



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

Fragmentação florestal na Mata Atlântica: Conectividade e Variabilidade de Habitat como Fatores para conservação das aves de diferentes níveis de sensibilidade

Por

Harisson Luiz Pires Pereira

Nazaré Paulista, 2025



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

Fragmentação florestal na Mata Atlântica: Conectividade e Variabilidade de Habitat como Fatores para conservação das aves de diferentes níveis de sensibilidade

Por

HARISSON LUIZ PIRES PEREIRA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

PROF. ALEXANDRE UEZU

PROF. ALEXANDRE MARTENSEN

TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS
NAZARÉ PAULISTA, 2025

Ficha Catalográfica

PEREIRA, Harisson Luiz Pires

Fragmentação florestal na Mata Atlântica: Conectividade e Variabilidade de Habitat como Fatores para conservação das aves de diferentes níveis de sensibilidade, 2025. XX pp.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

1. Conectividade florestal 1
2. Variabilidade de habitat 2
3. Avifauna 3

I. Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMINADORA

Nazaré Paulista, Fevereiro de 2025

Prof. Dr. Alexandre Uezu

Prof. Dr. Alexandre Martensen

Profª Dr.ª Gabriela Cabral Rezende

Dedico este trabalho a todos aqueles que entedem a importância de cada espécie, a aqueles que se encatam com cada ser vivo e cujos corações batem por preservação!

É necessário entender o que é a vida, conhece-la, admirá-la, para que se possa dar valor a ela e por fim, preservá-la!

Harisson Pereira

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e filho, meus maiores incentivadores. Letícia, você é minha base emocional e a grande organizadora da minha vida. Sua compreensão e apoio incondicional me permitiram chegar até aqui, e superar os desafios da minha condição com mais leveza, mesmo nas horas mais difíceis. Heitor, ser pai de alguém tão doce, inteligente e empático é um presente imensurável. Você torna o mundo um lugar mais belo e me inspira todos os dias a ser uma pessoa melhor e acreditar na humanidade.

Aos meus pais e à minha irmã, que sempre valorizaram a educação como um pilar de transformação e me incentivaram a seguir esse caminho. Meu pai, além de grande companheiro nas passarinhadas e na fotografia de natureza, me deu meu primeiro livro de vida selvagem e ensinou o nome dos primeiros pássaros que aprendi a identificar. Quem diria que mais tarde este fascínio iria virar profissão e até um mestrado?

Ao Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPE), por seu sistema de ensino único, que promove não apenas o crescimento intelectual, mas também o fortalecimento do caráter e a consciência sobre a importância de sermos cidadãos transformadores. Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Uezu, pelo conhecimento compartilhado, ao coorientador Alexandre Martensen, pelo apoio técnico e intelectual principalmente em campo, e à coordenadora Cristiana Saddy Martins, por sua paciência, dedicação e suporte durante toda essa caminhada.

À professora Simone Tenório, cujas conversas foram uma combinação de conhecimento e gentileza. Foi um privilégio conhecê-la, e espero ter a oportunidade de revê-la em outras ocasiões. Ao casal Cláudio e Suzana Pádua, que são verdadeiros

exemplos de inspiração e dedicação à conservação, e que demonstram que é possível aliar paixão e resultados na luta pela biodiversidade.

À Suzano S.A., pelo suporte financeiro que viabilizou esta jornada acadêmica, permitindo que este sonho se tornasse realidade.

À minha turma do mestrado na ESCAS, os "Xantânicos", por todos os momentos incríveis que compartilhamos, os debates construtivos, os sustos com a onça rsrs, as celebrações e, claro, muita música.

À Zezé Zakia, que plantou a ideia deste mestrado na minha cabeça e foi minha entusiasta desde o início.

Ao Pedro Scherer Neto, uma verdadeira enciclopédia ambulante, ou melhor, uma caderneta ornitológica viva, a quem tenho a honra de chamar de amigo.

À Viviane Kupriyanov, que se tornou uma amiga indispensável e parceira em artigos e trabalho.

Ao professor e amigo Osmael Portela, por sua companhia em campos e prosas, assim como o querido Leonardo von Lisingen (*in memoriam*), que sempre acreditou em meu potencial e me incentivou a ir além.

Aos meus amigos de Jaguariaíva, que foram professores em muitos momentos e um apoio emocional inestimável em outros. Vocês são verdadeiramente incríveis!

Ao Sr. Martins e à Dona Vera, que me acolheram como verdadeiros avós, e que sempre me apoiaram e ajudaram a cuidar dos meus enquanto estive fora.

A todos os biólogos, ecólogos, profissionais e entusiastas que desbravaram os caminhos do conhecimento naturalista, dedicando seus esforços e sacrifícios em prol da ciência e da conservação, meu sincero agradecimento. Que o legado dessas

contribuições inspire as futuras gerações a continuar lutando pela preservação e pela compreensão da natureza.

A todos que, de alguma forma, tornaram esta jornada possível, deixo minha mais profunda gratidão!

SUMÁRIO

Conteúdo

AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE TABELAS	2
LISTA DE FIGURAS	3
RESUMO	4
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO	7
1.1 – Impactos da fragmentação	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS	10
2.1 – Área de estudo.....	10
2.2 – Desenho amostral e coleta de dados	12
2.3 – Análise de dados.....	14
5. RESULTADOS	17
6. DISCUSSÃO	20
7. CONCLUSÕES	31
8. REFERÊNCIAS.....	32
ANEXO A	37

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
Tabela 1- Tabela dos melhores modelos para variabilidade de habitat e conectividade para aves de diferentes graus de sensibilidade à fragmentação florestal.....	18
Tabela 2- - Importância relativa da variável (RwAICc) para os parâmetros de aves com diferentes níveis de sensibilidade florestal considerando duas variáveis. Variabilidade de habitat e conectividade dos fragmentos.....	19

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
Figura 1- Mapa do sistema Cantareira com seus respectivos municípios e uso do solo.....	11
Figura 2: Gravadores autônomos Audiomoth. Instalação dos gravadores em campo, com capas protetoras e devidamente identificados; Disposição dos gravadores em campo.....	14

RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA: CONECTIVIDADE E VARIABILIDADE DE HABITAT COMO FATORES PARA CONSERVAÇÃO DAS AVES DE DIFERENTES NÍVEIS DE SENSIBILIDADE

Por

HARISSON LUIZ PIRES PEREIRA

JANEIRO DE 2025

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Uezu

A fragmentação florestal representa uma das principais ameaças à biodiversidade da Mata Atlântica, resultando na separação de habitats contínuos em pequenos fragmentos isolados. Este estudo investigou como a conectividade florestal e a variabilidade de habitat influenciam a ocorrência de 15 espécies de aves com diferentes graus de sensibilidade ambiental na região do Sistema Cantareira. A ocorrência das espécies foi registrada por meio de gravadores autônomos de áudio distribuídos em 68 pontos de amostragem, cobrindo fragmentos com diferentes níveis de conservação. Os dados de presença foram posteriormente correlacionados com métricas de conectividade, calculadas por meio do Índice Integral de Conectividade (IIC), e com a variabilidade de habitat, estimada a partir do Spectral Variability Index (SVI), derivado de imagens de sensoriamento remoto. Os resultados revelaram padrões distintos entre os grupos funcionais: espécies de alta sensibilidade foram fortemente dependentes da conectividade funcional, enquanto espécies de média sensibilidade demonstraram respostas heterogêneas, variando entre conectividade e características locais do habitat. Já as espécies de baixa sensibilidade mostraram alta resiliência em paisagens fragmentadas, sendo menos influenciadas pelas variáveis

analisadas. Esses resultados ressaltam a importância de estratégias de conservação que combinem a restauração de conectividade para espécies mais exigentes com o manejo de habitats diversificados para beneficiar espécies generalistas. A manutenção e ampliação de corredores ecológicos e a recuperação de áreas degradadas podem mitigar os impactos da fragmentação, promovendo a funcionalidade ecológica e garantindo a conservação da avifauna em uma das regiões mais ameaçadas da Mata Atlântica.

Palavras-chaves: Fragmentação, Conectividade, Variabilidade de habitat, Conservação da avifauna, Mata Atlântica.

ABSTRACT

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

FOREST FRAGMENTATION IN THE ATLANTIC FOREST: CONNECTIVITY AND HABITAT VARIABILITY AS FACTORS FOR THE CONSERVATION OF BIRDS WITH DIFFERENT LEVELS OF SENSITIVITY

By

HARISSON LUIZ PIRES PEREIRA

January, 2025

Advisor: Prof. Dr. Alexandre Uezu

Forest fragmentation represents one of the main threats to the biodiversity of the Atlantic Forest, resulting in the separation of continuous habitats into small isolated fragments. This study investigated how forest connectivity and habitat variability influence the occurrence of 15 bird species with different levels of environmental sensitivity in the Cantareira System region. Species occurrence was recorded using autonomous audio recorders deployed at 68 sampling points across forest fragments with varying levels of conservation. Presence data were later correlated with connectivity metrics, calculated using the Integral Index of Connectivity (IIC), and with habitat variability, estimated through the Spectral Variability Index (SVI) derived from remote sensing imagery. The results revealed distinct patterns among functional groups: highly sensitive species were strongly dependent on functional connectivity, while medium-sensitive species demonstrated heterogeneous responses, varying between connectivity and local habitat characteristics. Low-sensitivity species showed high resilience in fragmented landscapes, being less influenced by the variables analyzed. These results highlight the importance of conservation strategies that combine connectivity restoration for more demanding species with management of diverse habitats to benefit generalist species. The maintenance and expansion of

ecological corridors and the recovery of degraded areas can mitigate the impacts of fragmentation, promoting ecological functionality and ensuring the conservation of birdlife in one of the most threatened regions of the Atlantic Forest.

Keywords: Fragmentation, Connectivity, Habitat variability, Birdlife conservation, Atlantic Forest.

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Impactos da fragmentação

A fragmentação florestal é um fenômeno amplamente estudado em diversas regiões do globo, sendo reconhecida como uma das principais ameaças à biodiversidade, especialmente nos ecossistemas tropicais como a Mata Atlântica. Esse processo envolve a divisão de habitats originalmente contínuos em fragmentos menores, geralmente isolados por matrizes antropogênicas, como pastagens, lavouras e áreas urbanas, resultando em um mosaico de fragmentos florestais de tamanhos variados imersos em matrizes predominantemente antropizadas, com profundas alterações na estrutura e funcionalidade das paisagens naturais (Tabarelli & Santos, 2004; Ribeiro et al., 2009; Haddad et al., 2015; Lima et al., 2020). Estudos sugerem que a conectividade entre fragmentos florestais é influenciada tanto pela cobertura de habitat, que se refere à quantidade e qualidade das áreas florestadas disponíveis, quanto pela qualidade da matriz que os envolve. Áreas com maior cobertura florestal oferecem mais recursos e habitats adequados às espécies florestais, enquanto matrizes com menor intensidade de uso humano facilitam o deslocamento e a dispersão das espécies entre fragmentos, resultando em maior riqueza e diversidade da avifauna (Uezu, 2006).

Nesses cenários, a conectividade funcional da paisagem desempenha um papel essencial na conservação da biodiversidade, especialmente em áreas fragmentadas (Forero-Medina & Vieira, 2007). A conectividade permite o fluxo gênico e o deslocamento de indivíduos, mitigando os efeitos negativos do isolamento, como a redução populacional e a perda de diversidade genética (Lindenmayer & Nix, 1993; Uezu, 2006). Dessa forma, o aumento da conectividade se destaca como uma estratégia importante em paisagens fragmentadas e antropizadas, pois ajuda a mitigar os impactos negativos da fragmentação e promove a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Metzger, 1998).

Além disso, Além disso, a heterogeneidade estrutural dos habitats dentro dos fragmentos florestais é um fator relevante para a conservação, pois oferece uma maior diversidade de microambientes e recursos essenciais para diferentes espécies. Ambientes mais complexos tendem a sustentar maior diversidade de nichos, promovendo a coexistência de espécies com diferentes requisitos ecológicos (Tews et al., 2004). Estes autores afirmam também que a heterogeneidade ambiental desempenha um papel fundamental na manutenção da biodiversidade, fornecendo uma variedade de nichos ecológicos que suportam diferentes espécies, além disso, paisagens com maior diversidade estrutural possibilitam a coexistência de espécies com diferentes requisitos ecológicos, ampliando a disponibilidade de abrigo, alimento e locais de reprodução. Estudos apontam que a complexidade ambiental pode reduzir a competição intra e interespecífica, promovendo uma maior diversidade funcional nos ecossistemas (Stein, Gerstner & Kreft, 2014).

Estudos como o de Baesse (2015) têm demonstrado que as espécies de aves respondem de formas diversificadas às ameaças impostas pela fragmentação, tornando essencial a investigação de como a biodiversidade é impactada. Ele destacou também como a fragmentação e a urbanização influenciam a condição corporal e a distribuição de aves em fragmentos de mata, apontando que a variabilidade de habitat é um fator crucial para garantir recursos como alimentação e abrigo, especialmente em áreas cercadas por matrizes antropizadas. O estudo revelou que espécies de média sensibilidade conseguem explorar fragmentos menos conectados, mas ainda dependem de habitats heterogêneos para sobreviver.

Estudos recentes reforçam que a perda de conectividade e a simplificação estrutural dos habitats têm impacto direto sobre a diversidade funcional das aves, afetando principalmente as espécies mais especializadas. Hasui et al. (2018) demonstraram que a riqueza de aves florestais está relacionada ao tamanho dos fragmentos e à conectividade funcional, enquanto Silva e Cândido-Jr (2020) observaram que espécies generalistas, como *Turdus rufiventris*, são mais adaptáveis a paisagens fragmentadas, ao passo que espécies dependentes de florestas contínuas, como *Tinamus solitarius*, são severamente prejudicadas. Rossi (2021) corroborou esses padrões ao apontar que as respostas variam conforme a estrutura da vegetação e o grau de isolamento dos fragmentos, com espécies especializadas sendo as mais impactadas. Esses achados convergentes reforçam a importância de considerar a sensibilidade ecológica das espécies ao se planejar ações de conservação.

Essas respostas diversificadas, influenciadas por fatores como variabilidade de habitat e conectividade, mostram como diferentes graus de sensibilidade ambiental

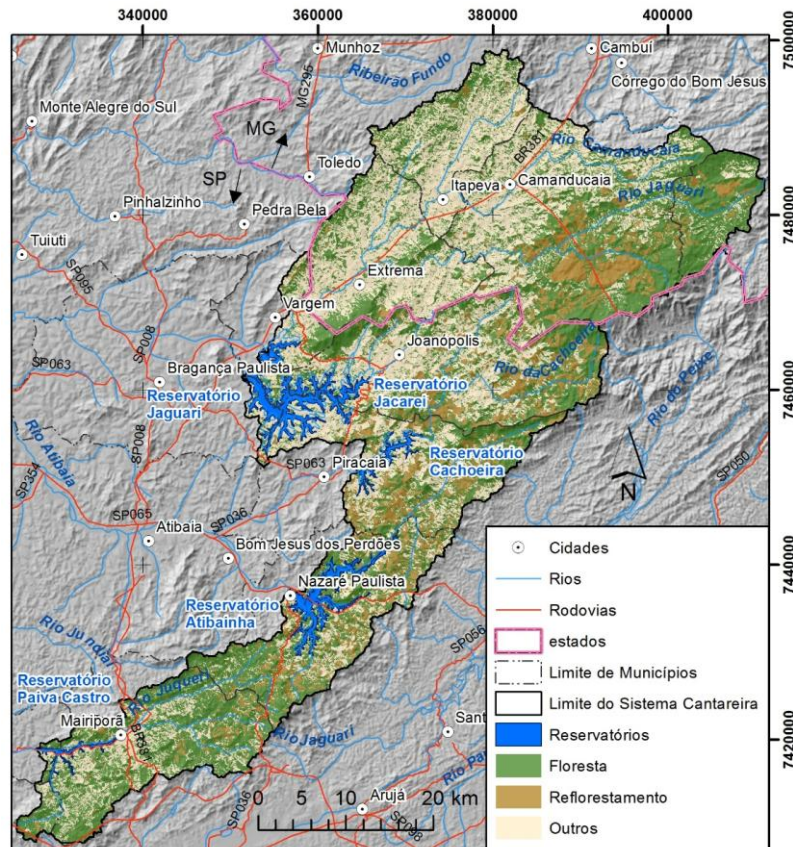
podem afetar diretamente as espécies. Diante desse contexto, o presente estudo busca analisar como a variabilidade de habitat e a conectividade florestal influenciam a ocorrência de espécies de aves com diferentes graus de sensibilidade à qualidade ambiental. Para isso, foram selecionadas 15 espécies representativas de baixa, média e alta sensibilidade florestal, cuja ocorrência foi identificada por meio de monitoramento acústico passivo, utilizando gravadores autônomos instalados em 68 fragmentos florestais da região do Sistema Cantareira. As análises foram conduzidas com base em dados de presença/ausência e tiveram como objetivo avaliar a influência de duas variáveis ambientais principais (variabilidade de habitat e conectividade funcional) sobre os diferentes grupos funcionais.

Entender essas relações é essencial para promover a manutenção da biodiversidade e a funcionalidade ecológica em paisagens fragmentadas, contribuindo para a conservação da Mata Atlântica, um dos biomas mais biodiversos e ameaçados do planeta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Área de estudo

O presente estudo foi realizado na região do Sistema Cantareira, uma importante área localizada nos estados de São Paulo e Minas Gerais. A região é caracterizada por um conjunto de fragmentos de florestas remanescentes da Mata Atlântica, distribuídos por municípios como Mairiporã, Atibaia, Nazaré Paulista, Piracaia, Joanópolis, Vargem e Bragança Paulista. Esses remanescentes desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade local, especialmente da avifauna, além de serem fundamentais para a manutenção dos recursos hídricos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).



conectividade entre os fragmentos florestais e, consequentemente, a dinâmica de dispersão e ocorrência das espécies, especialmente as mais sensíveis à fragmentação.

Foram selecionados 68 pontos amostrais em fragmentos florestais e áreas contínuas de floresta preservada. Que serão tratadas como unidades amostrais para este estudo. Os gravadores autônomos de áudio foram posicionados exclusivamente dentro desses fragmentos, não havendo amostragem na matriz. Essa decisão metodológica visou registrar a presença de aves em áreas de vegetação nativa, permitindo a avaliação da influência da variabilidade de habitat e da conectividade funcional sobre a ocorrência das espécies. Os fragmentos apresentam variados tamanhos e estados de conservação, incluindo vegetação secundária e trechos de vegetação primária em diferentes estágios de regeneração.

A região também abriga espécies bioindicadoras, como *Nyctiphrynus ocellatus* e *Schiffornis virescens*, cuja presença sinaliza a manutenção de condições ambientais compatíveis com a sobrevivência de espécies florestais mais exigentes. Nesses casos, a conectividade entre fragmentos se mostra um fator determinante para a conservação.

2.2 – Desenho amostral e coleta de dados

Para realizar a identificação das espécies de aves presentes na região do Sistema Cantareira por meio de suas vocalizações, foram utilizados gravadores autônomos de áudio, os quais foram distribuídos entre as unidades amostrais definidas no estudo. Os pontos de amostragem foram posicionados a uma distância mínima de 400 metros entre si, evitando, assim, interferências ou sobreposição nas gravações.

Foram utilizados 68 gravadores autônomos de áudio, Audiomoth (versão 1.14) (Hill et al., 2018), operados com cartões de memória e alimentados por três pilhas AA. Esses aparelhos foram configurados para capturar gravações 24 horas por dia, gravando um minuto, alternando com nove minutos em modo de espera, totalizando 144 minutos de gravações diárias (Lebien et al., 2020). No campo, os gravadores foram instalados em ramificações de árvores ou arbustos a uma altura aproximada de 1,5 metro. Além disso, foram protegidos com capas impermeáveis para evitar danos

causados pela chuva ou exposição à luz solar direta, bem como para reduzir o risco de furtos.

Os gravadores permaneceram em cada ponto por um período de 21 dias. O período de coleta de dados ocorreu entre novembro de 2021 e março de 2022, sendo dividido em três campanhas, organizadas para a instalação, retirada dos dispositivos e armazenamento das gravações obtidas e posterior recolocação no mesmo ponto.

Os gravadores registraram 100 espécies ao todo, destas 15 foram selecionadas para este estudo, são elas: *Basileuterus culicivorus*, *Chiroxiphia caudata*, *Coereba flaveola*, *Crypturellus obsoletus*, *Myiothlypis leucoblephara*, *Nyctiphrynus ocellatus*, *Odontophorus capueira*, *Pyriglena leucoptera*, *Ramphastos dicolorus*, *Saltator similis*, *Schiffornis virescens*, *Sclerurus scansor*, *Thamnophilus caerulescens*, *Tinamus solitarius*, *Trogon surrucura*.

As espécies escolhidas foram divididas em diferentes níveis de sensibilidade à fragmentação de habitat com base na classificação proposta por Stotz et al. (1996), que considera características ecológicas, como dieta, uso do habitat e capacidade de dispersão. Essa abordagem permitiu categorizar as espécies em grupos de baixa, média e alta sensibilidade, fornecendo uma base comparativa para analisar como cada grupo responde às variáveis de conectividade e variabilidade de habitat.



Figura 02. Gravadores autônomos Audiomoth. Instalação dos gravadores em campo, com capas protetoras e devidamente identificados (Esquerda); Disposição dos gravadores em campo (Direita).

2.3 - Análise de dados

Para avaliar a influência da variabilidade de habitat (x^1) e da conectividade florestal (x^2) na ocorrência das espécies de aves, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (GLMs) utilizando o programa R (versão 4.3.0). Os GLMs foram empregados com uma função de ligação logística para estimar a probabilidade de ocorrência das espécies em relação às variáveis ambientais.

Variáveis Explicativas e Modelo Estatístico

As análises consideraram duas variáveis explicativas:

- **x1 – Variabilidade de Habitat:** Esta variável foi mensurada a partir do Structural Vegetation Index (SVI), um índice espectral calculado com base em imagens de satélite utilizando as bandas do vermelho (*RED*) e do infravermelho próximo (*NIR*). O SVI é utilizado como *proxy* da estrutura e complexidade interna da vegetação, refletindo a heterogeneidade horizontal e vertical da cobertura vegetal dentro de cada fragmento. Fragmentos com maior variação espectral interna apresentam maior complexidade estrutural e, portanto, maior variabilidade de habitat.

As imagens utilizadas foram provenientes do satélite Sentinel-2, processadas em ambiente SIG no *software* QGIS, com cálculo do índice realizado a partir das composições multiespectrais. O valor do SVI foi extraído para a área correspondente a cada fragmento amostrado, compondo a base quantitativa para análise. Essa abordagem possibilita uma estimativa objetiva da heterogeneidade de habitat, compatível com estudos ecológicos que relacionam estrutura da vegetação à ocorrência de espécies sensíveis à fragmentação.

- **x2 – Conectividade funcional:** A conectividade funcional foi estimada com base na proporção de cobertura florestal em um raio de 500 metros ao redor de cada fragmento, considerando que áreas contínuas de vegetação nativa facilitam o deslocamento da fauna entre manchas de habitat. Essa métrica reflete a capacidade da paisagem em permitir o movimento de espécies entre fragmentos, levando em conta a permeabilidade da matriz.

A conectividade funcional entre os fragmentos foi estimada por meio do Índice Integral de Conectividade (IIC), uma métrica baseada na teoria dos grafos que avalia a conectividade em paisagens fragmentadas, considerando tanto a estrutura quanto a funcionalidade dos habitats. O IIC mede a probabilidade de que dois pontos aleatórios na paisagem estejam conectados por meio de habitats adequados, levando em conta o tamanho dos fragmentos, as distâncias entre eles e a permeabilidade da matriz circundante.

Diferente de outras métricas, o IIC integra tanto a conectividade estrutural (presença e disposição espacial dos fragmentos) quanto a conectividade funcional (capacidade das espécies de se deslocarem entre os fragmentos). Essa abordagem é especialmente útil para avaliar a importância relativa de cada fragmento na conectividade da paisagem, permitindo identificar fragmentos-chave que atuam como "nós críticos" ou "corredores ecológicos" para o deslocamento das espécies.

Além disso, o IIC permite simular cenários de perda ou restauração de habitat, o que contribui para prever os impactos dessas mudanças sobre a conectividade geral da paisagem. Por essas características, o índice tem sido amplamente empregado no

planejamento da conservação, auxiliando decisões sobre priorização de áreas para preservação, restauração ou implementação de corredores ecológicos. Assim, o IIC representa uma ferramenta robusta tanto para a quantificação da conectividade quanto para a formulação de estratégias de manejo voltadas à manutenção da biodiversidade e ao fluxo gênico em paisagens altamente fragmentadas.

Análise de Diversidade Espectral

A análise de diversidade espectral foi realizada com o pacote `biodivMapR` no R, baseado na Hipótese de Variação Espectral (SVH), que sugere que a heterogeneidade espectral obtida por satélites pode indicar a diversidade de plantas em campo.

Foram utilizadas imagens multiespectrais do Sentinel-2 com baixa cobertura de nuvens (menos de 10%). As imagens foram processadas para padronizar resolução, recortadas para a área de interesse e alinhadas com os dados do MapBiomias 2022.

A classificação do uso do solo foi reclassificada para separar áreas florestais das demais, servindo como máscara para excluir regiões irrelevantes, como áreas sombreadas ou com vegetação esparsa. Posteriormente, foi aplicada PCA para reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar padrões espectrais, seguida de clusterização por k-médias para agrupar assinaturas espectrais similares.

A diversidade foi estimada com o Índice de Shannon (H') em janelas de 100x100 metros, refletindo a variedade de assinaturas espectrais. Por fim, ressalta-se que essa abordagem é limitada ao nível do dossel e depende da resolução das imagens, podendo haver mistura de espécies em um único pixel.

O modelo geral foi estruturado como:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2$$

onde y é a probabilidade de ocorrência da espécie, β_0 é a intersecção, e β_1 e β_2 representam os coeficientes das variáveis x_1 e x_2 , respectivamente.

Para determinar os fatores mais relevantes para a ocorrência das espécies, diferentes combinações de variáveis explicativas foram incluídas em modelos

candidatos. A seleção dos melhores modelos foi realizada utilizando o Critério de Informação de Akaike ajustado para amostras pequenas (AICc).

As seguintes métricas foram consideradas:

- **AICc:** Avalia a qualidade relativa de cada modelo.
- **$\Delta AICc$:** Diferença entre o AICc do modelo candidato e o menor AICc encontrado. Modelos com $\Delta AICc \leq 2$ foram considerados plausíveis.
- **Peso de AICc (Weight):** Probabilidade de cada modelo ser o mais adequado para os dados, com valores variando de 0 a 1.

Para criar figuras compostas com múltiplos gráficos e tabelas, foi utilizado o pacote gridExtra no programa R (AUGUIE, 2017). Esse pacote permitiu a organização de gráficos em layouts personalizados, otimizando a visualização dos resultados

A importância relativa das variáveis foi avaliada com base nos pesos acumulados do AICc (Critério de Informação de Akaike ajustado para amostras pequenas) entre os modelos em que cada variável estava incluída. As variáveis com maiores pesos acumulados foram consideradas mais influentes na explicação da ocorrência das espécies nos diferentes grupos de sensibilidade florestal.

5. RESULTADOS

No geral, os modelos selecionados demonstraram diferentes respostas de acordo com o nível de sensibilidade de cada grupo de aves às variáveis analisadas (Tabela 01). A conectividade se mostrou como a variável mais importante para as espécies de alta sensibilidade, enquanto a heterogeneidade de habitats desempenhou um papel relevante, mas com menor peso. Para as espécies de média sensibilidade, os resultados foram mais heterogêneos, com algumas apresentando maior dependência da conectividade, enquanto outras foram mais influenciadas pela variabilidade de habitat ou não mostraram relação clara com nenhuma das variáveis analisadas. Já para as espécies generalistas, o modelo nulo foi predominante, refletindo sua maior

flexibilidade ecológica e menor dependência de características específicas da paisagem.

Tabela 1 - Tabela dos melhores modelos para variabilidade de habitat e conectividade para aves de diferentes graus de sensibilidade à fragmentação florestal.

Sensibilidade	Espécie	model	intrc	x1	x2	df	AIC	DAIC	Weight
Baixa	<i>Basileuterus culicivorus</i>	2	-12.370	5.095		2	42.5	0.00	0.369
		1	2.335			1	42.6	0.12	0.347
	<i>Coereba flaveola</i>	1	-1.442			1	68.4	0.00	0.331
		2	-13.610	4.158		2	68.6	0.22	0.296
	<i>Crypturellus obsoletus</i>	1	2.015			1	51.3	0.00	0.497
		3	2.212		-0.006646	2	53.0	1.72	0.210
	<i>Saltator similis</i>	1	-1.442			1	68.4	0.00	0.365
		3	-1.112		-0.01392	2	68.8	0.40	0.298
	<i>Thamnophilus caerulescens</i>	1	-0.5423			1	91.4	0.00	0.408
		3	-0.2704		-0.01041	2	92.0	0.56	0.308
Média	<i>Chiroxiphia caudata</i>	4	-15.6300	4.883	0.01993	3	82.9	0.00	0.520
		3	-13780		0.02103	2	84.0	1.11	0.299
	<i>Myiothlypis leucoblephara</i>	1	1645			1	62.2	0.00	0.503
		2	-2511	1.430		2	63.9	1.76	0.209
	<i>Odontophorus capueira</i>	1	-1.758			1	58.8	0.00	0.509
		2	-7.081	1.823		2	60.5	1.69	0.219
	<i>Pyriglena leucoptera</i>	3	-0.2160		0.1110	2	55.9	0.00	0.731
		4	-0.7284	0.1773	0.1106	3	57.9	2.00	0.269
	<i>Ramphastos dicolorus</i>	1	-2.534			1	37.7	0.00	0.517
		3	-2.753		0.007266	2	39.5	1.78	0.212
Alta	<i>Nyctiphrynus ocellatus</i>	3	-37.120		0.5323	2	17.8	0.00	0.550
		4	-41.670	1.504	0.5344	3	19.7	1.97	0.206
	<i>Schiffornis virescens</i>	3	-1.4930		0.02444	2	82.1	0.00	0.678
		4	0.8280	-0.8012	0.02487	3	84.0	1.90	0.262
	<i>Sclerurus scansor</i>	3	-3.386		0.04604	2	53.3	0.00	0.720
		4	-6.669	1.124	0.04588	3	55.3	1.90	0.278
	<i>Tinamus solitarius</i>	3	-35.580		0.5155	2	22.1	0.00	0.613
		4	-52.310	5.546	0.5220	3	23.6	1.49	0.291
	<i>Trogon surrucura</i>	3	-3.453		0.05212	2	54.2	0.00	0.709
		4	-8.350	1.673	0.05206	3	55.9	1.78	0.291

As espécies de baixa sensibilidade florestal, como *Basileuterus culicivorus*, *Crypturellus obsoletus* e *Myiothlypis leucoblephara*, apresentaram ampla distribuição sendo registradas em 62, 60 e 57 dos 68 pontos de amostragem, incluindo locais com diferentes graus de preservação e conectividade, estando presentes inclusive em áreas com presença humana e parcialmente urbanizadas. Esses padrões destacam sua maior resiliência e menor dependência de atributos específicos da paisagem.

Para as espécies de sensibilidade moderada, os modelos apresentaram respostas variadas. Em algumas situações, o modelo nulo foi selecionado, indicando pouca influência das variáveis estudadas sobre a ocorrência de *Myiothlypis leucoblephara* e *Odontophorus capueira*. Por outro lado, *Chiroxiphia caudata* apresentou forte relação com a conectividade (x^2), assim como *Pyriglena leucoptera* também demonstrou influência significativa dessa variável. Já *Ramphastos dicolorus* teve sua ocorrência associada a ambas as variáveis, conectividade (x^2) e heterogeneidade de habitats (x^1), embora com predominância da conectividade."

As espécies de alta sensibilidade foram fortemente associadas à conectividade, que foi selecionada como a principal variável em 100% dos casos (Tabela 2). Entre essas espécies, *Tinamus solitarius* foi a que apresentou o menor número de registros, sendo detectada apenas em três localidades, todas localizadas em áreas contínuas de floresta, contrastando com outras espécies que mostraram uma distribuição um pouco mais ampla.

Tabela 2- Importância relativa da variável (RwAICc) para os parâmetros de aves com diferentes níveis de sensibilidade florestal considerando duas variáveis. Variabilidade de habitat e conectividade dos fragmentos.

Sensibilidade	Espécie	Var. Habitat	Conectividade
Baixa	<i>Basileuterus culicivorus</i>	0.509	0.284
	<i>Coereba flaveola</i>	0.459	0.374
	<i>Crypturellus obsoletus</i>	0.293	0.295
	<i>Saltator similis</i>	0.337	0.463
	<i>Thamnophilus caerulescens</i>	0.283	0.435
Média	<i>Chiroxiphia caudata</i>	0.652	0.819
	<i>Myiothlypis leucoblephara</i>	0.292	0.288
	<i>Odontophorus capueira</i>	0.302	0.272
	<i>Pyriglena leucoptera</i>	0.269	1.00
	<i>Ramphastos dicolorus</i>	0.270	0.291
Alta	<i>Nyctiphrynus ocellatus</i>	0.274	0.756
	<i>Schiffornis virescens</i>	0.278	0.940
	<i>Sclerurus scansor</i>	0.279	0.998
	<i>Tinamus solitarius</i>	0.323	0.904
	<i>Trogon surrucura</i>	0.291	1.00

6. DISCUSSÃO

A história de fragmentação da Mata Atlântica na região do Sistema Cantareira remonta ao avanço da urbanização e à expansão agropecuária, que ao longo dos últimos séculos reduziram vastas extensões de florestas a pequenos fragmentos isolados. De maneira similar ao observado para a Mata Atlântica como um todo (Ribeiro et al., 2009), a configuração atual da paisagem no Sistema Cantareira resulta em um mosaico de fragmentos com diferentes graus de isolamento, afetando a capacidade das espécies de se movimentarem entre eles. Esta dinâmica de fragmentação cria barreiras para a dispersão, especialmente para espécies que possuem uma alta dependência de ambientes florestais contínuos, como *Trogon surrucura* e *Tinamus solitarius*. A qualidade da matriz tem um papel essencial na capacidade de dispersão das aves, especialmente aquelas com maior dependência de ambientes florestais contínuos (Kupriyanov, 2024).

As espécies analisadas neste estudo apresentaram diferentes padrões de resposta às variáveis ambientais, os quais podem ser parcialmente explicados por suas características ecológicas, como estrato de uso, comportamento de forrageamento, dieta e capacidade de dispersão. Por exemplo, espécies como *Nyctiphrynus ocellatus* e *Sclerurus scansor*, restritas ao sub-bosque e com baixa capacidade de dispersão, mostraram maior dependência da conectividade funcional, o que está de acordo com sua limitação em cruzar matrizes abertas.

Já espécies como *Ramphastos dicolorus* e *Trogon surrucura*, que utilizam predominantemente o dossel e apresentam maior mobilidade, responderam positivamente tanto à conectividade quanto à variabilidade estrutural do habitat,

indicando certa flexibilidade ecológica. Por sua vez, espécies do estrato do solo, como *Tinamus solitarius*, foram registradas exclusivamente em áreas mais contínuas, reforçando sua alta exigência por conectividade e estrutura florestal densa.

Essas relações sugerem que, embora as espécies tenham sido agrupadas por grau de sensibilidade à fragmentação, suas características ecológicas individuais ajudam a explicar variações nas respostas aos modelos. Isso reforça a importância de integrar informações funcionais à interpretação dos resultados, mesmo que a categorização principal tenha se dado com base na sensibilidade ecológica.

No Sistema Cantareira, este entendimento sobre as características de cada espécie permite uma compreensão mais detalhada dos impactos da paisagem fragmentada e das diferentes matrizes sobre a biodiversidade local. A conectividade proporcionada pelo tamanho e pela distribuição dos fragmentos florestais é um dos fatores mais importantes para a conservação da biodiversidade. Estratégias que priorizem o aumento da conectividade funcional entre fragmentos são essenciais, especialmente para espécies com alta sensibilidade à fragmentação, como *Tinamus solitarius* e *Schiffornis virescens*.

O conjunto de espécies selecionadas para este estudo abrange uma ampla diversidade ecológica, representando distintos níveis de sensibilidade à fragmentação, além de diferenças marcantes no uso do habitat, dieta e nicho ecológico. Entre as espécies analisadas, há aquelas que utilizam prioritariamente o estrato inferior da floresta, como *Tinamus solitarius* e *Odontophorus capueira*, que dependem do chão da floresta para forrageamento e deslocamento. Em contrapartida, *Ramphastos dicolorus* habita o dossel, explorando áreas elevadas da vegetação. Já espécies como

Chiroxiphia caudata e *Schiffornis virescens* ocupam principalmente o sub-bosque, utilizando a vegetação intermediária como abrigo e fonte de recursos. Além disso, a inclusão de *Nyctiphrynus ocellatus*, uma espécie de hábitos noturnos, amplia ainda mais a abrangência do estudo, permitindo a análise dos efeitos da fragmentação também para aves de diferentes períodos de atividade.

Ao analisar os resultados, observa-se que algumas espécies que compartilham nichos ecológicos semelhantes apresentam níveis de sensibilidade distintos à fragmentação. Isso sugere que, embora a ocupação de determinado estrato florestal ou a dieta possam influenciar a vulnerabilidade das espécies, esses fatores, isoladamente, não são preditores absolutos da resposta à fragmentação. A conectividade funcional da paisagem, a capacidade de dispersão e a flexibilidade no uso de recursos são aspectos complementares que podem modular essas respostas. Assim, a heterogeneidade do conjunto de espécies estudadas permitiu uma compreensão mais ampla dos impactos da fragmentação, fornecendo insights sobre como diferentes combinações de características ecológicas interagem com a paisagem fragmentada. Caso o estudo tivesse abordado um grupo mais homogêneo, as respostas obtidas seriam restritas a um subconjunto específico da avifauna, limitando a aplicabilidade dos resultados para a conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas.

Baixa sensibilidade

As espécies classificadas como de baixa sensibilidade à fragmentação demonstraram uma maior flexibilidade ecológica, refletida em sua ampla ocorrência em paisagens fragmentadas e frequentemente alteradas. Espécies como *Basileuterus*

culicivorus, *Saltator similis* e *Thamnophilus caerulescens*, por exemplo, demonstraram uma forte relação com habitats estruturalmente mais complexos, sugerindo que, mesmo em fragmentos menores, a presença de diversidade ambiental pode ser suficiente para sustentar populações viáveis.

Por outro lado, a conectividade florestal mostrou-se pouco influente para o grupo como um todo, com padrões variados e, em alguns casos, até mesmo negativos, como observado em *Saltator similis* cujo resultado será discutido a seguir. Esses resultados reforçam o caráter generalista dessas espécies, que conseguem explorar uma ampla gama de ambientes, incluindo áreas urbanizadas, pomares e pequenos bosques, onde a conectividade funcional entre fragmentos é limitada (Silva & Cândido-Jr, 2020; Rossi, 2021; Baesse, 2015). Essa flexibilidade permite que as espécies de baixa sensibilidade sejam menos afetadas pela fragmentação, destacando-se como resilientes em paisagens altamente antropizadas.

Em *Coereba flaveola*, por exemplo, a presença de áreas urbanizadas com arbustos ou praças arborizadas mostrou-se suficiente para sustentar populações, destacando sua extrema adaptabilidade e baixa dependência de características específicas da paisagem (Mascarenhas *et al.*, 2022). Da mesma forma, *Basileuterus culicivorus*, frequentemente encontrado em pequenos fragmentos ou bosques, apresentou uma associação positiva com a variabilidade de habitat, reforçando a importância de habitats estruturalmente diversificados, ainda que de tamanho reduzido (Silva & Cândido-Jr, 2020).

Um caso notável é o de *Saltator similis*, cuja análise gráfica demonstrou um padrão de aumento na probabilidade de ocorrência em habitats com maior variabilidade estrutural,

mas uma diminuição em paisagens com maior conectividade florestal. Essa tendência, embora interessante, deve ser interpretada com cautela, uma vez que o modelo nulo foi selecionado para esta espécie, sugerindo que esses padrões podem ser atribuídos a fatores aleatórios, e não necessariamente a relações significativas com as variáveis analisadas. Já *Thamnophilus caerulescens* demonstrou a capacidade de explorar habitats simplificados, sendo registrado em pequenos fragmentos e bosques, o que reflete sua alta resiliência e adaptabilidade a paisagens fragmentadas.

Por fim, em *Crypturellus obsoletus*, uma espécie predominantemente terrestre, os resultados indicam que sua ocorrência está menos relacionada à conectividade e mais associada à variabilidade de habitat. Essa espécie mostrou-se capaz de persistir em fragmentos menores e menos conectados, sugerindo uma adaptabilidade que lhe permite explorar paisagens fragmentadas, desde que ofereçam condições mínimas de abrigo e recursos alimentares no sub-bosque. No entanto, sua dependência de micro-habitats adequados no estrato inferior reforça a relevância de preservar a complexidade estrutural dentro de fragmentos, mesmo em paisagens com alta fragmentação.

Portanto, os resultados indicam que as espécies de baixa sensibilidade não são significativamente afetadas pela conectividade florestal nem pela variabilidade de habitat. Isso pode estar relacionado à sua maior plasticidade ecológica, permitindo que explorem uma ampla gama de ambientes, incluindo fragmentos pequenos, áreas urbanizadas e mosaicos de paisagens antropizadas. A presença dessas espécies em diferentes contextos sugere que fatores como disponibilidade de alimento e capacidade

de adaptação a ambientes alterados são mais relevantes para sua ocorrência do que a estrutura da paisagem em si.

Média sensibilidade

A maior parte das espécies de sensibilidade moderada demonstrou uma relação mais forte com a variabilidade de habitat, destacando que habitats com maior complexidade estrutural desempenham um papel relevante para sua ocorrência. No entanto, a conectividade mostrou-se importante para algumas dessas espécies, ainda que de forma menos intensa do que para aquelas de alta sensibilidade, sugerindo que essas aves possuem maior capacidade de explorar fragmentos menos conectados. Essa variação nos resultados reflete tanto a heterogeneidade dentro do próprio grupo de sensibilidade moderada quanto as características específicas da matriz ambiental da área estudada, composta por fragmentos de diferentes tamanhos e graus de conectividade.

As espécies classificadas como de média sensibilidade demonstraram uma gama de respostas às variáveis analisadas, refletindo sua posição intermediária em relação à dependência de conectividade e variabilidade de habitat. Esse grupo é caracterizado por uma certa flutuação nos padrões de ocorrência, indicando que, embora essas espécies sejam mais exigentes do que aquelas de baixa sensibilidade, ainda apresentam uma resiliência moderada em paisagens fragmentadas. A conectividade mostrou-se uma variável importante para algumas espécies, enquanto a variabilidade de habitat desempenhou um papel significativo em outras, ressaltando a diversidade de estratégias adaptativas e ecológicas dentro deste grupo.

Entre as espécies analisadas, *Chiroxiphia caudata* apresentou uma dependência clara da conectividade florestal, com um aumento acentuado na probabilidade de ocorrência em paisagens mais conectadas. A variabilidade de habitat, também se mostrou importante, embora levemente mais gradual, indicando que a espécie utiliza corredores florestais principalmente para deslocamento entre fragmentos e acesso a recursos. Esse comportamento é consistente com sua preferência por áreas de transição entre florestas e taquarais, habitats que oferecem proteção e recursos alimentares essenciais (Della Flora & Cáceres, 2012).

Já *Myiothlypis leucoblephara* demonstrou uma baixa dependência de ambas as variáveis analisadas, refletindo sua alta resiliência em paisagens fragmentadas. Essa espécie parece explorar uma ampla gama de condições ambientais, incluindo bordas de floresta e áreas secundárias, sendo capaz de sobreviver mesmo em habitats com baixa conectividade e complexidade estrutural. No entanto, esses resultados contrastam com os obtidos por Uezu et al. (2005) no Planalto de Ibiúna, onde a conectividade funcional foi determinante para a abundância da espécie. Esse contraste pode ser atribuído às diferenças no grau de conectividade estrutural e funcional entre as regiões estudadas, com a Serra da Cantareira apresentando condições menos favoráveis. Uma análise mais aprofundada para estas questões deve ser investigada posteriormente.

Odontophorus capueira, por sua vez, mostrou-se moderadamente influenciado pela variabilidade de habitat, indicando que habitats com maior diversidade estrutural podem oferecer condições mais favoráveis para a espécie. A conectividade, entretanto, não teve impacto significativo, refletindo sua adaptabilidade a fragmentos isolados e

matrizes antropogênicas. Esse padrão sugere que a espécie é capaz de ocupar áreas fragmentadas, desde que a diversidade estrutural local seja suficiente para atender às suas necessidades ecológicas.

Para *Pyriglena leucoptera*, a conectividade foi a variável mais relevante, com um padrão claro de aumento na probabilidade de ocorrência em paisagens mais conectadas. A variabilidade de habitat teve um impacto menor, sugerindo que a espécie depende mais de condições que favoreçam o movimento entre fragmentos florestais, essenciais para sua sobrevivência e reprodução.

No caso de *Ramphastos dicolorus*, a espécie apresentou uma relação moderada com ambas as variáveis, destacando-se a maior influência da conectividade. Sua habilidade de atravessar grandes áreas abertas facilita o deslocamento entre fragmentos distantes, o que facilita a irradiação dos indivíduos, colonizando outras áreas. Esse comportamento, refletido nos resultados, indica que a conectividade desempenha um papel crucial na ocorrência da espécie, enquanto a variabilidade de habitat tem uma influência um pouco menos expressiva.

Alta sensibilidade

As espécies classificadas como de alta sensibilidade à fragmentação destacam-se por sua forte dependência de paisagens florestais bem conectadas e estruturalmente complexas (Uezu; Metzger; Vielliard, 2005). Esses padrões refletem as características ecológicas desse grupo, que inclui aves do sub-bosque, como *Schiffornis virescens* e *Sclerurus scansor*, espécies de dossel, como *Trogon surrucura*, e espécies de chão, como *Tinamus solitarius*. De maneira geral, a conectividade

demonstrou ser a variável mais influente para o grupo, com tendências claras de aumento na probabilidade de ocorrência em paisagens com maior conectividade funcional entre os fragmentos florestais.

O comportamento dessas aves reflete sua alta dependência de fragmentos florestais contínuos e conectados, o que também é evidenciado pela ausência de padrões significativos de ocorrência em áreas mais antropizadas ou com baixa complexidade estrutural. Este resultado ressalta a vulnerabilidade do grupo à fragmentação da paisagem, especialmente em regiões com matrizes hostis ou fragmentos isolados.

Entre as espécies analisadas, *Nyctiphrynus ocellatus*, ave noturna de sub-bosque, apresentou uma relação forte com a conectividade, indicando que sua ocorrência está diretamente associada à presença de corredores florestais ou fragmentos próximos. Os resultados evidenciam que a variabilidade de habitat exerce um papel secundário, reforçando a ideia de que a conectividade funcional é o principal fator determinante para essa espécie. (Ver gráfico da espécie em anexos).

De forma semelhante, *Schiffornis virescens*, outra espécie restrita ao sub-bosque, mostrou uma dependência significativa de áreas com maior conectividade e complexidade estrutural. Embora a variabilidade de habitat tenha demonstrado um impacto positivo moderado, a conectividade foi o fator mais influente. Este padrão está alinhado ao comportamento da espécie, que utiliza habitats densamente vegetados para forrageamento e nidificação.

Os resultados para *Sclerurus scansor* indicam uma leve predominância da conectividade sobre a variabilidade de habitat, embora ambos os fatores

desempenhem papéis importantes. A espécie responde positivamente a paisagens bem conectadas, mas também se beneficia de habitats estruturalmente mais diversificados. Essa característica reflete sua dependência de micro-habitats específicos no sub-bosque e chão da floresta, que oferecem proteção e recursos alimentares.

Por sua vez, *Trogon surrucura*, uma espécie de dossel, exibiu uma relação positiva com ambas as variáveis, embora a conectividade tenha mostrado uma ligeira predominância. Os gráficos indicam que a espécie depende de corredores florestais para se deslocar entre fragmentos, enquanto a variabilidade de habitat desempenha um papel secundário na sua distribuição. Este padrão está em consonância com o comportamento da espécie, que utiliza o dossel de florestas bem preservadas para forrageamento e reprodução.

Por último, como uma espécie terrestre, *Tinamus solitarius* apresentou uma alta dependência da conectividade, com um aumento rápido na probabilidade de ocorrência em paisagens mais conectadas. A variabilidade de habitat também demonstrou um impacto positivo, sugerindo que a espécie é sensível tanto à conectividade funcional quanto à diversidade estrutural dos fragmentos. Este padrão reforça a necessidade da espécie por grandes áreas florestais contínuas, que proporcionam condições adequadas para alimentação e proteção contra predadores.

Os resultados deste estudo destacam a importância de estratégias de conservação que promovam a conectividade funcional e a complexidade estrutural da paisagem, considerando as diferentes demandas ecológicas dos grupos de aves analisados. A criação e restauração de corredores ecológicos devem ser priorizadas

para mitigar os efeitos do isolamento em espécies de alta sensibilidade, enquanto o aumento da diversidade estrutural em matrizes antropizadas pode beneficiar espécies generalistas e de sensibilidade moderada. Essas abordagens complementares podem não apenas melhorar a permeabilidade da paisagem para o movimento das espécies, mas também favorecer o fluxo gênico entre populações, garantindo maior resiliência frente às crescentes pressões antrópicas.

Diante do avanço da ocupação humana na região, o desafio está em integrar ações de manejo sustentável à conservação da biodiversidade, promovendo práticas que conciliem a recuperação de áreas degradadas com a manutenção de serviços ecossistêmicos. Incentivar o plantio de espécies nativas em áreas estratégicas, fomentar a adoção de políticas públicas voltadas à preservação de fragmentos e estimular a conscientização local são medidas fundamentais para transformar áreas hostis em ambientes que favoreçam a mobilidade e a sobrevivência das espécies mais exigentes. Essa visão integrada é essencial para garantir a funcionalidade ecológica em paisagens fragmentadas e para a preservação da Mata Atlântica e sua rica biodiversidade.

7. CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou como diferentes grupos de aves respondem à fragmentação da paisagem na região do Sistema Cantareira, revelando padrões distintos de dependência da conectividade e da variabilidade de habitat. Espécies de alta sensibilidade demonstraram maior dependência de conectividade funcional, enquanto as de sensibilidade moderada apresentaram respostas heterogêneas, variando entre conectividade e características locais do habitat. Já as espécies de baixa sensibilidade mostraram-se amplamente distribuídas e resilientes, com pouca influência das variáveis analisadas.

Esses resultados reforçam a importância de estratégias de conservação que combinem a restauração de conectividade para espécies mais exigentes com o manejo de habitats diversificados para beneficiar grupos generalistas. Tais ações são essenciais para mitigar os impactos da fragmentação, garantir a manutenção da biodiversidade local e promover a funcionalidade ecológica em uma das regiões mais ameaçadas da Mata Atlântica.

9. REFERÊNCIAS

- AUGUIE, B. gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics. R package version 2.3, 2017. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- BAESSE, C. Q. Aves como biomonitoras da qualidade ambiental em fragmentos florestais de matas semidecíduais do Cerrado. 2015. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais)—Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/13416/1/AvesBiomonitorasQualidade.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2025.
- BEIER, P.; NOSS, R. F. Os corredores de habitat fornecem conectividade. *Conservation Biology*, v. 12, n. 6, p. 1241-1252, 1998.
- CHAVES, Rafael Barreiro; OLIVEIRA, Guaraci Belo de. Fragmentação de habitat. In: **Manejo de fragmentos florestais degradados**. 1. ed. São Paulo: The Nature Conservancy, 2016. p. 18-30.
- CORDEIRO, P. H. Análise dos padrões de distribuição geográfica das aves endêmicas da Mata Atlântica e a importância dos corredores da Serra do Mar e do Corredor Central para a conservação da biodiversidade brasileira. *Ornis Meio Ambiente e Desenvolvimento*, 2001.
- DAMSCHEN, E. I.; HADDAD, N. M.; ORROCK, J. L.; TEWKSBURY, J. J.; LEVEY, D. J. Corridors Increase Plant Species Richness at Large Scales. *Science*, v. 313, n. 5791, p. 1284-1287, 2006.

- DELLA FLORA, F.; CÁCERES, N. C. Uso do habitat, dieta e comportamento de corte do tangará *Chiroxiphia caudata* em floresta estacional do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 20, n. 2, p. 160-167, 2012.
 - FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.
 - FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 4, p. 493-502, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/download/5690/4277>. Acesso em: 2 jan. 2025."
 - HADDAD, N. M.; BRUDVIG, L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, v. 1, n. 2, e1500052, 2015.
 - HASUI, É.; METZGER, J. P.; PIMENTEL, R. G.; SILVEIRA, L. F.; BOVO, A. A. d. A. B. ATLANTIC BIRDS: a data set of bird species from the Brazilian Atlantic Forest. *Ecology*, v. 99, n. 2, p. 497, 2018.
 - KUPRIYANOV, A. Influência da matriz de pastagens e eucalipto na conectividade do Sistema Cantareira. 2024.
 - LINDENMAYER, D. B.; NIX, H. A. Ecological Principles for the Design of Wildlife Corridors. *Conservation Biology*, v. 7, n. 3, p. 627-630, 1993.
- MASCARENHAS, R.; MEIRELLES, P. M.; BATALHA-FILHO, H. Urbanization drives adaptive evolution in a Neotropical bird. *Current Zoology*, v. 69, n. 5, p. 607–616, 2022.

- "METZGER, J. P. Estrutura da paisagem. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://ecologia.ib.usp.br/lepac/eco_paisagem/2_conectividade.pdf.

- PARDINI, R.; SOUZA, S. M.; BRAGA-NETO, R.; METZGER, J. P. The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in an Atlantic forest landscape. *Biological Conservation*, v. 124, n. 2, p. 253-266, 2005.

- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

- ROSSI, R. F. Respostas ecológicas das aves à fragmentação no Brasil Central. 2021. Tese (Doutorado em Zoologia)—Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Brasília, 2021. Disponível em: https://repositorio.unb.br/jspui/bitstream/10482/41842/1/2021_ReileFerreiraRossi.pdf. Acesso em: 6 jan. 2025.

ROSSI, L. C.; OLIVEIRA, M. L.; SANTOS, J. R. **Structural Vegetation Index (SVI) as a proxy for habitat complexity in tropical forest landscapes**. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, v. 6, n. 2, p. 141–152, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/rse2.130>. Acesso em: 13 abr. 2025.

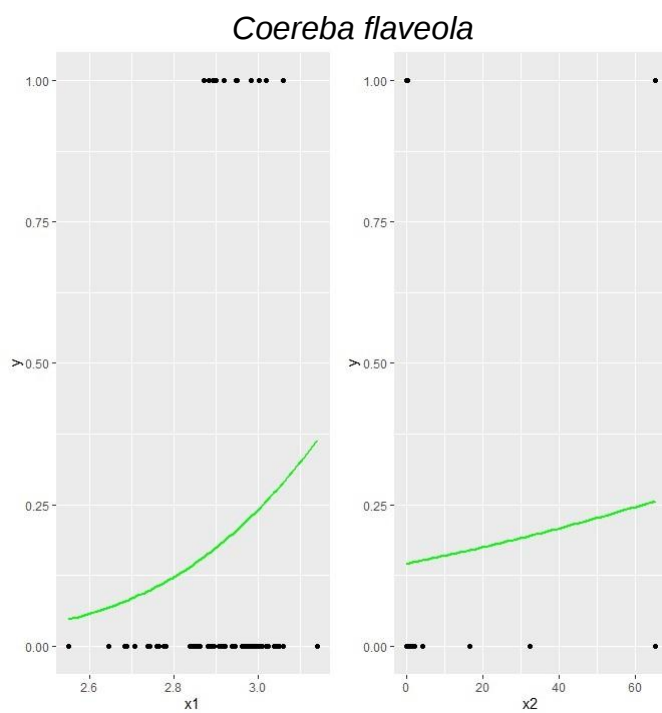
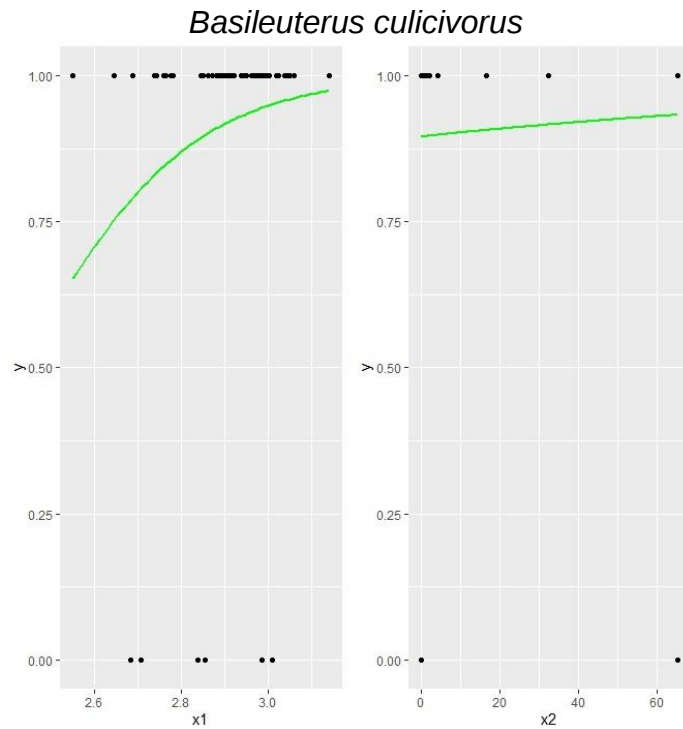
- SILVA, G. P.; CÂNDIDO-JR, J. F. Effects of habitat loss and fragmentation on Atlantic Forest birds: a meta-analysis of functional diversity. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 18, n. 2, p. 105–112, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064420300380>. Acesso em: 6 jan. 2025.

- STOTZ, D. F.; FITZPATRICK, J. W.; PARKER, T. A.; MOSKOVITS, D. K. **Neotropical Birds: Ecology and Conservation**. Chicago: University of Chicago Press, 1996.
- TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Floresta atlântica nordestina: fragmentação, degeneração e perda de biodiversidade. *Ciência Hoje*, v. 34, n. 199, p. 60-65, 2004.
- TEWS, J. et al. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of habitat structure. *Oikos*, v. 109, n. 1, p. 159-176, 2004.
- UEZU, A.; METZGER, J. P. Vanishing bird species in the Atlantic Forest: relative importance of landscape configuration, forest structure and species characteristics. *Biodiversity and Conservation*, v. 20, n. 13, p. 3627-3643, 2011.
- UEZU, A.; METZGER, J. P.; VIELLIARD, J. M. E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation*, v. 123, n. 4, p. 507-519, 2005.
- UEZU, A.; METZGER, J. P.; VIELLIARD, J. M. E. Dynamics of functional connectivity in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, v. 22, n. 5, p. 1242-1250, 2008.
- VILLARD, M. A.; METZGER, J. P. Beyond the fragmentation debate: A conceptual model to predict when habitat configuration really matters. *Journal of Applied Ecology*, v. 51, n. 2, p. 309-318, 2014.
- SANTANA, D. J.; SOUZA, S. S.; GONZÁLEZ, J. B. Habitat Use and Circadian Pattern of Solitary Tinamou (*Tinamus solitarius*) in a Southern Brazilian Atlantic Rainforest. *Bird Conservation International*, v. 30, n. 4, p. 612-623, 2020.
- SILVA, F. R. Fragmentação florestal, perda de habitat e ocorrência de pequenos mamíferos não voadores na Mata Atlântica do Espírito Santo. 2010. Dissertação

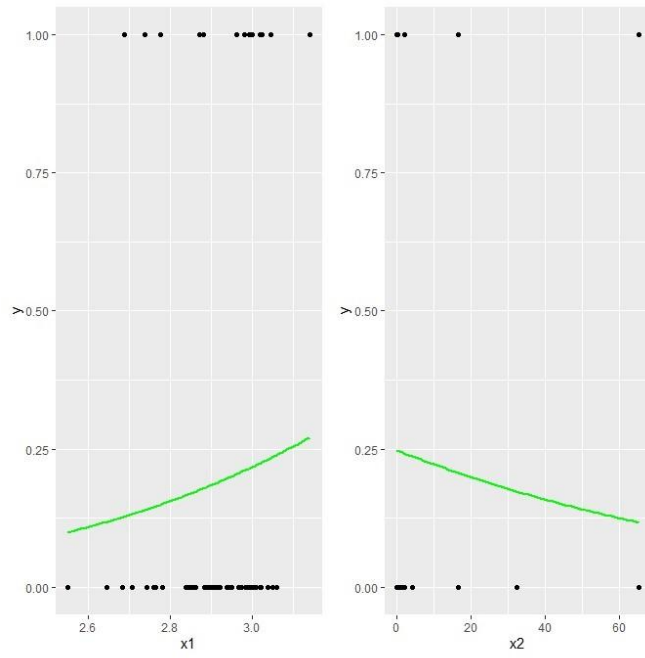
(Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3852/1/Flavia-Silva.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ANEXO A

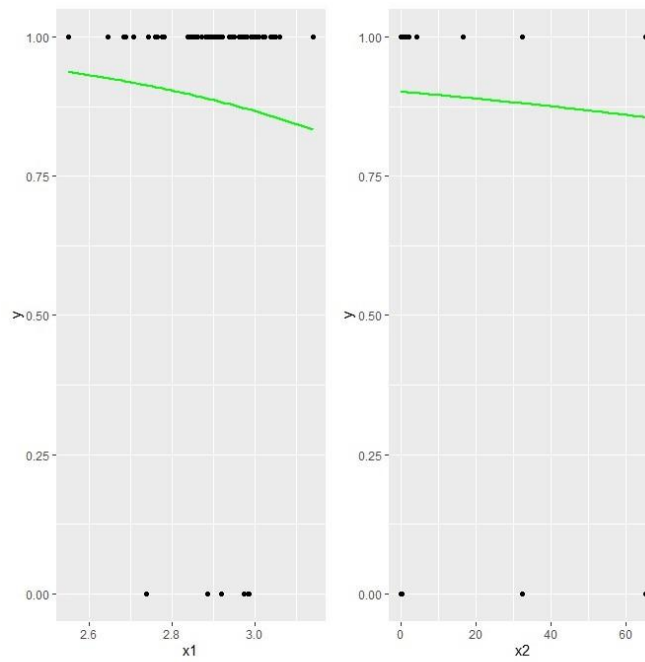
Gráficos com as variáveis x1 e x2 de todas as espécies estudadas.



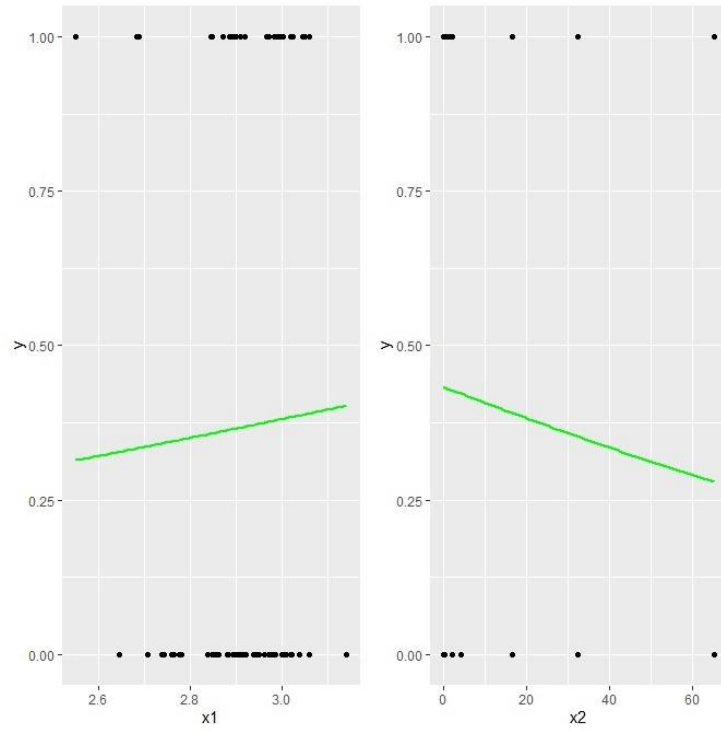
Saltator similis



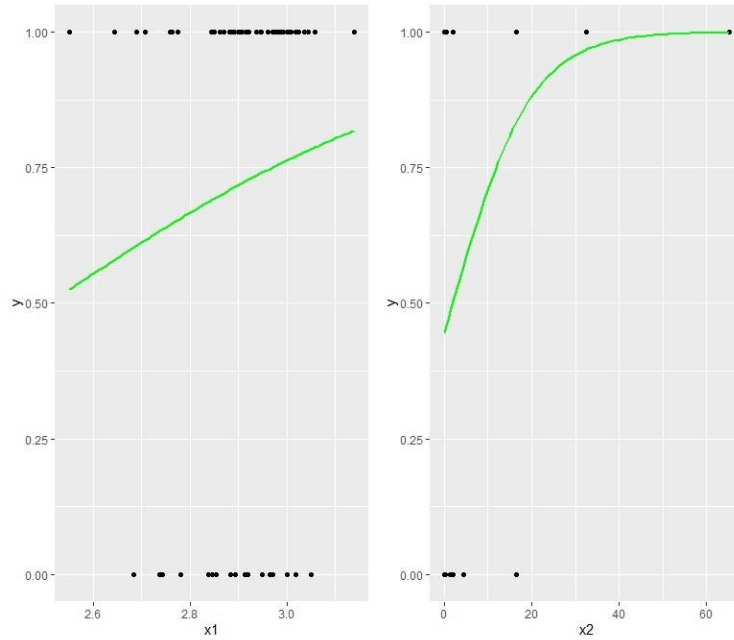
Crypturellus obsoletus



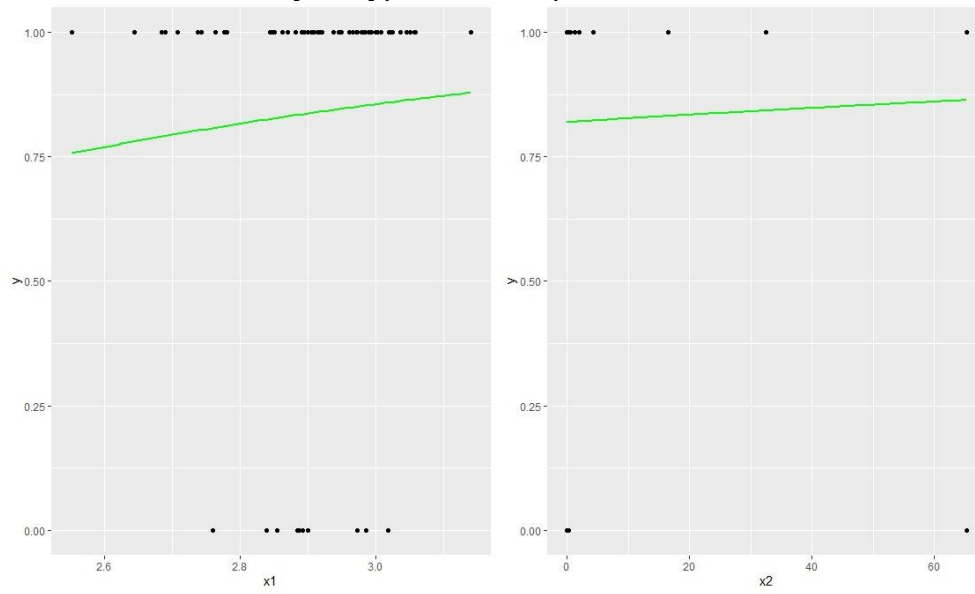
Thamnophilus caeruleus



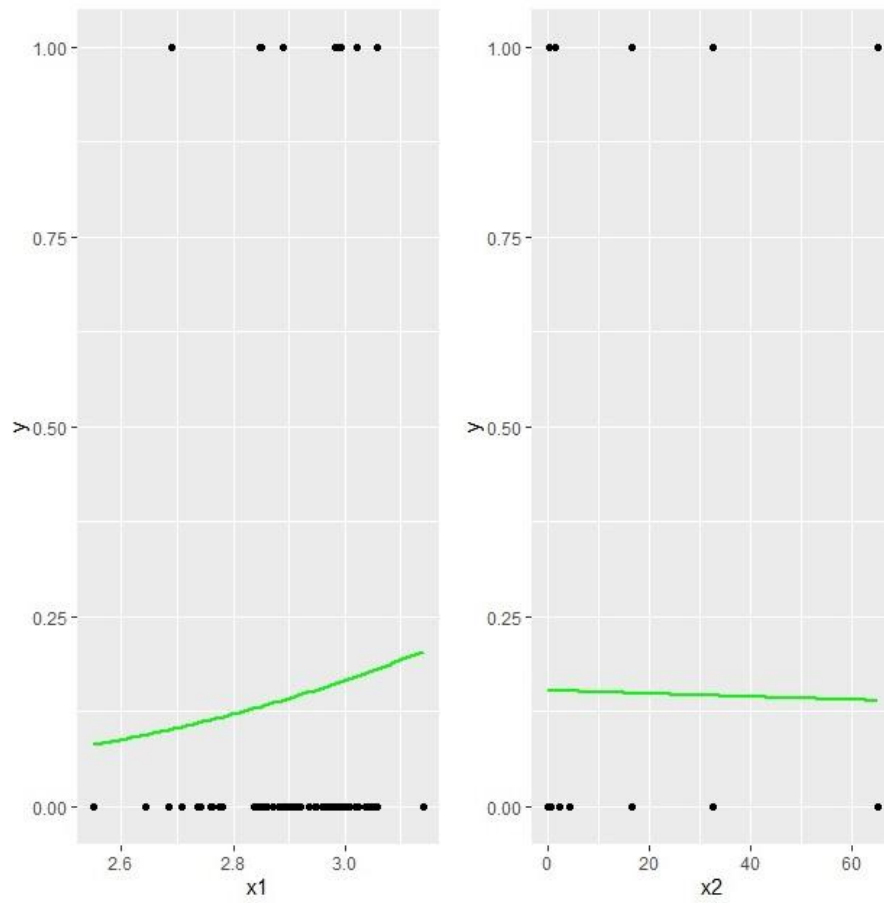
Chiroxiphia caudata



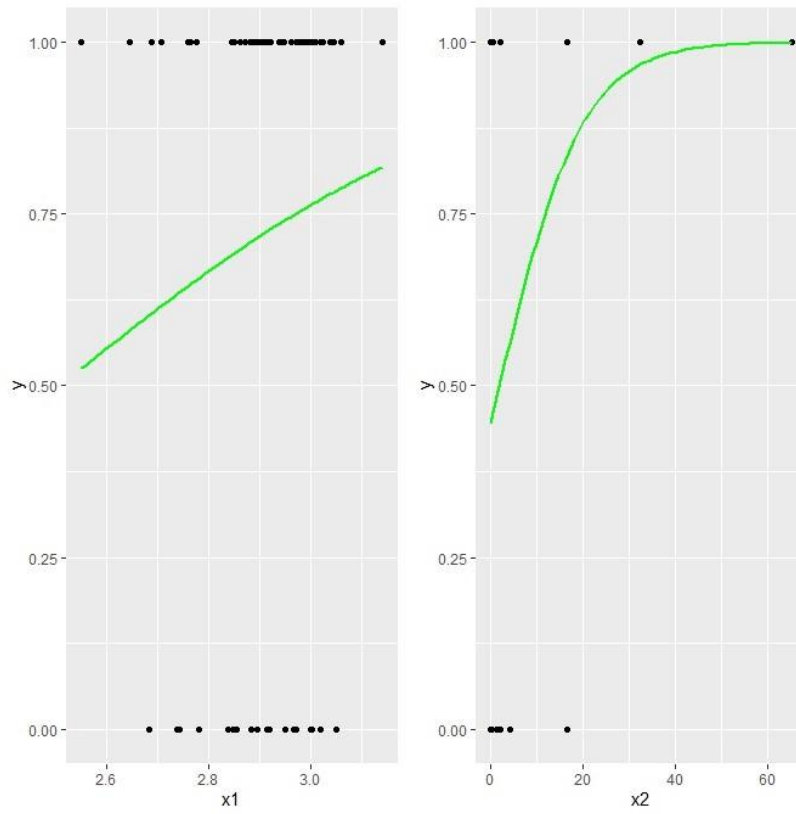
Myiothlypis leucoblephara



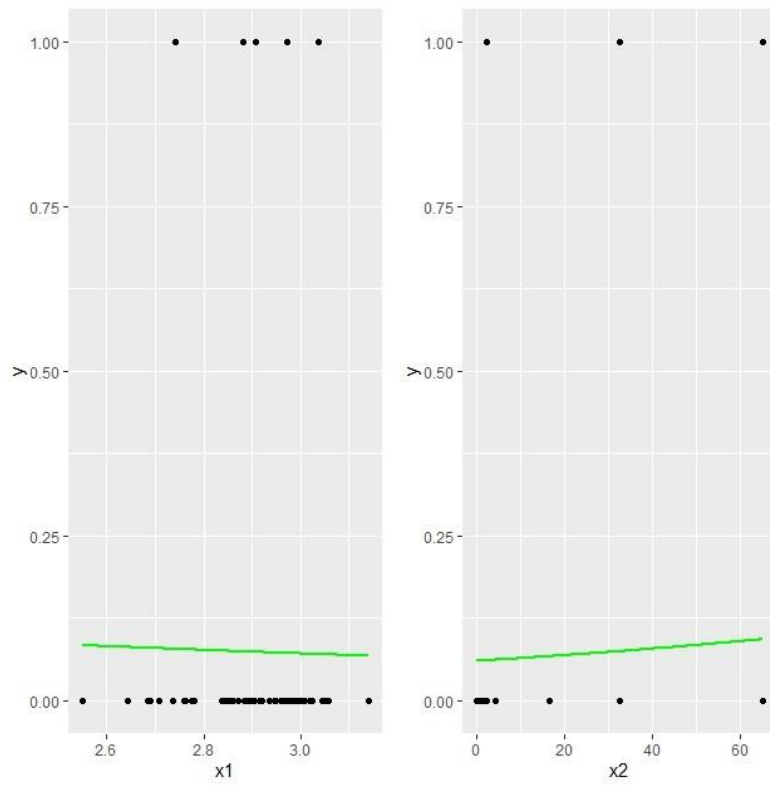
Odontophorus capueira



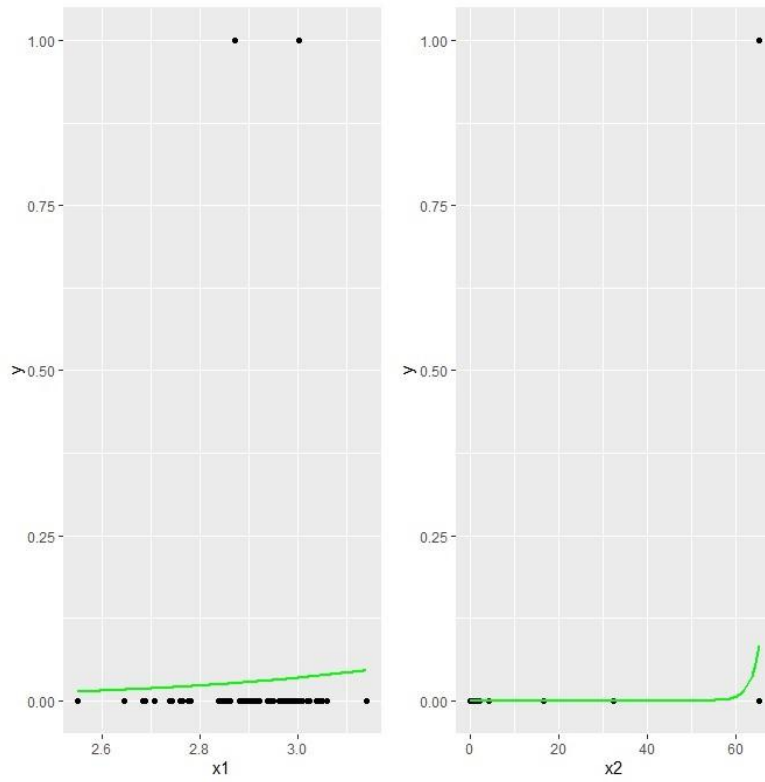
Pyriglena leucoptera



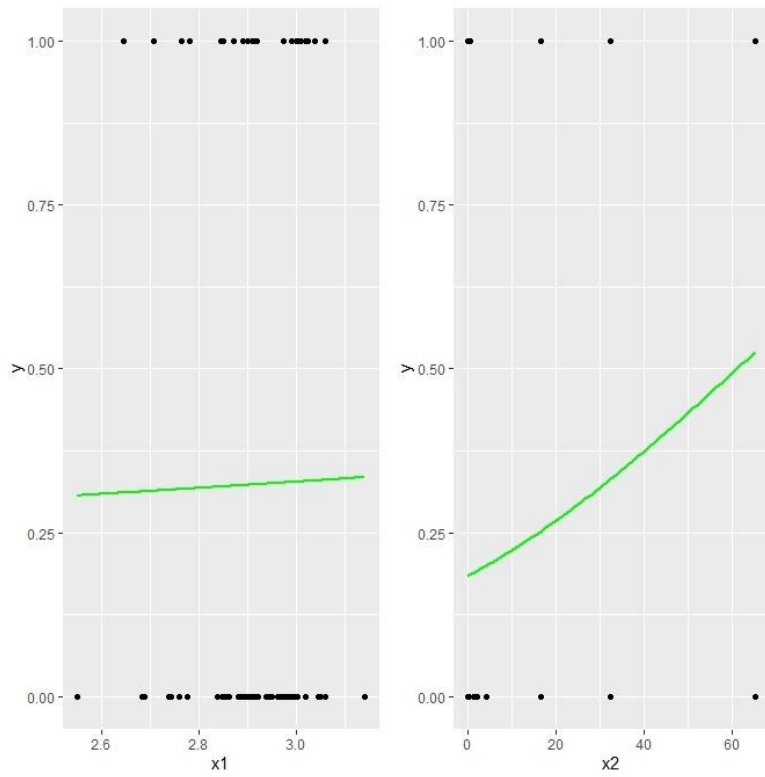
Ramphastos dicolorus



Nyctphrynus ocellatus



Schiffornis virescens



Trogon surrucura

