “diversidade arquitetônica” e “fisionomia de habitat”) sem deixar claro se essas diferentes nomenclaturas possuem o mesmo conceito.

Após 29 anos do trabalho de McCoy and Bell (1991) ter sido publicado, ainda é possível visualizar esta mesma problemática, o que gera a falta de repetibilidade de estudos que avaliem a mesma componente e/ou variável de estrutura de habitat com o mesmo *taxa*. A figura 7 mostra diversas formas de como a heterogeneidade e a complexidade de habitat são mencionadas nas 107 referências analisadas.

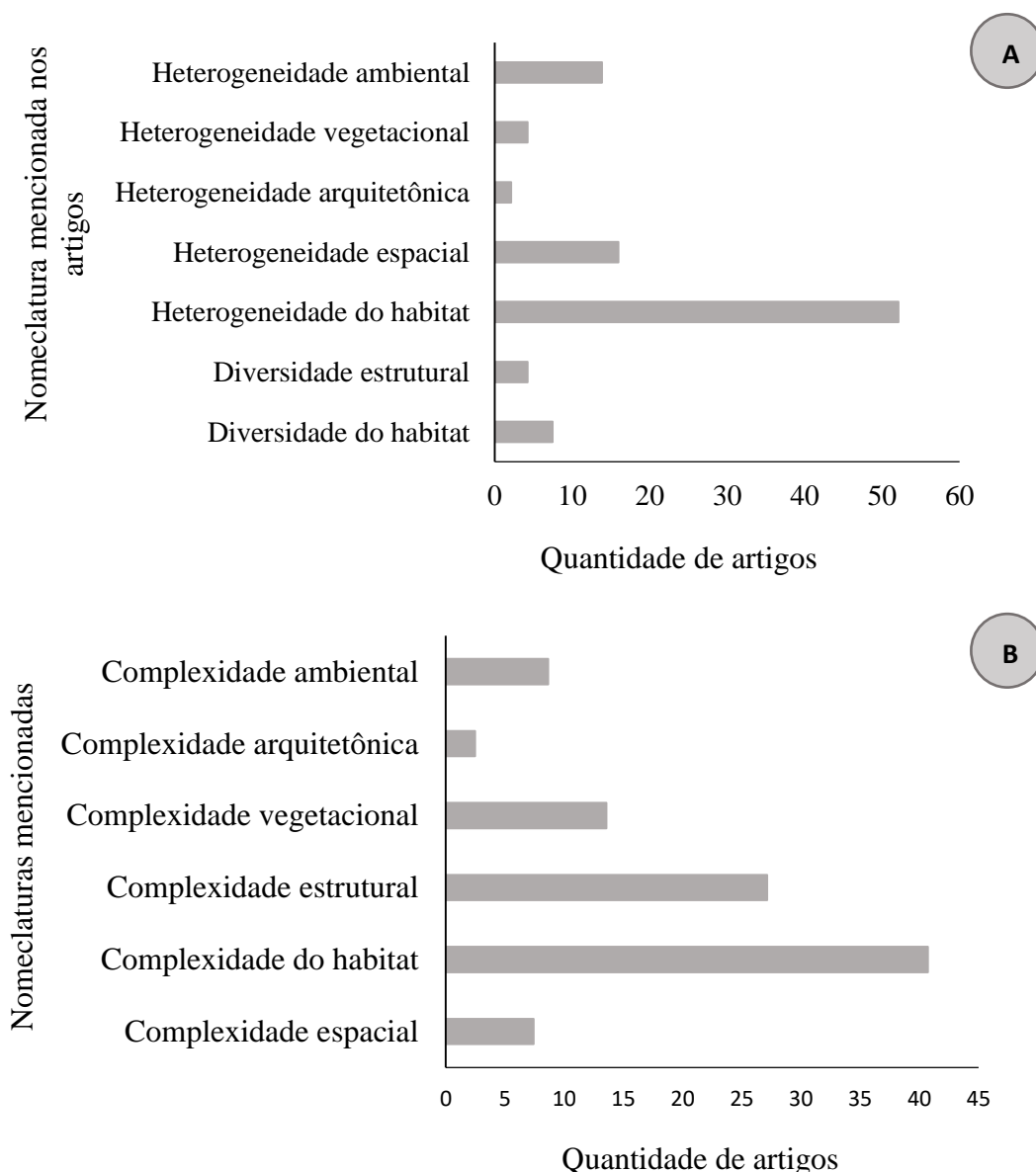


Figura 7. Diferentes formas de como a heterogeneidade (A) e a complexidade (B) de habitat foram mencionadas nos artigos analisados.

Além dos parâmetros do habitat, como a heterogeneidade e complexidade do habitat, também foi possível observar que os elementos individuais do habitat mensurados em cada local de estudo, apresentaram nomeações divergentes entre si para se referir a uma mesma variável. Essas são características dos artigos publicados sobre estrutura de habitat que podem prejudicar a comparação de resultados e dificultar a identificação de estruturas determinantes para ocorrência e padrões comportamentais de um *taxa*.

#### 4.1 Elementos da estrutura de habitat

Foram encontrados 78 elementos (Tabela 1) da estrutura do habitat na avaliação dos trabalhos sobre a interação da estrutura do habitat com a biodiversidade, encontrados na base de pesquisa da Scopus. Para chegar neste quantitativo de elementos, unificamos trabalhos que nomearam uma mesma variável de forma distinta, por exemplo “diversidade de altura da copa da vegetação” encontrado no artigo (Jokimäki and Huhta, 1996) e “estratificação florestal” encontrado no artigo (Bragagnolo et al., 2007).

Tabela 1. Lista dos elementos da estrutura do habitat encontrados nos 107 trabalhos analisados sobre estrutura do habitat e a biodiversidade.

COD	Elementos da estrutura do habitat	Quantidade de trabalhos
1	cobertura florestal	25
2	Cobertura de serapilheira	11
3	Tipo de cobertura do solo	11
4	Propriedade do solo	11
5	Diversidade de árvores	10
6	Altura média da vegetação	9
7	Propriedade do solo	8
8	Altura do dossel	7
9	Abertura do sub-bosque	7
10	Troncos mortos no chão	6
11	Número de gramínea	6
12	Tamanho de campo agrícola	6
13	Número de árvores	5
14	Média da área basal das árvores	5

15	Tamanho do fragmento	4
16	Distribuição vertical da folhagem	4
17	Diâmetro médio arvores	4
18	Altitude	4
19	Ervas	3
20	Idade do povoamento	3
21	Profundidade de serapilheira	3
22	Cobertura do sub-bosque	3
23	Número arbustos	3
24	Porcentagem de abertura do dossel	3
25	Número habitats	3
26	Estrutura florística	2
27	Diâmetro da copa das arvores	2
28	Porcentagem de carbono	2
29	Declive	2
30	Características da topografia	2
31	Profundidade do solo	2
32	cobertura de herbáceas	2
33	Número de líquens	2
34	Altura herbáceas	2
35	Altura arbustos	2
36	Número de lianas	2
37	Densidade de árvores	2
38	Temperatura do solo	1
39	Umidade do solo	1
40	Cobertura de lixo	1
41	Altura do poleiro	1
42	número de árvores frutíferas e lianas	1
43	Número de hastes	1
44	Número de árvores sem casca	1
45	Número de musgos	1
46	Número áreas estéreis	1
47	Abundância de árvores com DAP <10 cm	1
48	Tipo de floresta	1
49	Área basal dos indivíduos	1
50	Abundância e riqueza de espécies	1
51	Distância do igarapé	1
52	Continuidade da vegetação	1
53	Variáveis fenológicas	1
54	Rocha exposta	1
55	Cascalho solto	1

56	volume da árvore	1
57	Casca de árvores	1
58	Distância para estrada	1
59	Galhos	1
60	Biomassa acima do solo	1
61	Casca de trigo sarraceno	1
62	Tojo	1
63	Casca de arroz	1
64	Vermiculita	1
65	Farelo de trigo	1
66	Aglomeración dos recursos	1
64	Diâmetro médio arbustos	1
65	tamanho médio da abertura da casca e	1
66	$\Delta$ tamanho da abertura da casca	1
67	Distância do povoado mais próximo	1
68	Área de habitat	1
69	Barreiras potenciais de dispersão	1
70	Proporção de habitat adequado	1
71	Disponibilidade de luz	1
72	Detritos lenhosos	1
73	Peso das folhas secas	1
74	Distância para o arbusto mais próximo	1
75	Ausência e o número de cactos e bromélias	1
76	Proporção de povoamento denso, aberto e espaçado	1
77	Composição do habitat	1
78	Dispersão das árvores	1

---

Os elementos da estrutura do habitat que mais apareceram nos estudos foram a cobertura florestal (n=25), tipo de cobertura do solo (11), propriedade do solo (11), cobertura de serapilheira (11) e diversidade das árvores (10), respectivamente. O *taxa* mais estudado em relação a estrutura do habitat foi as aves, representando 28% (n=21) dos estudos, seguido dos insetos que representaram 21% (n=16) e dos mamíferos que representam 20% (n=15) dos estudos avaliados e juntos somam 69% dos *táxon* analisados (os outros são: planta, aracnídeo, réptil, anfíbio e multitaxa). A relação entre os elementos da estrutura do habitat utilizado em cada *taxa* analisado pode ser verificada na figura 8.

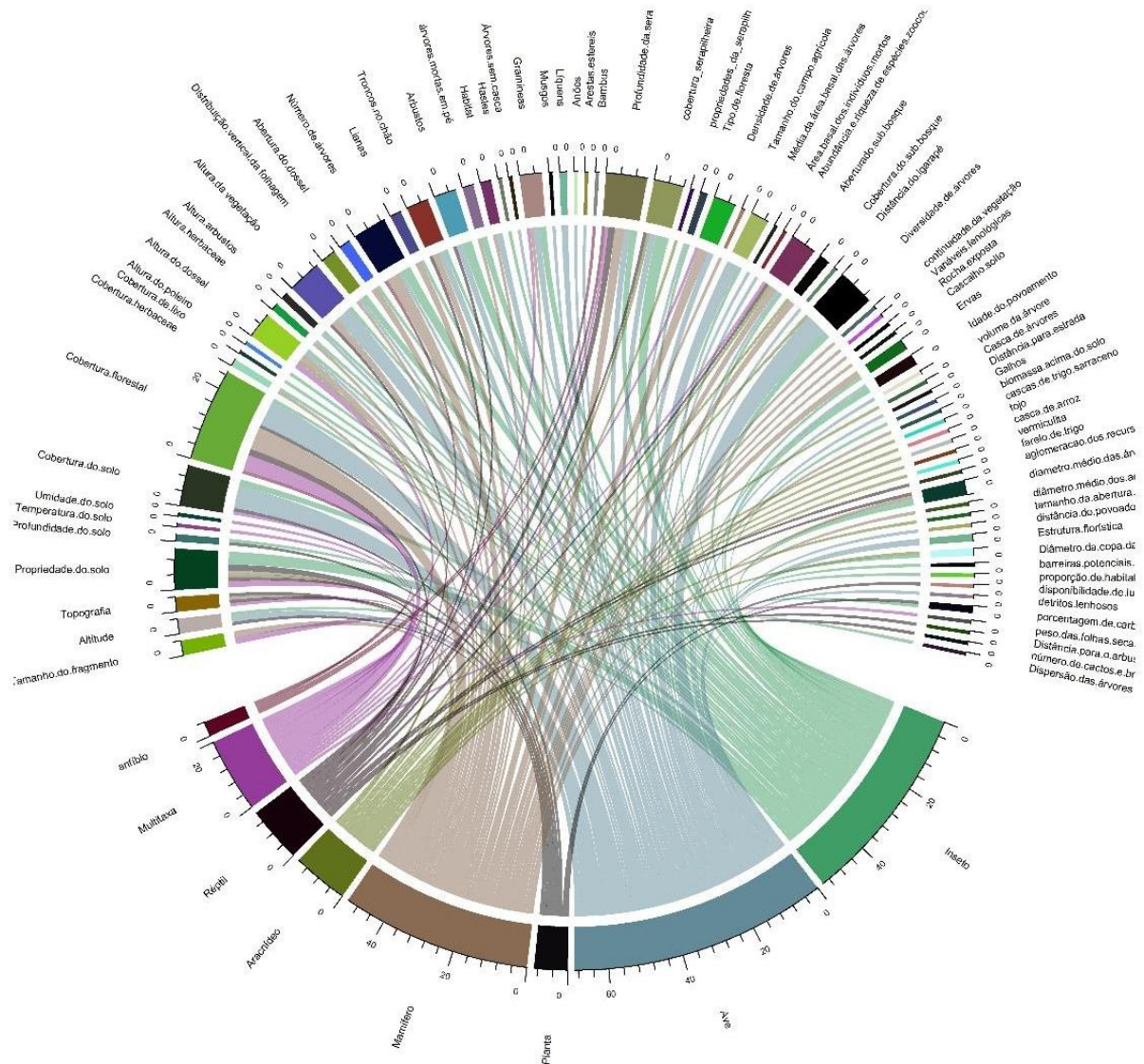


Figura 8. Volume do fluxo entre os elementos da estrutura do habitat que tiveram relação significativa positiva em relação a abundância e diversidade de diferentes espécies de diferentes tipos de *táxon*.

A cobertura florestal foi o elemento da estrutura do habitat mais citado em diferentes artigos e com maior abrangência dos diferentes tipos de *taxa*, não sendo encontrado trabalhos que o relacionasse apenas com o grupo de aracnídeos. O tipo de cobertura florestal também foi um elemento mencionado com frequência nos estudos, em contrapartida esteve relacionado apenas com trabalhos envolvendo aves, insetos, plantas e de análise multitaxa. Em seguida, as propriedades do solo e profundidade da serapilheira mostraram ser importantes na determinação dos padrões de ocorrência de pelo menos 6 dos 8 grupos estudados.

De uma forma geral os estudos que avaliaram as aves (principal *taxa* estudado) relacionaram em maior frequência, respectivamente, com a cobertura florestal, tipo de cobertura do solo, diversidade de árvores e altura média da vegetação. Os estudos que focaram em grupos de insetos, relacionaram este *taxa* em maior frequência com cobertura da serapilheira, propriedades do solo e quantidade de arbustos. Quanto aos mamíferos, foram relacionadas em sua maioria com a cobertura florestal, profundidade da serapilheira e densidade de árvores. As plantas tiveram sua relação positivas mais vezes com as propriedades do solo. Os aracnídeos e anfíbios foram relacionadas com alguns elementos da estrutura do habitat, mas não teve nenhuma repetição na avaliação da relação dessas estruturas com esses *táxon*. Os trabalhos multitaxa focaram em fazer relações com a cobertura florestal, altura do dossel, propriedades do solo e tamanho do fragmento principalmente.

Cerca de 55% das variáveis foram mensuradas em um único trabalho, o que dificulta o real conhecimento sobre a eficácia da mensuração deste tipo de variável na identificação de padrões de ocorrência de diferentes espécies. Além do fato de existirem poucos trabalhos com os mesmos tipos de parâmetros mensurados e relacionados a um mesmo *taxa*, as análises utilizadas para o processamento dos dados divergem com grande frequência, o que dificulta mais ainda a comparação de resultados.

#### **4.2 Eventos que interferem negativamente na estrutura de habitat**

Dentre os eventos que afetam negativamente a estrutura de habitat, podemos iniciar citando a substituição das áreas naturais por ambientes antropizados, pois este é um processo que têm acelerado a fragmentação das florestas e levado ao declínio dos seus elementos estruturais (Frey-ehrenbold and Bontadina, 2013; Reid and Souza, 2005). Uma das formas de fazer essa substituição, é através da retirada de floresta por meio da aplicação do manejo de fogo. A cobertura florestal, diversidade de árvores e tipo de cobertura do solo são uns dos principais elementos que constituem o habitat e que podem ser altamente impactados e reduzidos com a presença do fogo. Mesmo em um curto período de tempo, o resultado da implementação de fogo pode ser capaz de alterar padrões estruturais lenhosos em habitats de savana que podem resultar em implicações importantes na conservação do habitat (Levick et al., 2019).

A magnitude dos efeitos do fogo na estrutura da vegetação varia ao longo do gradiente ambiental, com menor redução na biomassa em áreas com solos mais

profundos (Levick et al., 2019). O solo, suas propriedades e características também está entre um dos elementos mais citados nos trabalhos de estrutura do habitat e pode ser afetado negativamente com alterações na cobertura florestal, por promover processos erosivos e afetar negativamente o amortecimento da queda das chuvas, o que resulta em impacto direto no solo e sua paulatina compactação por diminuir a estabilidade da matéria orgânica no solo (Araújo et al., 2011; Skorupa et al., 2003).

A serapilheira também é um dos 5 elementos da estrutura do habitat com maior frequência de menções nos trabalhos avaliados, e tem sua produção positivamente afetada pela riqueza de espécies arbóreas. Por outro lado, a precipitação é capaz de afetar negativamente a produção de serapilheira (Silva and Brandão, 2020).

A colheita de produtos não madeireiros também pode impactar consideravelmente a estrutura do habitat, dependendo da natureza e extensão da colheita. A colheita da casca e da madeira pode resultar em lacunas no dossel, enquanto a colheita com vara, tendência a redução da densidade das árvores, resultando em lacunas no sub-bosque (Leaver and Cherry, 2020). Sabendo da importância dessas estruturas, é fundamental entender as consequências que essas alterações na estrutura do habitat podem acarretar para a biodiversidade, meio ambiente e funcionamento do ecossistema.

## **5. Consequências das alterações ocorridas na estrutura do habitat**

### **5.1 Influência da estrutura de habitat na diversidade e abundância de indivíduos**

Interações sinérgicas emergentes de perda e fragmentação de habitats são apontadas como as principais determinantes da resposta do ecossistema, incluindo alterações no arranjo da estrutura do habitat, declínios da população e mudanças nas pirâmides tróficas (Kageyama; Gandara; Souza, 1998; Newbold et al., 2015; Bartlett et al., 2016). Assim, os tipos de habitats com menor frequência de perturbação antrópica tendem a possuir maior riqueza de espécies por metro quadrado (Wagner and Edwards, 2001).

Os menores habitats tendem a ter sua estrutura mais alterada e ter uma maior área afetada pelo efeito de borda, o que conseqüentemente aumenta as chances de eliminar e/ou afetar negativamente a ocorrência, sobrevivência e recrutamento de espécies sensíveis (Newmark, 2005, 2001), assim como aumentar o número de espécies



pioneiras e espécies tolerantes às condições climáticas do ambiente alterado (Laurance et al., 1998)

Na grande maioria dos trabalhos encontrados, a complexidade e heterogeneidade estrutural do habitat moldam a diversidade e abundância de indivíduos de forma positiva, ou seja, quanto mais complexa e heterogênea a estrutura do habitat for, mais recursos para serem convertidos em alimento, locais de refúgio e forrageamento serão disponíveis, o que pode resultar em uma expansão na quantidade de espécies (August, 1983; Neam and Lacher, 2018; Fröhlich and Ciach, 2019).

Essa tendência de acréscimo da riqueza de espécies e abundância de indivíduos em relação a heterogeneidade do habitat, foi observado para diferentes espécies de mamíferos (Freitas et al., 2005; Lawes et al., 2015; Neam and Lacher, 2018; Williams et al., 2002), aves (Fröhlich and Ciach, 2019), insetos (Souza et al., 2015), plantas (Magee et al., 2021; Smedt et al., 2018; Vidal et al., 2019) aracnídeos (Lee and Zhang, 2016; Potapov et al., 2020), répteis (Botterill-James et al., 2016; Petren and CASE, 1998) e anfíbios (López-Rojas et al., 2015). Somente algumas espécies de besouros e formigas não obedeceram a este padrão, apresentando um efeito negativo nos padrões de riqueza e diversidade (Silva et al., 2010; Lassau and Hochuli, 2004). Existem espécies que só ocorrem em determinados níveis da estratificação florestal, devido à especificidade de habitat de algumas espécies (Casas et al., 2016). A riqueza de aves em uma determinada área, também pode ser relacionada a composição da paisagem, altura do dossel e cobertura florestal tanto em áreas de floresta densa, como em áreas de pastagem (Culbert et al., 2013).

O estágio sucessional da floresta influencia os padrões de riqueza de espécies, abundância de indivíduos e composição de assembléias de aves e formigas (Casas et al., 2016; Debuse et al., 2007). A perda da cobertura florestal também pode influenciar negativamente na organização das redes de frugivoria, principalmente quando reduzida a menos de 40% da cobertura (Vidal et al., 2019). A serapilheira, densidade e altura do sub-bosque também são estrutura de habitat fundamentais para ocorrência de alguns indivíduos, estando relacionada negativamente a diversidade de aracnídeos (Potapov et al., 2020). A riqueza e abundância de espécies raras são mais comuns em florestas contínuas, em condições menos perturbadas e de maior complexidade estrutural (Bragagnolo et al., 2007). A diversidade beta de plantas e animais também é fortemente relacionada a estrutura da vegetação (Zellweger et al., 2017). Em algumas ocasiões a falta de algumas estruturas como a profundidade de serapilheira e densidade de árvores

tornam florestas secundárias inadequadas para ocorrência de algumas espécies de aves insetívoras (Stratford and Stouffer, 2013).

De uma forma geral, a complexidade arquitetônica de um habitat pode determinar as espécies presentes em um determinado conjunto, enquanto a heterogeneidade espacial tem a maior influência nos padrões de diversidade de espécies (Williams et al., 2002). Além dos padrões de abundância e diversidade de espécies, esses parâmetros também podem influenciar no comportamento social dos indivíduos dentro de um habitat.

## **5.2 Influência da estrutura do habitat no comportamento social dos indivíduos**

A estrutura do habitat pode afetar potencialmente as interações sociais, interferindo nas *táxon* em que essas interações ocorrem e quem está presente nelas (He et al., 2019). As alterações estruturais humanas do ambiente, como abertura de clareiras e maior espaçamento entre as árvores, podem facilitar a invasão e o deslocamento competitivo por recursos alimentares em um sistema (Petren and Case, 1998).

Em assentimento a este padrão, áreas com baixa heterogeneidade e complexidade estrutural podem facilitar as *táxon* de encontro entre predador e presa, o que pode resultar em alterações negativas significativas nas *táxon* de sobrevivência das presas (Lichtenstein et al., 2019; Janssen et al., 2007; Ellner et al., 2001). Desta forma, a sobrevivência das presas pode depender muito do ambiente por conta da disponibilidade de recursos suficientes a serem usados como refúgios, nidificação, forrageamento e locais de oviposição (Lee and Zhang, 2016; Lawes et al., 2015; Frey-ehrenbold and Bontadina, 2013).

A complexidade da estrutura do habitat também pode interferir no tamanho das presas e variação de indivíduos capturados, assim como no sucesso de captura (Moura et al., 2018; Morelli et al., 2015). Por conta das limitações envolvendo as maneiras como os animais podem procurar e capturar presas, a estrutura de habitat também pode influenciar em tempo ecológico e evolutivo os padrões de seleção de habitat, persistência dos indivíduos, estrutura da comunidade e ainda como alguns carnívoros reagem ao fogo ocorrente no habitat (Puig-Gironès and Pons, 2020; Deák et al., 2018; Ellner et al., 2001; Mayer et al., 2019, 2018; Olivier e outros, 2015; Robinson and Holmes, 1982).

O tamanho da abertura do dossel, por exemplo, é um elemento da estrutura de habitat que parece ser determinante para a seleção de áreas para descanso de micos (Vidal and Cintra, 2006). Quanto mais fechado o dossel da floresta, maior é a possibilidade de encontrar um local adequado para o descanso e seguro em relação a ataques de predadores (Vidal and Cintra, 2006).

Indivíduos que vivem em habitats mais abertos (menor densidade de sub-bosque) tendem a ter uma redução significativa na distância social, tendo menos contato com outros indivíduos do que aqueles que vivem em habitats mais estruturados (Leu et al., 2016). Além da estrutura do habitat, a geometria do habitat (como a forma e o limite do habitat fragmentado) também pode introduzir barreiras que resultem em uma distância social entre dois indivíduos, podendo representar distâncias muito maiores do que sua distância espacial real (Garant et al., 2005).

Esse distanciamento social interfere no fluxo gênico local, podendo levar os indivíduos a uma rápida diferenciação evolutiva (Garant et al., 2005). Em contrapartida, quando as configurações de habitat são bem conectadas e altamente estruturadas permitem a segregação espacial de espécies que possam ser possíveis competidoras, causando uma menor taxa de competição interespecífica local e aumento da coexistência dessas espécies (Boeye et al., 2014; Bretscher et al., 2018). Assim, a integração do conhecimento sobre a heterogeneidade ambiental em estudos da estrutura social é de fundamental importância para melhorar a compreensão da adaptação e a capacidade dos animais de responder a pressões seletivas (Farine and Sheldon, 2016).

Outro comportamento social que também está ligado com a estrutura do habitat é a evolução da cor da plumagem de algumas espécies de aves femininas. A coloração feminina (contraste contra o fundo) está fortemente correlacionada com a cobertura vegetal: as fêmeas em habitats abertos mostram menos contraste com as cores de fundo do que as fêmeas em habitats fechados, isso por que o risco de predação pode ser maior nesses habitats devido à maior exposição a predadores visuais (Medina et al., 2017).

E ainda, seguindo na mesma linha de raciocínio de que habitats mais abertos representam maiores risco de predação para as espécies, o cuidado parental aumenta com o aumento da complexidade de habitat em espécies de lagartos, por gastar menor tempo se defendendo de possíveis predadores e procurando alimentos (Botterill-James et al., 2016). Assim, é possível observar como a estrutura de habitat é capaz de moldar padrões importantes para a sobrevivência e qualidade de vida da biodiversidade nativa,

podendo ser utilizada como uma alternativa de indicador de conservação da biota nativa.

### **5.3 Relação da estrutura de habitat com o ambiente e funcionamento do ecossistema**

A alteração na quantidade e ocorrência de algumas estruturas físicas (estrutura do habitat) de dentro do fragmento podem alterar o ambiente e a qualidade do habitat disponível (Vellend et al., 2006). A complexidade estrutural está relacionada a quantidade absoluta dos elementos espaciais da estrutura física do ambiente (McCoy and Bell, 1991) e é um fator determinante (M. Douglas and Lake, 1994). Se dois habitats têm áreas superficiais semelhantes, mas uma tem maior complexidade e heterogeneidade estrutural, criando assim uma maior quantidade/variedade de recursos, formas de exploração de recursos e diversidade de nichos, então esse habitat tende a suportar uma maior riqueza de espécies (McCoy and Bell, 1991; Schimed, 1999).

A complexidade estrutural do habitat influencia direta e indiretamente o ambiente térmico e pode melhorar ou limitar a adequação térmica (Singh et al., 2002; Vitt et al., 1998). Mesmo mudanças modestas na estrutura do habitat podem resultar em ambientes térmicos alterados em uma escala espacial pequena, influenciado mais organismos de tamanho pequeno a moderado que habitam esta área (Milling et al., 2018).

Nesse contexto, estruturas de habitat complexas podem ser melhor utilizadas como refúgio termal para lidarem com as variações climáticas, o que pode permitir algumas espécies a sobreviverem mais tempo ou migrar para condições mais favoráveis (Liow et al., 2009). Estudos sobre a complexidade e heterogeneidade de habitats pode ajudar ecologistas e gestores de terras a identificarem refúgios térmicos críticos que a modelagem climática em larga escala pode ignorar e, assim, contribuir para uma compreensão do habitat animal e as relações sob mudanças climáticas e usos da terra (Milling et al., 2018)

A estrutura da floresta, especificamente a altura do povoamento e a composição das espécies, são elementos influentes na determinação do vento. Os povoamentos mais altos são mais vulneráveis, especialmente aqueles dominados por abetos (*Picea* spp.) e pinheiros balsâmicos (*Abies balsamea*), enquanto a maior abundância de madeira e pinheiros ajuda a reduzir a queda de árvores pelo vento (Taylor, 2019).

Além disso, algumas alterações que podem ocorrer na estrutura do habitat também são capazes de afetar o funcionamento do ecossistema. A alteração na quantidade e ocorrência dessas estruturas físicas (estrutura do habitat) de dentro do fragmento podem alterar o ambiente e a qualidade do habitat disponível (Vellend et al., 2006). Quanto menor o tamanho dos habitats, maior é sua dependência na biodiversidade remanescente para manter o funcionamento do ecossistema de forma adequada. Essa dependência acontece por conta da perda de estruturas fundamentais e falta do fluxo ecológico oriunda dos indivíduos perdidos (Liu et al., 2018).

O grau de isolamento do habitat também é uma determinante para a qualidade do ambiental e funcionamento do ecossistema, pois quanto maior for o isolamento do habitat, menor é a quantidade e possibilidades de haver fluxo ecológico entre habitats próximos (Liu et al., 2018). Assim, os habitats passam a funcionar como ilhas de diversidade cercadas por áreas não florestadas. Isso ocorre independente da matriz de intervenção da continuidade do habitat (Debinski and Holt, 2000).

## **6. Estrutura de habitat como indicador da qualidade ambiental do fragmento**

A estrutura do habitat é um componente que tem se mostrado mais importante na determinação dos padrões encontrados em um fragmento quanto ao hábito, tipo funcional e síndrome de dispersão de algumas espécies do que a conectividade da paisagem, que é um parâmetro amplamente utilizado em estudos sobre a conservação da biodiversidade (Pivello et al., 2006).

Os efeitos ecológicos oriundos da perda de habitat e alteração de sua estrutura física podem variar consideravelmente entre os grupos de espécies, dependendo dos atributos estruturais medidos, variações em escalas espaciais e temporais, assim como características específicas que são relacionadas à persistência, dispersão e recrutamento da própria espécie (Lindborg et al., 2012; Verheyen et al., 2003; Wiens, 2007).

Dessa forma, a presença ou qualidade de variáveis baseadas na estrutura do habitat pode funcionar como indicadores da qualidade do habitat e subsidiar a identificação da biodiversidade local (Lindenmayer et al., 2000). Em termos de gestão da biodiversidade, isso significa que a conservação de uma estrutura fundamental aumentará a qualidade do habitat e manterá um alto nível de biodiversidade, ao passo que sua remoção provavelmente levará a uma quebra na diversidade de espécies.

O parâmetro de estrutura de habitat determinante para a presença ou ausência de uma espécie dentro de um ambiente é conhecido como "estrutura-chave" (Tews et al., 2004). O tipo de parâmetro considerado "chave" (primordial) para ocorrência de uma espécie, depende da especificidade de cada *taxa* e de repetições de estudos analisando a relação desses elementos (Tews et al., 2004).

Em áreas intensamente antropizadas a utilização de indicadores que auxiliem a identificação da biodiversidade é uma alternativa de suma importância para o monitoramento da conservação da biodiversidade (Noss, 1990). Entretanto, os trabalhos sobre monitoramento da biodiversidade, geralmente abordam como indicadores somente fatores ligados a composição da comunidade da flora e fauna (Araújo et al., 2018; Gaston and Blackburn, 1995; Girotti et al., 2020), o que gera altos custos com inventário florestal e a identificação de espécies (Imai et al., 2014).

Uma alternativa para amenizar essa problemática poderia ser a identificação das estruturas chaves de cada *taxa* dentro da floresta, visto que diferentes grupos de espécies estão intimamente ligados a estruturas determinantes (estruturas-chave) para a sua presença ou ausência dentro de um ambiente para ser utilizada como indicador para a manutenção da biodiversidade (Tews et al., 2004).

Os estudos que caracterizam a influência da estrutura e complexidade do habitat sobre a biodiversidade, utilizam diferentes métricas de estrutura de habitat independentemente se estão sendo analisadas espécies semelhantes ou não (Fröhlich and Ciach, 2019; Lee and Zhang, 2016; Lichtenstein et al., 2019; Macdonald et al., 2019; Neam and Lacher, 2018; Souza et al., 2015; Vidal et al., 2019). Isto dificulta a identificação de estruturas-chave para a ocorrência e sobrevivência das espécies.

A identificação dessas estruturas-chave é importante para a realização de práticas de manejo que possam aumentar a complexidade estrutural do habitat e *b* diversidade de plantas (Potapov et al., 2020), de acordo com diagnósticos da situação do habitat de interesse a ser monitorado. Algumas literaturas já trazem a descrição de relações de dependência de alguns *táxon* com elementos específicos da estrutura do habitat (Tabela 4).

Tabela 4. Elementos da estrutura do habitat que são chave para ocorrência e diversidade de espécies.

<b>Estrutura-chave</b>	<b>Taxa</b>	<b>Bioma</b>	<b>Referência</b>
Cobertura florestal até pelo menos 40%	Organização básica das redes de frugivoria	Mata Atlântica	Vidal et al., 2019
Cobertura florestal até pelo menos 30%	Riqueza de espécies de mamíferos	Mata atlântica	Estavilo et al., 2013
Estratificação florestal	Ocorrência de aves	Mata Atlântica	Casas et al., 2016
Pântanos temporários	Ocorrência de diversos <i>táxon</i>	Savanas Africanas	Tews et al., 2004

Ainda é necessário destacar a necessidade de considerar a complexidade e heterogeneidade do habitat como variáveis-chave que influenciam as respostas das espécies dentro de um ambiente (Villaseñor et al., 2014). As variáveis listadas na Tabela 2 não são as únicas consideradas “chave” para vasta gama de espécies conhecidas, mas já são um passo à frente para subsidiar a elaboração de um protocolo de monitoramento da conservação da biodiversidade, por meio da utilização de check-list da quantidade e qualidade das estruturas fundamentais para cada *taxa*. Assim, será possível ter um maior controle da qualidade do habitat com o adendo da redução de custos com inventário da biota para identificação de espécies (Imai et al., 2014).

Alguns trabalhos já sugerem que o detalhamento da estrutura do habitat em 3-D é altamente relevante para aprofundar nossa compreensão da assembleia de comunidades baseadas em nichos e que as diferenças nos tempos de resposta dos *táxon* interagentes com a estrutura do habitat local, devem ser levadas em consideração nas avaliações de impacto das mudanças ambientais sobre a biodiversidade (Zellweger et al., 2017). Além disso, alguns parâmetros da estrutura do habitat já foram utilizados em modelos para prever a ocorrência de espécies em florestas amazônica e gerou resultados com um efeito maior do que as variáveis de borda na ocorrência da maioria dos mamíferos (Villaseñor et al., 2014).

Mediante as evidências de que a estrutura de habitat tem a capacidade de auxiliar o monitoramento da biodiversidade, é necessário ampliar a abordagem das pesquisas futuras para propiciar o desenvolvimento de estruturas de políticas transversais e soluções de gestão que utilizem da heterogeneidade e complexidade do habitat para restaurar e sustentar a biodiversidade (Benton et al., 2003). Vale ressaltar que essa

abordagem não visa substituir os métodos tradicionais já utilizados, mas sim ser utilizada como suporte em casos em que já se conhecem as espécies típicas da região e o seu comportamento com o ambiente.

## **7. Conclusões**

Esta revisão trouxe conceitos básicos para auxiliar o entendimento e eliminar algumas confusões que ainda eram trazidas nas publicações sobre estrutura do habitat: definição de estrutura do habitat como a quantidade, composição e arranjo tridimensional da matéria física (abiótica e biótica) em um local, descrita por Bell et al. (1990); heterogeneidade estrutural como o número de estruturas diferentes em um habitat, descrito por Byrne (2007); e complexidade como a quantidade absoluta dos componentes da matéria física em uma escala definida.

Foi possível perceber que este eixo temático ainda é pouco estudado, a falta de conexão entre os autores mais influentes dificulta os avanços da ciência nesta temática, ficando clara a importância da aproximação destes núcleos de pesquisa para a melhor disseminação dos resultados encontrados assim como a criação de um periódico específico. O estudo traz informações relevantes para auxiliar a ampliar o número de estudos nesta temática, como as principais palavras-chaves (heterogeneidade do habitat, perda do habitat, estrutura do habitat, complexidade do habitat) utilizadas para divulgação e principais periódicos (Landscape Ecology, Oecologia, Plos one) que divulgam estudos nesta temática.

Com a análise dos artigos, foi possível perceber que as alterações ocorridas na estrutura de habitat podem influenciar a ocorrência de algumas espécies no local, dependendo da especificidade e exigências perante o habitat por cada indivíduo. Além da ocorrência, padrões como dispersão, diversidade beta e alfa, padrões de competição, interações sociais e até mesmo o funcionamento do ecossistema pode ser alterado.

As variáveis mais importantes para serem mensuradas em estudos sobre a estrutura do habitat são a cobertura florestal, tipo de cobertura do solo, propriedades do solo, diversidade de árvores, altura média da vegetação, abertura do sub-bosque, altura do dossel, cobertura e profundidade da serapilheira e tamanho do fragmento. Estes elementos da estrutura do habitat foram considerados mais importantes por serem os



que mais apareceram em trabalhos em que a influência da estrutura do habitat foi positivamente relacionada com os *táxon* estudados.

Algumas estruturas são consideradas “chave” por serem determinantes para ocorrência de algumas espécies. No presente estudo foi possível identificar que a cobertura florestal é uma estrutura-chave para organização básica das redes de frugivoria e riqueza de espécies de mamíferos, a estratificação florestal é uma estrutura-chave para ocorrência das aves e pântanos temporários são chave para ocorrência de diversos *táxon*. Esses resultados são importantes para auxiliar equipe de gestores a utilizarem a complexidade e heterogeneidade do habitat como pilares para restaurar e sustentar a biodiversidade.

A fim de utilizar a estrutura do habitat como auxílio para o entendimento da qualidade do ambiente, é importante entender o que altera a estrutura do habitat. Foi verificado que a ruptura de florestas, alteração e tipo de cobertura florestal, manejo de fogo e coleta de matéria-prima florestal são capazes de alterar as estruturas que compõem o habitat. Mesmo assim, ainda são incipientes estudos que investigam quais variáveis influenciam diretamente as estruturas do habitat.

## 8. Referências

- Araújo, E.A. De, Ker, J.C., Mendonça, E.D.S., Ribeiro, I., Oliveira, K., 2011. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amaz.* 41, 103–114.
- Araújo, F.G., Morado, C.N., Parente, T.T.E., Paumgarten, F.J.R., Gomes, I.D., 2018. Biomarkers and bioindicators of the environmental condition using a fish species (*Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803) in a tropical reservoir in Southeastern Brazil. *Brazilian J. Biol.* 78, 351–359. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.167209>
- Audino, L.D., Murphy, S.J., Zambaldi, U., Louzada, J., Comita, L.S., 2017. Drivers of community assembly in tropical forest restoration sites: role of local environment, landscape, and space. *Ecol. Appl.* 27, 1731–1745. <https://doi.org/10.1002/eap.1562>
- August, P. V., 1983. The Role of Habitat Complexity and Heterogeneity in Structuring Tropical Mammal Communities Author ( s ): Peter V . August Published by: Ecological Society of America Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1937504> . 64, 1495–1507.
- Bartlett, L.J., Newbold, T., Purves, D.W., Tittensor, D.P., Harfoot, M.B.J., 2016. Synergistic impacts of habitat loss and fragmentation on model ecosystems. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1027>
- Bell, S.S., McCoy, E.D., Mushinsky, H.R., 1991. *Population and Community Biology*

Population and Community Biology Series.

- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Ecol. Evol.* 18, 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Boeye, J., Kubisch, A., Bonte, D., 2014. Habitat structure mediates spatial segregation and therefore coexistence. *Landsc. Ecol.* 29, 593–604. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0010-6>
- Botterill-James, T., Halliwell, B., Cooper-Scott, E., Uller, T., Wapstra, E., While, G.M., 2016. Habitat structure influences parent-offspring association in a social lizard. *Front. Ecol. Evol.* 4, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00096>
- Bragagnolo, C., Nogueira, A.A., Pinto-da-Rocha, R., Pardini, R., 2007. Harvestmen in an Atlantic forest fragmented landscape: Evaluating assemblage response to habitat quality and quantity. *Biol. Conserv.* 139, 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.008>
- Bretscher, A., Dittel, J.W., Lambert, T.D., Adler, G.H., 2018. Habitat structure influences refuge use by two sympatric species of Neotropical forest rodents. *J. Mammal.* 99, 1465–1471. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy139>
- Casas, G., Darski, B., Ferreira, P.M.A., Kindel, A., Müller, S.C., 2016. Habitat Structure Influences the Diversity, Richness and Composition of Bird Assemblages in Successional Atlantic Rain Forests. *Trop. Conserv. Sci.* 9, 503–524. <https://doi.org/10.1177/194008291600900126>
- Culbert, P.D., Radeloff, V.C., Flather, C.H., Kellndorfer, J.M., Rittenhouse, C.D., Pidgeon, A.M., 2013. The Influence of vertical and horizontal habitat structure on nationwide patterns of avian biodiversity. *Auk* 130, 656–665. <https://doi.org/10.1525/auk.2013.13007>
- Deák, B., Valkó, O., Török, P., Kelemen, A., Bede, Á., Csathó, A.I., Tóthmérész, B., 2018. Landscape and habitat filters jointly drive richness and abundance of specialist plants in terrestrial habitat islands. *Landsc. Ecol.* 33, 1117–1132. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0660-x>
- Debinski, D.M., Holt, R.D., 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conserv. Biol.* 14, 342–355. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98081.x>
- Debuse, V.J., King, J., House, A.P.N., 2007. Effect of fragmentation, habitat loss and within-patch habitat characteristics on ant assemblages in semi-arid woodlands of eastern Australia. *Landsc. Ecol.* 22, 731–745. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9068-0>
- Díaz, A., Galante, E., Favila, M.E., 2010. The effect of the landscape matrix on the distribution of dung and carrion beetles in a fragmented tropical rain forest. *J. Insect Sci.* 10, 1–16.
- Ellner, S.P., McCauley, E., Kendall, B.E., Briggs, C.J., Hosseini, P.R., Wood, S.N., Janssen, A., Sabelis, M.W., Turchin, P., Murdoch, R.M.N., W., W., 2001. Habitat structure and population persistence in an experimental community. *Nature* 412, 538–543.

- Farine, D.R., Sheldon, B.C., 2016. Stable multi-level social structure is maintained by habitat geometry in a wild bird population. *Biorxiv* 1–30.
- Freitas, R.R., Rocha, P.L.B. da, Simões-Lopes, P.C., 2005. Habitat structure and small mammals abundances in one semiarid landscape in the Brazilian Caatinga. *Rev. Bras. Zool.* 22, 119–129. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000100015>
- Frey-ehrenbold, A., Bontadina, F., 2013. Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices 252–261. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12034>
- Fröhlich, A., Ciach, M., 2019. Nocturnal noise and habitat homogeneity limit species richness of owls in an urban environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 17284–17291. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05063-8>
- Garant, D., Kruuk, L.E.B., Wilkin, T.A., McCleery, R.H., 2005. Evolution driven by differential dispersal within a wild bird population. *Nature* 433, 60–65.
- Gaston, K.J., Blackburn, T.M., 1995. Birds, body size and the threat of extinction. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 347, 205–212. <https://doi.org/10.1098/rstb.1995.0022>
- Girotti, S., Ghini, S., Ferri, E., Bolelli, L., Colombo, R., Serra, G., Porrini, C., Sangiorgi, S., 2020. Bioindicators and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area. *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.* 5, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00204-9>
- Gomes, J.P., Iannuzzi Luciana, Leal, I.R., 2010. Response of the Ant Community to Attributes of Fragments and Vegetation in a Northeastern Atlantic Rain Forest Area, Brazil. *Ecol. Behav. bionomics* 39, 898–905. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600008>
- He, P., Maldonado-Chaparro, A.A., Farine, D.R., 2019. The role of habitat configuration in shaping social structure: a gap in studies of animal social complexity. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 73. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2602-7>
- Imai, N., Tanaka, A., Samejima, H., Sugau, J.B., Pereira, J.T., Titin, J., Kurniawan, Y., Kitayama, K., 2014. Tree community composition as an indicator in biodiversity monitoring of REDD+. *For. Ecol. Manage.* 313, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.041>
- Jokimäki, J., Huhta, E., 1996. Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland: A multi-scale approach. *Ornis Fenn.* 73, 97–113.
- Kageyama, P.Y., Gandara, F.B., Souza, L.M.I. De, 1998. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. *SÉRIE TÉCNICA IPEF* 12, 65–70.
- Kang, W., Minor, E.S., Park, C.R., Lee, D., 2015. Effects of habitat structure, human disturbance, and habitat connectivity on urban forest bird communities. *Urban Ecosyst.* 18, 857–870. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0433-5>
- Kostylev, V.E., Erlandsson, J., Mak, Y.M., Williams, G.A., 2005. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: Fractal

- application on rocky shores. *Ecol. Complex.* 2, 272–286. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2005.04.002>
- Lassau, S.A., Hochuli, D.F., 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography (Cop.)*. 2, 157–164.
- Laurance, W.F., Ferreira, L. V, Merona, J.M.R., Susan, G., Hutchings, R.W., Lovejoy, T.E., Laurance, W.F., Ferreira, L. V, Merona, J.M.R., 1998. Effects of Forest Fragmentation on Recruitment Patterns in Amazonian Tree Communities. *Conserv. Biol.* 12, 460–464.
- Lawes, M.J., Fisher, D.O., Johnson, C.N., Blomberg, S.P., Frank, A.S.K., Fritz, S.A., McCallum, H., VanDer Wal, J., Abbott, B.N., Legge, S., Letnic, M., Thomas, C.R., Thurgate, N., Fisher, A., Gordon, I.J., Kutt, A., 2015. Correlates of recent declines of rodents in northern and southern Australia: Habitat structure is critical. *PLoS One* 10, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130626>
- Leaver, J., Cherry, M.I., 2020. Forest product harvesting in the Eastern Cape, South Africa: Impacts on habitat structure. *S. Afr. J. Sci.* 116, 1–9. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/7508>
- Lee, M.H., Zhang, Z.Q., 2016. Habitat structure and its influence on populations of *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae). *Syst. Appl. Acarol.* 21, 1361–1378. <https://doi.org/10.11158/saa.21.10.7>
- Leu, S.T., Farine, D.R., Wey, T.W., Sih, A., Bull, C.M., 2016. Environment modulates population social structure: experimental evidence from replicated social networks of wild lizards. *Anim. Behav.* 111, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.10.001>
- Levick, S.R., Richards, A.E., Cook, G.D., Schatz, J., Guderle, M., Williams, R.J., 2019. Rapid response of habitat structure and above-ground carbon storage to altered fire regimes in tropical savanna 1493–1503.
- Lichtenstein, J.L.L., Daniel, K.A., Wong, J.B., Wright, C.M., Doering, G.N., Costa-Pereira, R., Pruitt, J.N., 2019. Habitat structure changes the relationships between predator behavior, prey behavior, and prey survival rates. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04344-w>
- Lindborg, R., Helm, A., Bommarco, R., Heikkinen, R.K., Kühn, I., Pykälä, J., Pärtel, M., 2012. Effect of habitat area and isolation on plant trait distribution in European forests and grasslands. *Ecography (Cop.)*. 35, 356–363. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.07286.x>
- Lindenmayer, D.B., Margules, C.R., Botkin, D.B., 2000. Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management. *Soc. Conserv. Biol.* 14, 941–950.
- Liow, L.H., Fortelius, M., Lintulaakso, K., Mannila, H., Stenseth, N.C., 2009. Lower extinction risk in sleep-or-hide mammals. *Am. Nat.* 173, 264–272. <https://doi.org/10.1086/595756>
- Liu, Jiajia, Wilson, M., Hu, G., Liu, Jinliang, Wu, J., Yu, M., 2018. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship? *Landsc. Ecol.* 33, 341–352. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0620-5>
- M. Douglas, Lake, P.S., 1994. Species Richness of Stream Stones: An Investigation of

- the Mechanisms Generating the Species-Area Relationship. *Nord. Soc. Oikos* 69, 387–396.
- Macdonald, D.W., Bothwell, H.M., Kaszta, Ž., Ash, E., Bolongon, G., Burnham, D., Can, Ö.E., Campos-Arceiz, A., Channa, P., Clements, G.R., Hearn, A.J., Hedges, L., Htun, S., Kamler, J.F., Kawanishi, K., Macdonald, E.A., Mohamad, S.W., Moore, J., Naing, H., Onuma, M., Penjor, U., Rasphone, A., Mark Rayan, D., Ross, J., Singh, P., Tan, C.K.W., Wadey, J., Yadav, B.P., Cushman, S.A., 2019. Multi-scale habitat modelling identifies spatial conservation priorities for mainland clouded leopards (*Neofelis nebulosa*). *Divers. Distrib.* 25, 1639–1654. <https://doi.org/10.1111/ddi.12967>
- Magee, L., Wolf, A., Howe, R., Schubbe, J., Hagenow, K., Turner, B., 2021. Density dependence and habitat heterogeneity regulate seedling survival in a North American temperate forest. *For. Ecol. Manage.* 480, 118722. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118722>
- Mayer, M., Ullmann, W., Heinrich, R., Fischer, C., Blaum, N., Sunde, P., 2019. Seasonal effects of habitat structure and weather on the habitat selection and home range size of a mammal in agricultural landscapes. *Landsc. Ecol.* 9. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00878-9>
- Mayer, M., Ullmann, W., Sunde, P., Fischer, C., Blaum, N., 2018. Habitat selection by the European hare in arable landscapes: The importance of small-scale habitat structure for conservation. *Ecol. Evol.* 8, 11619–11633. <https://doi.org/10.1002/ece3.4613>
- McCoy, S.S., Bell, E.D., 1991. Habitat structure: The evolution and diversification of a complex topic, in: *Habitat Structure: The Physical Arrangement of Objects in Space*. pp. 3–27.
- Medina, I., Delhey, K., Peters, A., Cain, K.E., Hall, M.L., Mulder, R.A., Langmore, N.E., 2017. Habitat structure is linked to the evolution of plumage colour in female, but not male, fairy-wrens. *BMC Evol. Biol.* 17, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0861-3>
- Milling, C.R., Rachlow, J.L., Olsoy, P.J., Chappell, M.A., Johnson, T.R., Forbey, J.S., Shipley, L.A., Thornton, D.H., 2018. Habitat structure modifies microclimate: An approach for mapping fine-scale thermal refuge, *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13008>
- Moura, R.F., Tizo-pedroso, E., Del-claro, K., 2018. Colony size, habitat structure, and prey size shape the predation ecology of a social pseudoscorpion from a tropical savanna. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 72–103.
- Neam, K.D., Lacher, T.E., 2018. Multi-scale effects of habitat structure and landscape context on a vertebrate with limited dispersal ability (the brown-throated sloth, *Bradypus variegatus*). *Biotropica* 50, 684–693. <https://doi.org/10.1111/btp.12540>
- Newmark, W., 2005. Diel variation in the difference in air temperature between the forest edge and interior in the Usambara Mountains, Tanzania. *Afr. J. Ecol.* 43, 177–180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2005.00557.x>
- Newmark, W.D., 2001. Tanzanian Forest Edge Microclimatic Gradients: Dynamic Patterns. *Biotropica* 33, 2. <https://doi.org/10.1646/0006->

3606(2001)033[0002:tfemgd]2.0.co;2

- Noss, R.F., 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conserv. Biol.* 4, 355–364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Olivier e outros, R. da S., 2015. Habitat structure in the composition of leaf-litter insects in mosaic environment. *Acta Biológica Parana.* 44, 71–87. <https://doi.org/10.5380/abpr.v44i1-4.43831>
- Pardini, R., Bueno, A. de A., Gardner, T.A., Prado, P.I., Metzger, J.P., 2010. Beyond the Fragmentation Threshold Hypothesis: Regime Shifts in Biodiversity Across Fragmented Landscapes. *PLoS One* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013666>
- Pauchard, A., Milbau, A., Albiñ, A., Alexander, J., Burgess, T., Daehler, C., Englund, G., Essl, F., Evengård, B., Greenwood, G.B., Haider, S., Lenoir, J., McDougall, K., Muths, E., Nuñez, M.A., Olofsson, J., Pellissier, L., Rabitsch, W., Rew, L.J., Robertson, M., Sanders, N., Kueffer, C., 2016. Non-native and native organisms moving into high elevation and high latitude ecosystems in an era of climate change: new challenges for ecology and conservation. *Biol. Invasions* 18, 345–353. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1025-x>
- Petren, K., CASE, T.J., 1998. Habitat structure determines competition intensity and invasion success in gecko lizards. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 95, 11739–11744.
- Pivello, V.R., Petenon, D., Jesus, F.M. De, Meirelles, S.T., Vidal, M.M., Azevedo, R. De, Alonso, S., Antônio, G., Corrêa, D., Metzger, J.P., 2006. Chuva de sementes em fragmentos de Floresta Atlântica (São Paulo, SP, Brasil), sob diferentes situações de conectividade, estrutura florestal e proximidade da borda. *Acta Bot. Brasilica* 20, 845–859.
- Potapov, A.M., Dupérré, N., Jochum, M., Dreczko, K., Klärner, B., Barnes, A.D., Krashevskaya, V., Rembold, K., Kreft, H., Brose, U., Widayastuti, R., Harms, D., Scheu, S., 2020. Functional losses in ground spider communities due to habitat structure degradation under tropical land-use change. *Ecology* 101, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ecy.2957>
- Puig-Gironès, R., Pons, P., 2020. Mice and habitat complexity attract carnivorans to recently burnt forests. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/F11080855>
- Püttker, T., Barros, C.S., Pinotti, B.T., Bueno, A.A., Pardini, R., 2019. Co-occurrence patterns of rodents at multiple spatial scales: Competitive release of generalists following habitat loss? *J. Mammal.* 100, 1229–1242. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz083>
- Püttker, T., Bueno, A.A., dos Santos de Barros, C., Sommer, S., Pardini, R., 2013. Habitat specialization interacts with habitat amount to determine dispersal success of rodents in fragmented landscapes. *J. Mammal.* 94, 714–726. <https://doi.org/10.1644/12-mamm-a-119.1>
- Püttker, T., de Arruda Bueno, A., Prado, P.I., Pardini, R., 2015. Ecological filtering or random extinction? Beta-diversity patterns and the importance of niche-based and neutral processes following habitat loss. *Oikos* 124, 206–215. <https://doi.org/10.1111/oik.01018>

- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reid, J., Souza JUNIOR, W.C. de, 2005. Infrastructure and Conservation Policy in Brazil. *Conserv. Biol.* 19, 740–746.
- Renó, V., Novo, E., Escada, M., 2016. Forest fragmentation in the lower amazon floodplain: Implications for biodiversity and ecosystem service provision to riverine populations. *Remote Sens.* 8. <https://doi.org/10.3390/rs8110886>
- Robinson, S.K., Holmes, R.T., 1982. Foraging behavior of forest birds: the relationships among search tactics, diet, and habitat structure. *Ecol. Soc. Am.* 63, 1918–1931.
- Ryser, R., Häussler, J., Stark, M., Brose, U., Rall, B.C., Guill, C., 2019. The biggest losers: habitat isolation deconstructs complex food webs from top to bottom.
- Sanchez-de-Jesus, A., H., Arroyo-Rodriguez, V., Andresen, E., Escobar, F., 2016. Forest loss and matrix composition are the major drivers shaping dung beetle assemblages in a fragmented rainforest. *Landsc. Ecol.* 31, 843–854. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0293-2>
- Schimed, P.E., 1999. Fractal Properties of Habitat and Patch Structure in Benthic Ecosystems. [https://doi.org/10.1016/s0065-2504\(08\)60021-5](https://doi.org/10.1016/s0065-2504(08)60021-5)
- Silva, C.R. da, Brandão, C.B., 2020. Análise da decomposição da serapilheira na floresta da tijuca-rj através do uso de litter bags analysis of the decomposition of the plant litter in the tijuca forest - rj through the use of litter bags Análise da Decomposição da introdução A Floresta Atlâ. *Rev. Humboldt*.
- Silva, P.G. da, Silva, F.C.G. da, Garcia, M.A. da R., Coelho, E.B., Martins, L.A., 2010. Importância dos besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) para o município de Bagé, Rio Grande do Sul. *Rev. Congrega URCAMP* 1–11.
- Singh, S., Smyth, A.K., Blomberg, S.P., 2002. Thermal ecology and structural habitat use of two sympatric lizards (*Carlia vivax* and *Lygisaurus foliorum*) in subtropical Australia. *Austral Ecol.* 27, 616–623. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2002.01222.x>
- Skorupa, L.A., Saito, M.L., Neves, M.C., 2003. Indicadores de cobertura florestal, in: *Indicadores de Sustentabilidade Em Agroecossistemas*. Embrapa Meio Ambiente, p. 35.
- SOS Mata Atlântica, INPE., 2019. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2017-2018. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 65.
- Souza, A.M., Fogaça, F.N.O., Cunico, A.M., Higuti, J. a., 2015. Does the habitat structure control the distribution and diversity of the Odonatofauna? *Brazilian J. Microbiol.* 75, 598–606.
- Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T., 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* 121, 432–440.
- Stratford, J.A., Stouffer, P.C., 2013. Microhabitat associations of terrestrial insectivorous birds in Amazonian rainforest and second-growth forests. *J. F. Ornithol.* 84, 1–12. <https://doi.org/10.1111/jof.12000>
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielborger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M.,

- Jeltsch, F., 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity / diversity: the importance of keystone structures. *J. Biogeogr.* 31, 79–92.
- Vellend, M., Verheyen, K., Jacquemyn, H., Kolb, A., Van Calster, H., Peterken, G., Hermy, M., 2006. Extinction debt of forest plants persists for more than a century following habitat fragmentation. *Ecology* 87, 542–548.
- Verheyen, K., Bossuyt, B., Honnay, O., Hermy, M., 2003. Herbaceous plant community structure of ancient and recent forests in two contrasting forest types. *Basic Appl. Ecol.* 4, 537–546. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00210>
- Vidal, M.D., Cintra, R., 2006. Efeito dos componentes estruturais da floresta na ocorrência, tamanho e densidade de grupos do sauí-de-coleira (*Saguinus bicolor* – Primates: Callitrichinae), na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 36, 237–248. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200014>
- Vidal, M.M., Banks-leite, C., Tambosi, L.R., Hasui, É., Ferreira, P., Silva, W.R., Roberto, P., Jr, G., Metzger, J.P., 2019. Predicting the non-linear collapse of plant–frugivore networks due to habitat loss. *Ecography (Cop.)*. 42, 1765–1776. <https://doi.org/10.1111/ecog.04403>
- Villaseñor, N.R., Blanchard, W., Driscoll, D.A., Gibbons, P., Lindenmayer, D.B., 2014. Strong influence of local habitat structure on mammals reveals mismatch with edge effects models. *Landsc. Ecol.* <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0117-9>
- Vitt, L.J., Avila-pires, T.C.S., Caldwell, J.P., Veronica, R.L., 1998. The Impact of Individual Tree Harvesting on Thermal Environments of Lizards in Amazonian Rain Forest Linked references are available on JSTOR for this article: The Impact of Individual Tree Harvesting on Thermal Environme. *Conserv. Biol.* 12.
- Wagner, H.H., Edwards, P.J., 2001. Quantifying habitat specificity to assess the contribution of a patch to species richness at a landscape scale. *Landsc. Ecol.* 16, 121–131. <https://doi.org/10.1023/A:1011118007670>
- Wang, R., Zhang, X., Shi, Y.S., Li, Y.Y., Wu, J., He, F., Chen, X.Y., 2020. Habitat fragmentation changes top-down and bottom-up controls of food webs. *Ecology* 101, 1–9. <https://doi.org/10.1002/ecy.3062>
- Wiens, J.A., 2007. Spatial scaling in ecology. *Funtional Ecol.* 3, 385–397.
- Williams, S.E., Marsh, H., Winter, J., 2002. Spatial scale, species diversity, and habitat structure: Small mammals in Australian tropical rain forest. *Ecology* 83, 1317–1329. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1317:SSSDAH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1317:SSSDAH]2.0.CO;2)
- Wright, S.J., 2005. Tropical forests in a changing environment. *Trends Ecol. Evol.* 20, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.009>
- Zellweger, F., Roth, T., Bugmann, H., Bollmann, K., 2017. Beta diversity of plants, birds and butterflies is closely associated with climate and habitat structure. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 1–9. <https://doi.org/10.1111/geb.12598>



## **Artigo 2: Relações da paisagem com a estrutura do habitat local e o microclima no interior de fragmentos florestais**

(Artigo preparado de acordo com as normas da revista Landscape Research)

### **Resumo**

Poucos estudos relacionaram diretamente a paisagem com os elementos da estrutura do habitat. Assim, o objetivo foi caracterizar o efeito da paisagem sobre a estrutura do habitat e do microclima local. A investigação foi realizada em 30 paisagens localizadas na Mata atlântica. A partir da modelagem de dados extraídos de imagens de satélite e coleta de dados *in local*, foi possível verificar que a cobertura florestal exerce grande influência sobre estruturas do habitat que são fundamentais (abertura do sub-bosque, abertura do dossel, diversidade da serrapilheira, matéria orgânica e serapilheira) para ocorrência de algumas espécies e do microclima local (umidade máxima, temperatura mínima e temperatura máxima). Esses resultados são importantes para subsidiar a identificação do limiar da ação antrópica sobre a estrutura de habitat e microclima local, além de auxiliar o entendimento da capacidade das florestas remanescentes de manter sua biodiversidade e os processos ecológicos.

**Palavras-chave:** Ecologia de paisagem, Fragmentação, Perda de habitat, Estrutura do habitat, Conservação da biodiversidade

### **1. Introdução**

A paisagem está naturalmente em constante mudança e alteração. Elementos como erosão, precipitação, radiação, correntes de ventos são capazes de alterar sua estrutura e composição através do tempo (Morais & Carvalho, 2013). Entretanto, a substituição das áreas naturais por ambientes antropizados tem acelerado e agravado este processo, sendo apontada como a principal causa para a perda de biodiversidade global de todos os grupos taxonômicos (Reid & Souza, 2005; Newbold et al., 2015).

A ecologia de paisagem pode ser conceituada como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos (Forman and Godron 1986) e tem recebido um enfoque maior para compreender como às mudanças no uso da terra afeta todos os padrões e processos ecológicos ao aumentar o número de fragmentos florestais, reduzindo o tamanho do fragmento e interrupções de conexões dentro da rede ecológica (Collinge and Forman 1998, Fahrig 2003, Pierri-Daunt and Tanaka 2014).

Dois elementos principais são utilizados para caracterização das métricas de paisagem: (i) a composição desta paisagem, ou seja, tipos de habitats e a diversidade de características da paisagem e (ii) a conformação desta paisagem, que diz respeito ao tamanho, forma, conectividade, número de fragmentos, área de borda, área núcleo (Martins et al., 2004; Seppelt et al., 2016).

Uma das principais consequências da modificação da paisagem é a fragmentação florestal (Córdova-Lepe et al., 2018). A fragmentação florestal torna os habitats mais isolados (Taubert et al., 2018), podendo resultar em efeitos negativos na estrutura do habitat disponível para biota nativa (Jokimäki & Huhta, 1996; Oliveira et al., 2013).

A estrutura do habitat pode afetar potencialmente as interações dos organismos com o meio e entre espécies, principalmente, por alterar as condições ambientais e a oferta de recursos (Tews et al., 2004), aumentar competitividade intra e interespecífica (Boeye et al., 2014) e diminuir a quantidade de áreas potenciais para refúgio e procriação (Jokimäki & Huhta, 1996).

Sabe-se que o Bioma Mata Atlântica é um dos mais biodiversos no mundo e que se encontra em um cenário de intenso desmatamento, principalmente devido ao setor agropecuário (Myers et al. 2000). Para algumas espécies, a estrutura do habitat tem se mostrado mais importante na determinação dos padrões encontrados em um fragmento quanto ao hábito, tipo funcional e síndrome de dispersão do que as métricas convencionalmente estudadas de paisagem (Pivello et al. 2006).

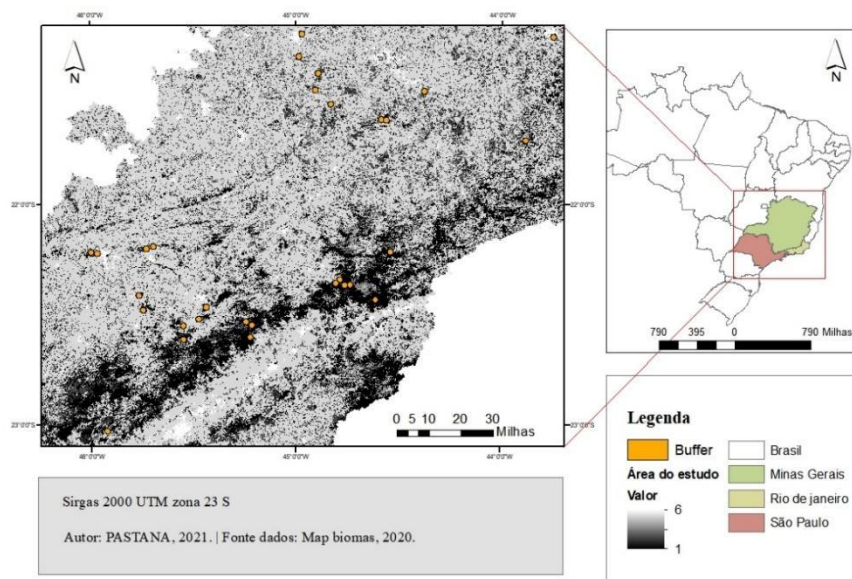
Entretanto, estudos verificando a relação direta dos parâmetros de paisagem com parâmetros de estrutura de habitat ainda são incipientes. Verificar como o processo de antropização afeta estruturas fundamentais para a sobrevivência da biota nativa pode trazer profundas implicações para a conservação da natureza e para a gestão da biodiversidade, principalmente em biomas intensamente fragmentados. Com o intuito de responder a hipótese de que a paisagem modifica os padrões de distribuição da estrutura do habitat, o objetivo deste estudo é caracterizar o efeito da estrutura da paisagem sobre a estrutura do habitat e do microclima local.

## **2. Material e métodos**

### ***2.1 Área de estudo***

O estudo foi realizado em 30 paisagens florestais, localizadas no Sul e Sudeste do estado de Minas Gerais, Leste de São Paulo e na região do Médio Paraíba no Rio de Janeiro – Brasil (Figura 1).

Figura 1. Localização das 30 paisagens utilizadas no estudo, as quais estão distribuídas em 3 estados do sudeste brasileiro. A escala em cinza representa as seis classes de uso do solo encontradas na região: 1 – Floresta natural; 2- floresta plantada; 3 – Formação natural não florestal; 4 – Agropecuária; 5 – Área não vegetada; 6 – Corpos d’água.



A seleção dessas áreas de estudo foi realizada com base em imagens de satélite fornecidas pelo Google Earth e em mapas atualizados dos fragmentos florestais remanescentes disponibilizados pelo Instituto SOS Mata Atlântica (2013/2014). O critério de seleção utilizado foi o nível de cobertura florestal, com o objetivo de abranger diferentes tipos de paisagens. Assim, foram selecionadas 3 áreas em cada uma das seguintes classes de cobertura vegetal: 0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30%, 30 a 40%, 40 a 50%, 50 a 60%, 60 a 70%, 70 a 80%, 80 a 90% e 90 a 100%.

A vegetação presente nesta região é classificada em Floresta Ombrófila Montana (situado em faixa de altitudes entre 500 e 1.000 metros) e Alto Montana (situados em faixas de altitudes superiores a 1.000 metros) por estarem situadas em altos de planaltos e/serras, possuem elevadas temperaturas e alta precipitação, bem-distribuída durante o ano. Além de algumas áreas estarem localizadas em regiões com vegetação característica de Floresta Estacional Semidecidual Montana por ocorrerem sobre clima

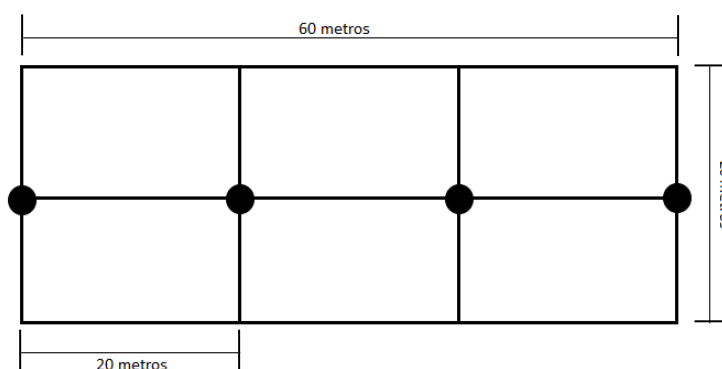
estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal (IBGE, 2012; Sá Júnior et al., 2012).

O clima é classificado como Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente) (Sá Júnior et al., 2012). Para os ambientes Cwa, de novembro a dezembro ocorre o período de maior precipitação pluviométrica, com médias mensais  $\geq 220$  mm e temperatura média de  $21,2^{\circ}\text{C}$  ao ano. Já para os ambientes Cwb os meses com maior volume médio de chuva se estende de novembro a fevereiro, com precipitação média de 230 mm. Para esta classificação climática, as temperaturas médias são de  $15,65^{\circ}\text{C}$  anualmente (Sá Júnior et al., 2012).

## 2.2 Desenho amostral do experimento

Foi delimitado um buffer com raio de 2 km em cada área selecionada, a fim de representar a paisagem local. A coleta dos dados foi realizada *in loco*, durante os meses de fevereiro a março de 2019. Em cada paisagem foi selecionada uma área de 60 metros por 20 metros e dentro desta área, foram distribuídos quatro pontos amostrais, distantes 20 metros entre si (Figura 2).

Figura 2. Disposição dos pontos de amostragem (PA) dentro de cada parcela, alocadas em 30 fragmentos florestais localizados em Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.



Para tentar excluir o efeito de borda na amostragem, as áreas foram selecionadas a uma distância mínima de 500 m da borda do buffer e quando possível a uma distância maior, de 1 km.

### 2.3 Parâmetros de paisagem

Para realizar a classificação do uso do solo da área de estudo foi realizado o download do mapa de cobertura e uso do solo do MapBiomas (<https://mapbiomas.org/download>) para região da mata atlântica no ano de 2019. A partir desse mapa base foi realizada uma reclassificação por meio do software Arcgis 10.5, para afunilar as classes encontradas para seis grandes grupos principais. O mapa reclassificado foi recortado para toda região de interesse nos três estados do sudeste e para as 30 paisagens.

A partir da seleção das áreas de interesse foram confeccionados mapas para melhor visualização das classes encontradas em cada paisagem, por meio do software R, pacotes *raster* (Hijmans 2021) e *tmap* (Tennekes 2018). Cada paisagem foi analisada quanto a seis tipos de métricas de paisagem (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos índices da paisagem usados para avaliar a influência da paisagem nas estruturas de habitat e variáveis ambientais em florestas fragmentadas da Mata Atlântica.

Métrica	Tipo	Descrição	Unidade
Agregação	Índice de divisão (split)	Descreve o número de fragmentos se todos os fragmentos da classe i fossem divididos em fragmentos de tamanhos iguais.	Nenhum
Agregação	Média da distância euclidiana do vizinho mais próximo (enn_mn)	Mede a distância até o trecho vizinho mais próximo da mesma classe i.	Metros (m)
Área e núcleo	Área central do fragmento (tca)	Soma das áreas centrais de todos os patches pertencentes à classe i	Hectare (ha)
Área e borda	Média da área do fragmento (área_mn)	A métrica resume cada classe como a média de todas as áreas dos fragmentos pertencentes à classe i.	Hectare (ha)
Agregação	Número de fragmentos (np)	Soma do número de fragmentos de uma determinada classe.	Nenhum
Índice de	Relação perímetro-área	Descreve a complexidade do fragmento de uma maneira	Nenhum

forma (para\_mn) direta.

Para calcular essas métricas de ecologia de paisagens foram utilizados os pacotes *landscapemetrics* (Hesselbarth et al. 2019) e *landscapetools* (Sciaini et al. 2018) disponível no software R (R Core Team, 2020). Com o resultado das análises foi originado uma tabela de atributos com os valores de cada uma dessas métricas a nível de classe e mais outras 49 que não foram selecionadas para o estudo por conta do critério de seleção de correlação.

#### 2.4 Parâmetros de estrutura de habitat e microclima local

As métricas de estrutura de habitat e microclima local foram mensuradas nos quatro pontos de amostragem, presentes em cada paisagem (Figura 2). Foram utilizadas quatro variáveis para caracterizar a estrutura de habitat e três variáveis ambientais para caracterizar o microclima local (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição dos índices de estrutura de habitat e microclima local coletados em parcelas localizadas em florestas fragmentadas em regiões de Mata Atlântica.

Classe	Componentes	Descrição	Unidade
Estrutura de habitat	Abertura do sub-bosque	Relação da área sem vegetação no plano horizontal do sub-bosque	Porcentagem (%)
Estrutura de habitat	Abertura do dossel	Relação da área sem vegetação no dossel	Porcentagem (%)
Estrutura de habitat	Serapilheira	Peso seco das amostras de serapilheira	Gramas (g)
Estrutura de habitat	Diversidade da serapilheira	Classificação dos constituintes da serapilheira em (i) folha, (ii) raiz fina e (iii) gravetos	Gramas (g)
Estrutura de habitat	MO	Matéria orgânica do solo	Porcentagem (%)
Microclima local	Temperatura mínima	Temperatura mínima aferida em cada ponto de amostragem	Graus Celsius (°C)
Microclima local	Temperatura máxima	Temperatura máxima aferida em cada ponto de amostragem	Graus Celsius (°C)

Microclima local	Umidade máxima do ar	Quantidade máxima de vapor d'água na atmosfera	Porcentagem (%)
------------------	----------------------	--	-----------------

Para calcular a densidade e abertura do sub-bosque foi utilizado um tecido preto quadrado com 1 m<sup>2</sup> para servir de fundo de fotos hemisféricas que foram capturas em quatro direções (pontos cardeais) do sub-bosque. Posteriormente essas imagens foram processadas com o auxílio do programa Sidelook 1.1.01.

Foram capturadas fotos hemisféricas do dossel da floresta, a 1,50 m do solo, em cada 1 dos 4 pontos de amostragem. Essas fotografias foram convertidas em imagens binárias, em que 1 = preto e 0 = branco. A imagem foi processada com o auxílio do software Gap Light Analyser (Frazer et al., 1995). Assim, os pixels com valor 0 na imagem representaram clareiras dentro da floresta e permitiu verificar o índice de área de cobertura vegetal em cada paisagem. Foi realizada a média do índice de abertura do dossel em cada ponto de amostragem para identificar a proporção de clareiras em cada ambiente.

Todo material vegetal (folha, galhos, frutos, casca) encontrado acima da superfície do solo foi considerado como serapilheira. Para verificar a complexidade da matéria orgânica acima do solo, foram realizadas coletas de amostras de serapilheira, em cada um dos pontos de amostragem de cada parcela de cada fragmento, utilizando um quadrado de 50 x 50 cm confeccionado com canos de "PVC". Vale ressaltar que foram amostrados apenas a serapilheira fina, sem considerar galhos grossos e troncos caídos.

Toda serapilheira presente dentro da área do quadrado foi coletada, acondicionada em sacos plásticos de 20 L, identificadas e levadas ao laboratório de Ecologia Florestal (LABEF) da Universidade Federal de Lavras. No laboratório, foram secas em uma estufa de ventilação forçada a 60 °C até peso constante, pesadas e estão sendo classificadas quanto ao material nela existente.

Para obter os dados de estrutura do solo, foi realizada a coleta de uma amostra de 10 cm<sup>3</sup> em cada ponto de amostragem, com cilindro metálico. No laboratório de Ecologia Florestal da UFLA as amostras de solo foram pesadas em balança de precisão, posteriormente foram secas em estufa de ventilação forçada a 105°C por 24 horas e encaminhadas para análise dos macro e micronutrientes. Em cada ponto de amostragem foram utilizados Data Loggers OMEGA™ a 1, 50 m do solo para coletar dados de temperatura máxima e mínima (°C) e umidade do ar.

Os elementos da estrutura do habitat e do microclima local foram selecionados para estarem inclusas na modelagem por meio de análises exploratórias e pesquisas na literatura sobre a importância desses elementos para biota.

## 2.5 Análises estatísticas

Foi confeccionada uma matriz contendo a identificação de cada área, coordenadas, variáveis dependentes - dados de estrutura de habitat e microclima (abertura do dossel, diversidade da serrapilheira, abertura do sub-bosque, serapilheira, matéria orgânica do solo, temperatura mínima, temperatura máxima e umidade máxima) e variáveis preditoras – os dados de paisagem para os fragmentos de floresta natural circundantes ao habitat estudado (média da área do fragmento, área central, relação perímetro-área, número de fragmentos, média da distância do vizinho mais próximo e índice de divisão).

A partir dessa matriz foi realizado teste de correlação pelo método de Pearson entre as variáveis respostas e preditoras. Variáveis correlacionadas (> 60%) foram excluídas. A escolha da variável correlacionada a ser excluída foi a partir do seu grau de importância para a manutenção da floresta, de acordo com buscas na literatura científica e de testes exploratórios com os dados. No entanto, algumas variáveis de paisagem correlacionadas entre si (Tabela 3), foram incluídas nas análises por serem consideradas importantes preditores para as relações de paisagem com a biota nativa (Petren & Case, 1998; Potapov et al., 2020; Vidal & Cintra, 2006).

Tabela 3. Correlação entre as métricas de paisagem selecionadas para estarem inclusas no modelo. Em que: Split = índice de divisão; enn\_mn = distância do vizinho mais próximo; np = número de fragmentos; tca = área central; area\_mn = média da área do fragmento; para\_mn = relação perímetro-área do fragmento.

	split	enn_mn	np	tca	area_mn	para_mn
split	1	0.57	0.25	0.15	-0.11	0.35
enn_mn	0.56	1	0.59	0.23	0.22	0.80
np	0.08	0.59	1	0.12	0.23	0.80
tca	0.15	0.23	0.12	1	0.94	0.56
area_mn	-0.11	0.22	0.23	0.94	1	0.50
para_mn	0.33	0.80	0.80	0.56	0.50	1



Adotou-se a abordagem de múltiplos modelos sugerida por (Beier et al., 2002) para a seleção dos modelos mais plausíveis que representem as hipóteses acerca da relação entre as variáveis resposta e os gradientes ecológicos e antrópico. Para isso, os dados foram padronizados por meio da função *Scale* e posteriormente foi realizado uma modelagem de efeito global por meio de modelo linear generalizado (glm), com todas as métricas previamente selecionadas (Tabela 4).

Tabela 4. Modelos lineares generalizados utilizados para descrição dos efeitos da paisagem sobre a estrutura do habitat. Em que: Split = índice de divisão; enn\_mn = distância do vizinho mais próximo; np = número de fragmentos; tca = área central; area\_mn = média da área do fragmento; para\_mn = relação perímetro-área do fragmento.

Modelo	Equação
1	Abertura do dossel ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
2	Diversidade da serapilheira ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
3	Serapilheira ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
4	Abertura do sub-bosque ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
5	MO ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
6	Abertura do dossel ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
7	Temperatura_minima ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
8	Temperatura_máxima ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca
9	Umidade máxima ~ np + enn_mn + para_mn + area_mn + split + tca

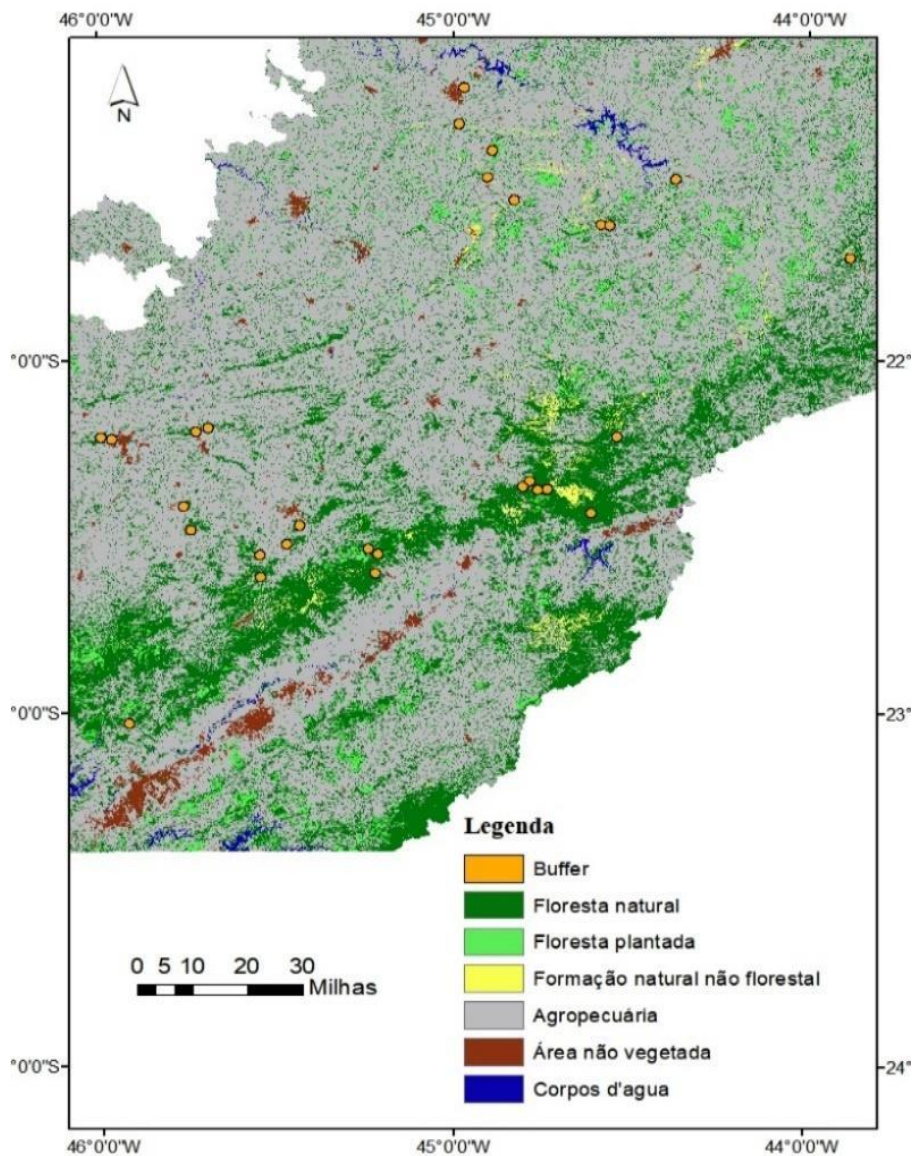
Posteriormente foram confeccionados sub-modelos por meio da função dredge do pacote MuMIn (Kamil 2020), obtendo todos os submodelos com pelo menos 3 variáveis possíveis, os coeficientes e a importância relativa de cada variável no conjunto de modelos (Barton 2012). Os modelos foram selecionados pela análise da função “model.avg” a partir do critério de Informação de Akaike (AIC), estabelecido como  $\Delta \leq 2$ .

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterização das paisagens

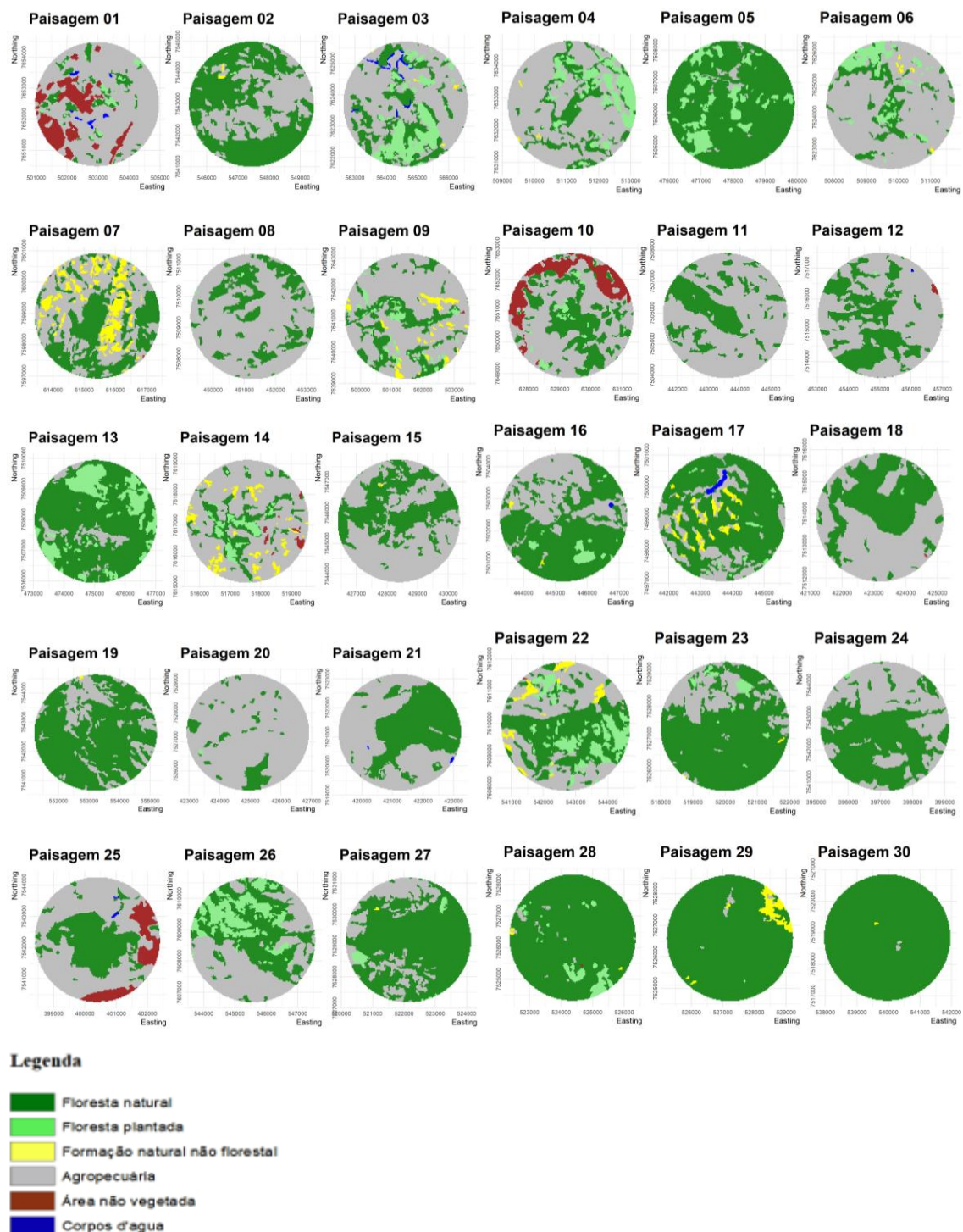
De acordo com as imagens analisadas, esta é uma região intensamente antropizada por meio da destinação de terras para a realização de atividades agropecuárias (Figura 3).

Figura 3. Uso e cobertura do solo da região de interesse do estudo, localizado em parte de 3 estados do sudeste brasileiro.



Ao verificar a ocorrência de cada classe de cobertura e uso do solo para cada uma das paisagens, verificou-se que não há a ocorrência de todas as 6 classes em todas as 30 paisagens selecionadas (Figura 4).

Figura 4. Uso e cobertura do solo de 30 paisagens, distribuídas por parte do sudeste brasileiro.



A agropecuária é a classe de uso e ocupação do solo que ocorreu em todas as paisagens selecionadas e representou 43% da ocupação do solo (considerando todas as paisagens juntas), atrás apenas da ocupação da floresta natural que representou 48% de uso e ocupação. Em seguida, foi possível observar 5% de florestas plantadas, 1,5% de

área não vegetada, 1,3% de formação natural não florestal e 0,1% de corpos d'água, distribuídos em uma área total de 37683 ha.

A paisagem mais fragmentada é a paisagem 7 com 73 fragmentos no total. Apenas 3 paisagens apresentaram menos de 20 fragmentos: paisagem 30 (n=4), paisagem 29 (n=19) e paisagem 21 (n=19). Apesar da paisagem 7 ser a mais fragmentada, não é a de menor cobertura florestal (487 ha) e sim a paisagem 2 que apresenta apenas 126 ha de cobertura florestal distribuídos por 47 fragmentos.

A área central dos fragmentos florestais corresponde a 79% da área total (18303 ha) em floresta, ou seja, 21% representam área de borda. Esses 21% de área de borda é distribuída de forma desigual entre as paisagens, sendo influenciado pela área total em floresta e quantidade de fragmentos de cada paisagem. A paisagem 1, que é a de menor cobertura florestal, apresentou maior área de borda (63%) do que área central, assim como as paisagens 9 e 14, que apresentaram 51% e 54% de área de borda, respectivamente.

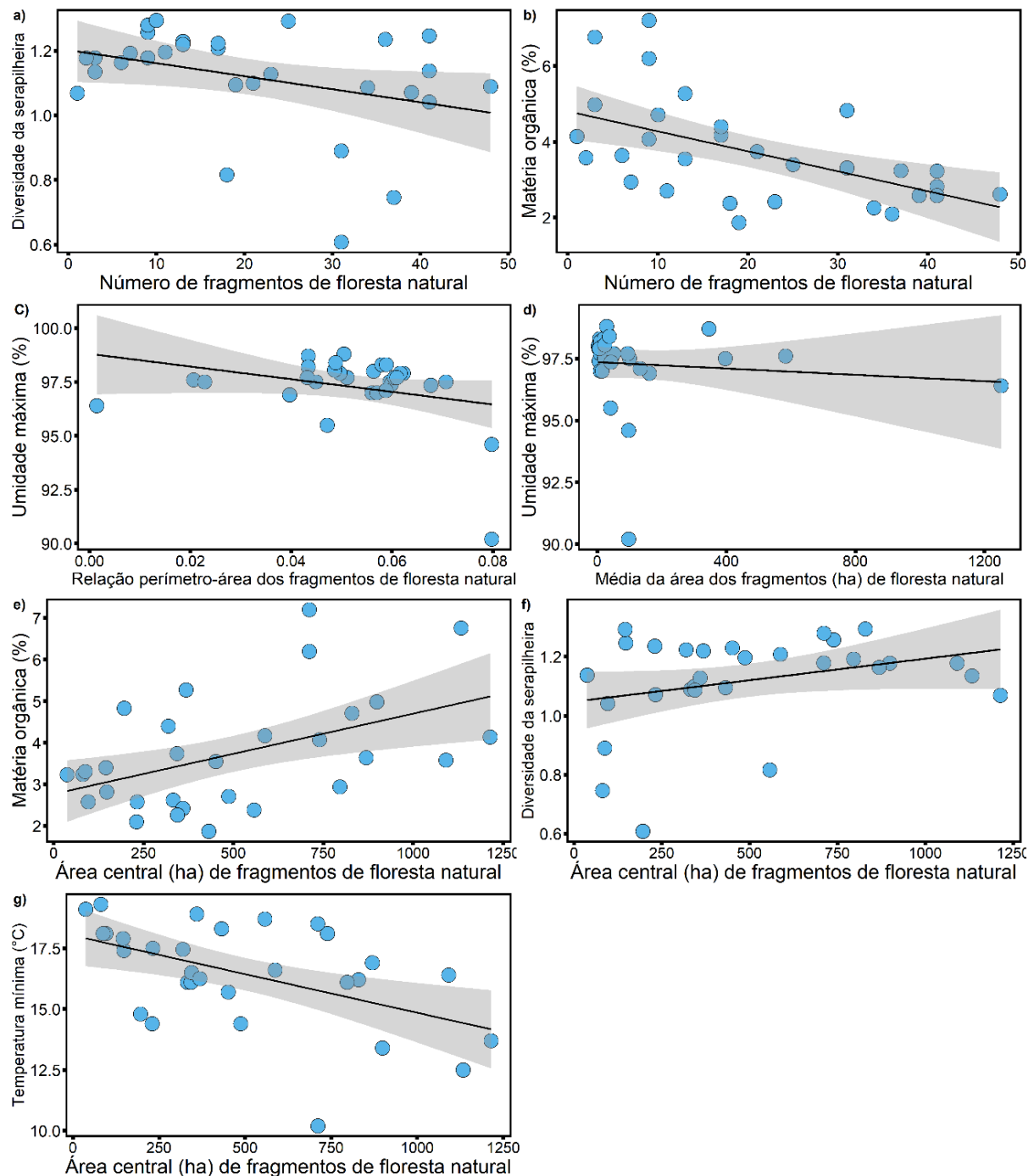
A forma dos fragmentos florestais foi avaliada por meio da relação perímetro-área. A paisagem 30 foi a que apresentou forma mais homogeneia e maior área florestal, com relação perímetro-área  $< 0,001$  e a paisagem 21 foi a de maior relação, apresentando valor de 0,091. Cerca de 62% das paisagens avaliadas apresentaram valor de relação perímetro-área  $> 0,06$ .

Já com relação à distância euclidiana dos fragmentos florestais vizinhos mais próximos, a paisagem 30 é a única inteiramente conectada. Em contrapartida, as paisagens 29, 24, 21, 15 e 12 possuem pelo menos os fragmentos com floresta plantada inteiramente conectados. A paisagem 1 é a com maior espaçamento entre os fragmentos florestais com até 1695 m de distância. Existem também mais outras 12 paisagens com pelo menos 200 m de distância entre fragmentos.

### ***3.2 Relação da estrutura da paisagem com a estrutura do habitat e microclima local***

A análise das métricas de paisagem para fragmentos de floresta natural resultou na correlação direta entre 4 das métricas analisadas e os componentes da estrutura do habitat e microclima local. O número de fragmentos de floresta natural em uma paisagem é significativa e negativamente relacionado com a diversidade da serrapilheira ( $r^2 = -4,84$ ,  $p = 0,02$ ) e com a matéria orgânica ( $r^2 = -0,05$ ,  $p = 0,001$ ), como pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5. Resposta dos componentes da estrutura do habitat e microclima em relação aos parâmetros de paisagem calculados para os fragmentos de floresta natural em cada uma das 30 paisagens estudadas.



A relação perímetro-área dos fragmentos de floresta natural pode alterar de forma negativa ( $r^2 = -0,92$ ;  $p = 0,0006$ ) os padrões encontrados de umidade máxima, em uma paisagem. A média da área dos fragmentos de floresta natural influencia negativamente ( $r^2 = -0,005$ ;  $p = 0,01$ ) a umidade máxima local.

A área central de fragmentos de floresta natural é relacionada significativa e positivamente a diversidade da serrapilheira ( $r^2= 0,0004$ ;  $p= 0,01$ ) e matéria orgânica ( $r^2= 0,02$ ;  $p= 0,0004$ ). No entanto, essa mesma variável (área central) para floresta natural tem relação negativa com a temperatura mínima ( $r^2= -0,0031$ ;  $p= 0,04$ ).

#### **4. Discussão**

A paisagem de uma região mostrou ser capaz de moldar os padrões de heterogeneidade e complexidade de um habitat. O desmatamento para expansão da agricultura, exploração madeireira e desenvolvimento das cidades contribuíram fortemente para a fragmentação de habitats do bioma Mata Atlântica (Lewis et al., 2015; Wright, 2005). A região deste bioma é composta por poucas áreas com extensões florestais contínuas (Guatura et al., 1996) e atualmente só restam 12,4% da sua área original (SOS Mata Atlântica & INPE., 2019).

Os habitats fragmentados geralmente estão cercados por matrizes de diferentes tipos (agricultura, pastagem, solo exposto, habitação), que podem ser configuradas como barreiras limitantes para dispersão de espécies, pois o grau de conectividade entre habitats e o tempo de isolamento são determinantes na resposta da biota à fragmentação (Sung et al., 2019). Paisagens que possuem maior cobertura florestal e similaridade estrutural de fragmentos florestais permitem a existência de habitats mais conservados, com estruturas mais complexas e com menor influência da matriz no entorno (Schaadt & Vibrans, 2015; Prevedello and Vieira 2010).

A existência de um maior número de fragmentos de floresta natural em uma paisagem tende a influenciar negativamente os padrões da estrutura do habitat, isso por que existe uma relação inversa entre a quantidade e tamanho dos fragmentos, ou seja, quanto maior a quantidade de fragmentos menor será a sua área, originando habitats menores com dinâmicas diferentes das existentes no ambiente original (Cullen Junior et al., 2012).

A cada ano que passa a tendência é aumentar o índice de fragmentação das paisagens. Já foram identificados aproximadamente 130 milhões de fragmentos florestais até 2018, que estão distribuídos pelas Américas, África e Ásia-Austrália (Taubert et al., 2018). Modelos de previsão sugerem que a perda adicional de florestas resultará em um grande aumento no número total de fragmentos florestais (em um



período máximo de 33 a 50 anos), bem como uma diminuição em seu tamanho (Taubert et al., 2018).

Florestas naturais com maiores extensões territoriais tendem a ter uma diminuição da necessidade de transpiração das árvores por estarem situados em condições climáticas mais amenas (Newmark, 2005) e por sofrer menos influência do efeito de borda (Jesus et al., 2015). Poucos estudos relacionaram alguma métrica de paisagem com a estrutura do habitat, mas já foi relatado na literatura que a serapilheira diminui com o efeito de borda (Didham & Lawton, 1999; Vidal & Cintra, 2006). No entanto, a produção e deposição de serapilheira são mecanismos complexos e podem ser, em certos casos, mais relacionados a processos biológicos e à estrutura da floresta do que aos efeitos de borda derivados de alterações microclimáticas (Didham & Lawton, 1999).

Uma forma de medir a qualidade de habitats é por meio das métricas de área núcleo (central), pois, indicam a quantidade de área de um fragmento descontando-se o efeito de borda (Vidolin et al., 2011). Quanto maior é a área central de fragmentos florestais, maior é a diversidade da serrapilheira, matéria orgânica e serapilheira, o que quer dizer que esses elementos do habitat são produzidos em maior quantidade quando estão introduzidos em áreas com condições mais favoráveis a sobrevivência das espécies. Diferentemente das outras componente da estrutura do habitat, a temperatura mínima ( $p=0,0485$ , figura 5-c) é influenciada negativamente em relação a área central, deixando os ambientes mais amenos e propício para a dinâmica das florestas.

Fragmentos muito pequenos e irregulares podem chegar ao ponto de não possuir área central capaz de permitir a manutenção e o desenvolvimento de uma determinada espécie (Volotão, 1998). Sabe-se que quanto mais irregular a forma do fragmento menor o nível de proteção no interior dos fragmentos em relação ao efeito de borda (Etto et al., 2013), neste caso a umidade máxima diminui conforme o aumento da relação perímetro-área do fragmento deixando-o mais susceptível aos efeitos de borda. A vulnerabilidade em relação a ocupação ao redor do fragmento também aumenta em áreas mais irregulares (Pirovani et al., 2014).

## **5. Conclusão**

Este estudo demonstra que a paisagem é capaz de alterar diretamente a estrutura do habitat e o microclima local. A estrutura do habitat torna-se mais complexa em

paisagens de maior continuidade florestal. O número de fragmentos, relação perímetro-área, média da área dos fragmentos e a área central foram as métricas que apresentaram algum tipo de relação com as condições do habitat. A área central dos fragmentos florestais é a métrica mais importante para o aumento da serapilheira, diversidade da serapilheira, matéria orgânica no solo e o para deixar microclima mais ameno.

## 6. Referências

- Beier, P., Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. In *The Journal of Wildlife Management* (Vol. 65, Issue 3). <https://doi.org/10.2307/3803117>
- Boeye, J., Kubisch, A., & Bonte, D. (2014). Habitat structure mediates spatial segregation and therefore coexistence. *Landscape Ecology*, 29(4), 593–604. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0010-6>
- Brady, M.J.; McAlpine, C.A.; Miller, C.J.; Possingham, H.P.; Baxter, G.S. 2009. Habitat attributes of landscape mosaics along a gradient of matrix development intensity: matrix management matters. *Landscape Ecology* 24: 879–891.
- Collinge, S.K.; Forman, R.T.T. 1998. A Conceptual Model of Land Conversion Processes: Predictions and Evidence from a Microlandscape Experiment with Grassland Insects. *Oikos* 82: 66.
- Córdova-Lepe, F., Del Valle, R., & Ramos-Jiliberto, R. (2018). The process of connectivity loss during habitat fragmentation and their consequences on population dynamics. *Ecological Modelling*, 376 (November 2017), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.012>
- Cullen Junior, L., Rudran, R., & Valladares-Padua, C. (2012). *Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre* (UFPR (ed.); 2nd ed.).
- Debinski, D.M. 2006. Forest fragmentation and matrix effects: the matrix does matter. *Journal of Biogeography* 33: 1791–1792.
- Didham, R. K., & Lawton, J. H. (1999). Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica*, 31(1), 17–30. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00113.x>
- Etto, T. L., Longo, R. M., Arruda, D. da R., & Invenioni, R. (2013). Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do ribeirão das pedras - Campinas-SP. *Revista Arvore*, 37(6), 1063–1071. <https://doi.org/10.1590/S0100->



67622013000600008

- Fahrig, L. 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 487–515.
- Forman, R.T.T. and Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*.
- Frazer, G. W., Canham, C. D., & Lertzman, K. P. (1995). Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. In *Simon Fraser University* (Vol. 7, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/bf00053707>
- Galindo-Leal, C., & Câmara, I. de G. (2003). *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats and Outlook*.
- Gascon, C., Lovejoy, T. E., Jr, R. O. B., Malcolm, J. R., Stou, P. C., Vasconcelos, H. L., Laurance, W. F., Zimmerman, B., & Tocher, M. (1999). *Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants*. 91, 223–229.
- Guatura, I. S., Corrêa, F., Costa, J. P. O., & Azevedo, P. U. E. de. (1996). A questão fundiária: roteiro para a solução dos problemas fundiários nas áreas protegidas da Mata Atlântica. In RBMA - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (Ed.), *(Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Caderno no 1)* (2nd ed.). RBMA - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.
- Hesselbarth, M.H.K.; Sciaini, M.; With, K.A.; Wiegand, K.; Nowosad, J. 2019. landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography* 42: 1648–1657.
- Hijmans, R.J. 2021. *Modeling, raster: Geographic Data Analysis*. R package version 3.4-13. (<https://cran.r-project.org/package=raster>).
- Ibáñez, I., Katz, D. S. W., Peltier, D., Wolf, S. M., & Connor Barrie, B. T. (2014). Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: The challenge of multiprocess-multiresponse dynamics. *Journal of Ecology*, 102(4), 882–895. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12223>
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. In C. de R. N. e E. Ambientais (Ed.), *Produção da Pecuária Municipal* (2nd, Revista ed., Vol. 39). <https://doi.org/ISSN 0101-4234>
- Jesus, E. N., Ferreira, R. A., Aragão, A. G., Santos, T. I. S., & Rocha, S. L. (2015). Structure of forest fragments of the river basin Poxim-SE, as subsidy to ecological restoration. *Revista Árvore*, 39(3), 467–474. <https://doi.org/10.1590/0100->

67622015000300007

- Jokimäki, J., & Huhta, E. (1996). Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland: A multi-scale approach. *Ornis Fennica*, 73(3), 97–113.
- Kamil, B. 2020. *MuMIn: Multi-Model Inference*. R package version 1.43.17. (<https://cran.r-project.org/package=MuMIn>).
- Lang, S., & Blaschke, T. (2009). *Análise da Paisagem com SIG* (1st ed.). Oficina de textos.
- sLewis, S. L., Edwards, D. P., & Galbraith, D. (2015). Increasing Human Dominance of Tropical Forests. *Science*, 349(6250), 827–832. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>. Reuse
- Liu, J., Wilson, M., Hu, G., Liu, J., Wu, J., & Yu, M. (2018). How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship? *Landscape Ecology*, 33(3), 341–352. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0620-5>
- Martins, E. D. S., Reatto, A., Carvalho Junior, O. A. de, & Guimarães, R. F. (2004). Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil. In E. Cerrado (Ed.), *Documentos (121)* (1st ed.). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Morais, R. P., & Carvalho, T. M. De. (2013). Cobertura da terra e parâmetros da paisagem no município de caracarái - Roraima. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 46–59.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February), 853–858.
- Newbold, T., Lawrence N. Hudson, S. L. L. H., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., Borger, L., Bennett, D. J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., Palma, A. De, Díaz, S., Echeverria-Londono, S., Edgar, M. J., Fel, A., & Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45–48. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Newmark, W. (2005). Diel variation in the difference in air temperature between the forest edge and interior in the Usambara Mountains, Tanzania. *African Journal of Ecology*, 43(3), 177–180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2005.00557.x>
- Oliveira, D. G., do Nascimento Prata, A. P., Sousa Souto, L., & Anastácio Ferreira, R. (2013). O efeito de borda influencia a estrutura da comunidade vegetal em uma floresta tropical seca? *Revista Arvore*, 37(2), 311–320. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000200012>

- Petren, K., & CASE, T. J. (1998). Habitat structure determines competition intensity and invasion success in gecko lizards. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(September), 11739–11744.
- Pirovani, D. B., Silva, A. G. da, Santos, A. R. dos, Cecílio, R. A., Gleriani, J. M., & Martins, S. V. (2014). Spatial analysis of forest fragments in the Itapemirim river basin, ES. *Revista Árvore*, 38(2), 271–281. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200007>
- Prevedello, J.A.; Vieira, M.V. 2010. Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. *Biodiversity and Conservation* 19: 1205–1223.
- Pierri-Daunt, A.B.; Tanaka, M.O. 2014. Assessing habitat fragmentation on marine epifaunal macroinvertebrate communities: an experimental approach. *Landscape Ecology* 29: 17–28.
- Potapov, A. M., Dupérré, N., Jochum, M., Dreczko, K., Klarner, B., Barnes, A. D., Krashevskaya, V., Rembold, K., Kreft, H., Brose, U., Widyastuti, R., Harms, D., & Scheu, S. (2020). Functional losses in ground spider communities due to habitat structure degradation under tropical land-use change. *Ecology*, 101(3), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ecy.2957>
- Reid, J., & Souza JUNIOR, W. C. de. (2005). Infrastructure and Conservation Policy in Brazil. *Conservation Biology*, 19(3), 740–746.
- Sá Júnior, A. De, Carvalho, L. G. De, Silva, F. F. da, & Alves, M. de C. (2012). Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>
- Schaadt, S. S., & Vibrans, A. C. (2015). O Uso da Terra no Entorno de Fragmentos Florestais Influencia a sua Composição e Estrutura Suélen. *Floresta e Ambiente*, 22(4), 437–445.
- Sciaini, M.; Fritsch, M.; Scherer, C.; Simpkins, C.E. 2018. NLMR and landscapetools: An integrated environment for simulating and modifying neutral landscape models in R. *Methods in Ecology and Evolution* 9: 2240–2248.
- Seppelt, R., Beckmann, M., Ceaușu, S., Cord, A. F., Gerstner, K., Gurevitch, J., Kambach, S., Klotz, S., Mendenhall, C., Phillips, H. R. P., Powell, K., Verburg, P. H., Verhagen, W., Winter, M., & Newbold, T. (2016). Harmonizing Biodiversity Conservation and Productivity in the Context of Increasing Demands on Landscapes. *BioScience*, 66(10), 890–896. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw004>

- SOS Mata Atlântica, & INPE. (2019). Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2017-2018. *Atlas Dos Remanescentes Florestais Da Mata Atlântica*, 65. [www.sosma.org.br](http://www.sosma.org.br)
- Sung, C. Y., Park, C. B., & Kim, J. S. (2019). Politics of forest fragmentation: a multiscale analysis on the change in the structure of forest landscape in the North and South Korean border region. *Regional Environmental Change*, 19(1), 137–147. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1394-7>
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M. S., Rödig, E., Wiegand, T., & Huth, A. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554(7693), 519–522. <https://doi.org/10.1038/nature25508>
- Tennekes, M. 2018. tmap : Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software* 84.
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielborger, K., Wichmann, M. C., Schwager, M., & Jeltsch, F. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity / diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31, 79–92.
- Vidal, M. D., & Cintra, R. (2006). Efeito dos componentes estruturais da floresta na ocorrência, tamanho e densidade de grupos do sauí-de-coleira (*Saguinus bicolor* – Primates: Callitrichinae), na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 36(2), 237–248. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200014>
- Vidolin, G. P., Biondi, D., & Wandembruck, A. (2011). Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com araucária, Paraná, Brasil. *Revista Árvore*, 35(3), 515–525.
- Volotão, C. F. S. (1998). Trabalho de análise espacial - métricas do Fragstats. *Trabalho de Análise Espacial Do Curso de Mestrado Do INPE - São José Dos Campos, São Paulo – SP*.
- Wright, S. J. (2005). Tropical forests in a changing environment. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(10), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.009>