



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Colegiado do CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**Ciências
Biológicas**
UEL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MATHEUS MARQUES TAVARES

COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA E DIVERSIDADE FUNCIONAL DE AVES EM FRAGMENTOS FLORESTAIS E REFLORESTAMENTOS COM ESPÉCIES NATIVAS DO NORTE DO PARANÁ

Londrina – Paraná
2024

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

MATHEUS MARQUES TAVARES

**COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA E DIVERSIDADE
FUNCIONAL DE AVES EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS E REFLORESTAMENTOS COM
ESPÉCIES NATIVAS DO NORTE DO PARANÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Luiz dos Anjos

**Londrina – Paraná
2024**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M357c Tavares, Matheus Marques .
COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA E DIVERSIDADE FUNCIONAL DE AVES EM FRAGMENTOS FLORESTAIS E REFLORESTAMENTOS COM ESPÉCIES NATIVAS DO NORTE DO PARANÁ / Matheus Marques Tavares. - Londrina, 2024.
34 f. : il.

Orientador: Luiz dos Anjos.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Restauração Ecológica - TCC. 2. Avifauna - TCC. 3. Diversidade funcional - TCC. 4. Floresta Estacional Semidecidual - TCC. I. dos Anjos, Luiz. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 574

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz dos Anjos

Prof. Dr. Jose Marcelo Torezan

Prof. Dr. Gabriel Lima Medina Rosa

Prof. Dr. Carlos Alvarenga Julio (suplente)

Londrina, 10 de maio de 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à família e amigos, que me auxiliaram com muito carinho e apoio ao longo do curso.

Agradeço também a equipe do Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da Universidade Estadual de Londrina, em especial meu orientador, Luiz dos Anjos, que deu suporte ao longo de todos meus anos de pesquisa, além de todos os companheiros e companheiras de laboratório.

Sou grato ao apoio financeiro oriundos do CNPq 441510/2020-5 e Fundação Araucária, convênio estabelecido em prol do PELD MANP recebidos durante minhas pesquisas, recurso crucial para o andamento de todo o trabalho.

Por fim, grato ao meu esforço e resiliência diante de todas as condições.

TAVARES, Matheus Marques. **Composição específica e diversidade funcional de aves em fragmentos florestais e reflorestamentos com espécies nativas do norte do Paraná.** 2024. 34 Páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. Ano defesa 2024.

RESUMO

O processo de fragmentação florestal na região norte do Paraná, a partir do século XX, muitas vezes associado à implantação de matrizes impermeáveis como plantações de soja, resultou em danos significativos à biodiversidade através da redução da continuidade dos remanescentes florestais, impactando na complexidade e heterogeneidade dos habitats, ameaçando a diversidade e aumentando o risco de extinção local das espécies de aves. Reflorestamentos com espécies de árvores nativas surgem como uma estratégia para mitigar esses impactos, aumentando a permeabilidade da paisagem e permitindo a persistência das espécies, especialmente das aves. O PELD-MANP (programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – Mata Atlântica do Norte do Paraná), promove monitoramentos de fauna e flora na região para entender os padrões de colonização e extinção de espécies em fragmentos florestais e áreas de restauração. O uso de Unidades Gravadoras Autônomas, com forte desenvolvimento atual nesses monitoramentos, permite a coleta simultânea e por longos períodos dos dados, que aliada a detecção por inteligência artificial (BirdNET-Analyzer), possibilita análises das comunidades de forma célere. Os resultados indicam diferenças na composição e diversidade funcional de aves entre seis fragmentos florestais e três áreas de restauração estudadas. Embora os reflorestamentos tendam a ter menor complexidade estrutural de vegetação, duas áreas de restauração mostraram que funcionam como aporte dos traços funcionais de aves presentes nos fragmentos florestais adjacentes. A análise também revela alta dissimilaridade entre a composição de espécies entre as áreas estudadas. Portanto, estudo reforça a importância das áreas de restauração na conservação da biodiversidade de aves e dos serviços ecológicos realizados por elas.

Palavras-chave: Restauração Ecológica; Avifauna; Diversidade Funcional; Floresta Estacional Semidecidual.

TAVARES, Matheus Marques. **Species composition and functional diversity of birds in forest fragments and reforestation with native species in northern Paraná.** 2024. 34 Pages. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Biological Sciences) – State University of Londrina, Londrina. Year of defense 2024.

ABSTRACT

The process of forest fragmentation in the northern region of Paraná, started in the early 20th century, often associated with the establishment of impermeable matrices such as soybean plantations, resulted in significant damage to biodiversity through the reduction of forest remnants' continuity, impacting the complexity and heterogeneity of habitats, threatening diversity, and increasing the risk of local extinction of bird species. Reforestation with native tree species emerges as a strategy to mitigate these impacts, increasing landscape permeability and allowing species persistence, especially birds. The PELD-MANP (Long-Term Ecological Research Program - Northern Paraná Atlantic Forest) promotes fauna monitoring in the region to understand colonization and extinction patterns of species in forest fragments and restoration areas. The use of Autonomous Recording Units (ARUs), with significant current development in these monitoring efforts, allows for simultaneous and long-term data collection, which, combined with artificial intelligence detection (BirdNET-Analyzer), enables swift community analyses. Results indicate differences in bird composition and functional diversity among six forest fragments and three restoration areas studied. Although reforested areas tend to have lower structural vegetation complexity, two restoration areas showed that they serve as a source of functional bird traits present in adjacent forest fragments. The analysis also reveals high dissimilarity of birds among the areas. This study underscores the importance of restored areas in biodiversity conservation.

Keywords: Restoration Areas; Birdlife; Functional Diversity; Semideciduous Seasonal Forest.

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Áreas de Estudo.....	13
3.2 Metodologia.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5. CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

A região do norte do Paraná passou por uma colonização onde os pioneiros se apoderavam efetivamente de terras florestais e de modo permanente, do fim do século XIX até meados do século XX. (Kohlhepp, G. 2014). Neste cenário, a expansão agrícola para plantio de monoculturas foi viabilizada, acontecendo de forma célere e sem planejamento, provocando uma enorme destruição das florestas, processo que resultou em intensa fragmentação do habitat remanescente (Kohlhepp, G. 2014). A fragmentação florestal é uma transformação do ambiente anteriormente contínuo em manchas de florestas (Lord & Norton 1990). Entre seus efeitos está a diminuição da heterogeneidade e complexidade estrutural do ambiente, conseqüentemente reduzindo a oferta de habitats e/ou micro-habitats, moldando a composição de espécies do habitat remanescente (Karr & Roth, 1971; Simberloff & Abele, 1982). Tais alterações geralmente estão ligadas a implantação de matrizes impermeáveis, como as plantações na região do norte paranaense (Kohlhepp, G. 2014), fazendo com que a quebra dessa continuidade seja uma ameaça a diversidade (Willis, 1979; Marini & Garcia, 2005). Assim, a extinção local das espécies é uma forte tendência, o que acaba sendo danoso para o ecossistema pela perda das funções que as aves exercem, por exemplo, na dispersão das sementes e controle das populações de insetos, assim como outros vertebrados, os quais são importantes para manutenção do ecossistema devido à grande diversidade de nichos presente no grupo (Galetti et al. 2013, 2015). Outro problema é a falta de conexão destes fragmentos, que a depender das condições locais dificulta a dispersão de indivíduos, alterando a dinâmica de populações e fluxo gênico, bem como a variabilidade e viabilidade genética da população (Uezu et al. 2005).

Atualmente o habitat matriz da região são plantações de soja (Anjos et al. 2004), e o processo de fragmentação da mata atlântica afeta diretamente as guildas de aves (Anjos et al. 2004), por isso uma das alternativas para a conservação da biodiversidade que tem sido muito utilizada é o reflorestamento com espécies de árvores nativas (Chazdon 2008). Este processo tende a aumentar a permeabilidade da paisagem permitindo um potencial maior de persistência das espécies, especialmente para o grupo das aves (Adelino et al. 2020). Na verdade, as trajetórias temporais das comunidades de aves em paisagens florestais fragmentadas podem ser assim descritas como dinâmicas, onde o desejável é que o maior número de

espécies persista nos fragmentos e que colonize os reflorestamentos (Laurance, 2010). Este aspecto dinâmico das comunidades de aves tem sido encontrado no projeto “Mata Atlântica do Norte do Paraná-MANP”, o qual faz parte do PELD, Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração, apoiado pelo CNPq e pela Fundação Araucária. No monitoramento de aves que está em desenvolvimento, espécies colonizadoras foram detectadas em áreas de reflorestamento e outras foram extintas em fragmentos florestais, o que confirma este aspecto dinâmico (Zaiden et al. 2015; Willrich et al. 2016; Marques et al. 2023). Avaliar quais são os impactos deste processo de colonização e de extinção bem como analisar o processo de colonização dos reflorestamentos são os objetivos do PELD-MANP.

O monitoramento de aves por meio de Unidades Gravadoras Autônomas (ARU), tecnologia amplamente utilizada atualmente, apresenta grande potencial para o monitoramento de comunidades de aves por permitir amostrar diversas localidades de forma simultânea e de forma contínua durante longos períodos (Deichmann et al. 2017). Esta técnica aumenta a probabilidade de registro de espécies menos ativas vocalmente do que outras abordagens (Araujo et al. 2020). Na prática, a grande eficiência dos gravadores autônomos pode substituir o método tradicional de amostragem por pontos de escuta quando o objetivo envolve obter somente dados de ocorrência por espécie (Alquezar & Machado 2015; La & Nudds 2016). Dados obtidos por meio de gravadores autônomos podem preencher lacunas no conhecimento sobre os padrões de ocorrência de espécies em áreas em restauração, ainda limitado no presente (Adelino et al. 2020). O monitoramento continuado de biodiversidade, neste cenário, torna-se essencial para demonstrar os padrões de variação temporal neste tipo de processo ecológico (Magurran et al. 2010). Além disso, a abordagem funcional permite análises mais refinadas das comunidades de aves permitindo rastrear mudanças temporais dos nichos ecológicos em reflorestamentos e fragmentos florestais (Adelino et al. 2020).

Assim, o desenvolvimento deste trabalho teve por objetivo avaliar diferenças na composição específica e na diversidade funcional de aves utilizando gravadores autônomos em fragmentos florestais e áreas de restauração. A primeira hipótese é que a composição de espécies de aves seja dissimilar entre fragmentos e reflorestamentos adjacentes. Esta hipótese se baseia no fato de que a complexidade estrutural dos fragmentos tende a ser maior, ofertando maior gama de nichos ecológicos a serem preenchidos (Laurance, 2007). Além disso, as áreas em

restauração são recentes, e a complexidade estrutural está relacionada com a idade do reflorestamento (Adelino et al. 2020), diminuindo as chances de espécies florestais ocorrerem pela menor estruturação da vegetação. A segunda hipótese é que a diversidade funcional e riqueza de espécies seja maior nos reflorestamentos do que nos fragmentos adjacentes. Neste caso, há uma expectativa que parte das espécies de aves dos fragmentos adjacentes colonizem os reflorestamentos, somadas com aves de áreas abertas mais generalistas que também podem ocorrer no reflorestamento, mas não no fragmento, aumentando a quantidade de traços funcionais presentes nas áreas de restauração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Impactos da atividade humana nos ecossistemas

Os seres humanos exercem e continuarão a exercer influência sobre os ecossistemas, que são sistemas compostos por elementos bióticos e abióticos, que pode variar em escala, presente tanto em corpos d'água quanto em terra, onde esses elementos interagem para criar intrincadas redes alimentares, ciclos de nutrientes e fluxos de energia. (SER & PWG 2004). Nos últimos vinte anos, as atividades humanas resultaram na destruição de mais de 10% das áreas selvagens já em declínio em todo o mundo (Watson et al. 2016), com cerca de 38% da superfície terrestre global sendo convertida para uso agrícola (FAO s.d.). Além disso, muitos ecossistemas remanescentes têm sido degradados devido à exploração madeireira, caça predatória, mineração e incêndios florestais. Adicionalmente, modificações nos fluxos hidrológicos causaram impactos significativos em rios e zonas úmidas, principalmente devido ao aumento nos níveis de fósforo e nitrogênio disponíveis para os organismos, resultando em concentrações prejudiciais de outras substâncias tanto no ar quanto na água. (Holl, 2023). Todas essas mudanças têm impactos variados no bem-estar humano (Potts et al. 2018). A saúde pública emerge como uma das áreas mais afetadas pela degradação ambiental, com desequilíbrios que se refletem em água contaminada, aumento do risco de tempestades intensas e migração populacional.

Consequências da fragmentação florestal

A fragmentação florestal é uma transformação do ambiente anteriormente contínuo em manchas de florestas (Lord & Norton 1990). A fragmentação provoca uma

diminuição da heterogeneidade e complexidade estrutural do ambiente, conseqüentemente reduzindo a oferta de habitats e/ou micro-habitats, moldando a composição de espécies daquele remanescente (Karr & Roth, 1971; Simberloff & Abele, 1982). Tais alterações geralmente estão ligadas a implantação de matrizes impermeáveis, como as plantações na região do norte paranaense (Kohlhepp, G. 2014), fazendo com que a quebra dessa continuidade seja uma ameaça a diversidade (Willis, 1979; Marini & Garcia, 2005). Assim, a extinção local das espécies é uma forte tendência, o que acaba sendo danoso para o ecossistema pela perda das funções que as aves exercem, por exemplo, na dispersão das sementes e controle das populações de insetos, assim como outros vertebrados, os quais são importantes para manutenção do ecossistema devido à grande diversidade de nichos presente no grupo (Galetti et al. 2013, 2015). Outro problema é a desconexão destes fragmentos, que a depender das condições locais pode dificultar o fluxo de espécies e por sua vez o fluxo gênico, interferindo na variabilidade genética (Uezu et al. 2005).

Importância dos reflorestamentos ambientais

Nesse cenário a prática da restauração ecológica pode desempenhar um papel crucial na adaptação tanto dos seres humanos quanto dos ecossistemas às mudanças climáticas. Isso pode ocorrer de diversas maneiras, incluindo a criação de locais de refúgio para espécies vulneráveis às mudanças climáticas e o fortalecimento da capacidade da produção agrícola em lidar com a variabilidade do clima. (Locatelli et al. 2015). Porém, as razões que movem essa prática diferem ao longo do globo, por isso é importante um objetivo conjunto, norteando o planejamento (Gann et al. 2019). A restauração ecológica figura entre as diversas estratégias disponíveis para a conservação da biodiversidade, dos ecossistemas e dos serviços ecossistêmicos que beneficiam os seres humanos. No entanto, é evidente que a proteção e preservação de ecossistemas minimamente afetados continuam sendo fundamentais para o sucesso da conservação. Isso se deve ao fato de que projetos de restauração bem-sucedidos muitas vezes conseguem recuperar apenas uma parte das espécies e serviços ecossistêmicos originais após a perturbação (Rey Benayas et al. 2009; Moreno-Mateos et al. 2017). Apesar de a restauração e a conservação desempenharem um papel importante na mitigação dos impactos humanos, sua eficácia será limitada se não estiverem integradas a um esforço mais amplo para abordar as causas subjacentes da conversão de habitats, as quais são complexas e variadas em todo o mundo (Geist et al. 2006).

As razões que podem comprometer o sucesso da prática de restauração são diversos, a perda de resiliência, retardamento e/ou inibição do processo de sucessão natural parte de problemas como distância da fonte de sementes, ausência de dispersores, predação de sementes, competição com gramíneas, incêndios, limitações microclimáticas e de solo, perda do banco de sementes etc. (Aide & Cavelier, 1994; Wunderle, 1997; Griscom et al. 2009). Nesse contexto as aves podem auxiliar na avaliação dos reflorestamentos como bioindicadoras, pois além da fragmentação florestal afetar diretamente as aves, que são particularmente sensíveis a esse fenômeno (Anjos, 2009), as comunidades de aves também fornecem valiosas informações sobre as condições do habitat em que se encontram, oferecendo *insights* significativos sobre seu estado ecológico, tanto em remanescentes quanto em reflorestamentos (Volpato, 2018), especialmente com agrupamento de organismos com base nos traços funcionais, os quais podem prever e/ou explicar melhor a estrutura das comunidades e suas respostas as condições locais.

Resposta de aves diante de áreas de restauração

Os habitantes iniciais de uma área geográfica perturbada são frequentemente aves, exibindo habilidades de dispersão notáveis para superar quaisquer barreiras. Elas se estabelecem em locais mais adequados às suas necessidades específicas de vegetação (Vigle et al. 1998). No entanto, perturbações frequentes podem afetar espécies de plantas, e conseqüentemente, grupos de aves. Criaturas dependentes dos recursos de seu habitat se interconectam com ele, fazendo com que sejam categorizadas por suas preferências alimentares, habitats e distribuição geográfica (Jayson & Mathew 2003). Características específicas do local e características topográficas influenciam a eficácia dos esforços de restauração na oferta de habitat para fauna (Raman et al. 2005). A estrutura florestal serve como variável preditora para a taxonomia das aves e traços funcionais em locais de restauração, considerando a variedade de espécies que dependem de diferentes camadas florestais (Ranganathan et al. 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Áreas de Estudo

O estudo foi conduzido em regiões do Paraná cuja cobertura florestal está caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual (Toresan, 2002), com predominância de monoculturas no entorno dos locais analisados. Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Cfa - Clima subtropical úmido, com temperatura média de 20,9°C e pluviosidade média de 1.600mm por ano, sendo que no verão a média de chuva é duas vezes maior que no inverno (Bianchini et al. 2003), estabelecendo bem as duas estações quanto a precipitação.

O trabalho foi realizado em 6 sítios PELD-MANP (Figura 1), três deles compostos por um fragmento florestal e uma área de restauração, e três apenas por um fragmento florestal (Quadro 1). Todos os reflorestamentos estão próximos a fragmentos florestais, com vários trechos separados por poucos metros, geralmente estradas de terra.

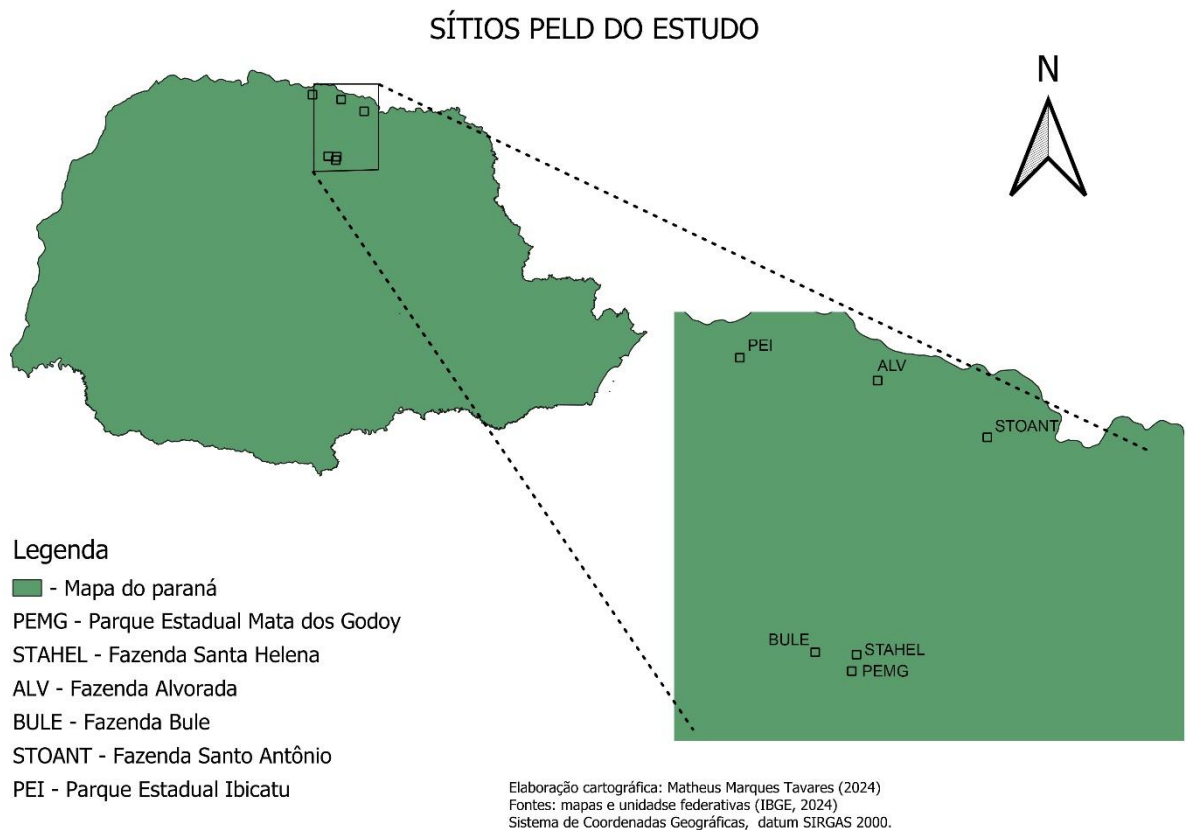


Figura 1 - Mapa do Paraná com marcações dos sítios PELD estudados, localizados na porção norte paranaense.

Local	Coordenadas	Área do fragmento	Reflorestamento	Legenda
Parque Estadual Mata dos Godoy	23°26'46"S, 51°14'46"W	670ha	Sim	FF_PEMG e RF_PEMG
Parque Estadual Ibicatu	23°15'21"S, 51° 01' 53"W	302ha	Não	FF_PEI
Fazenda Santo Antônio	22°56'26"S, 50°57'10"W	87ha	Sim	FF_STOANT e RF_STOANT
Fazenda Alvorada	22°49'04"S, 51°11'25"W	128ha	Sim	FF_ALV e RF_ALV
Fazenda Santa Helena	23°24'38"S, 51°14' 09" W	85ha	Não	FF_STAHEL
Fazenda Bule	23°24'19"S, 51° 19' 31"W	288ha	Não	FF_BULE

Quadro 1 - Especificações dos sítios PELD estudados, posicionamento geográfico, tamanho do fragmento e presença de reflorestamento.

3.2 Metodologia

As amostragens foram realizadas com o uso de gravadores autônomos Song Meter SM4 da marca Wildlife Acoustics. Dois gravadores ficaram expostos por cinco dias em cada fragmento e/ou reflorestamento nos períodos de setembro-outubro de 2022 e 2023 e janeiro-fevereiro de 2024, a pelo menos 100 metros da borda e mínimo de 200 metros entre os gravadores a fim de evitar poluição sonora externa e sobreposição de áudio (Araújo et al. 2020). Os gravadores foram programados para gravar um minuto a cada 10 minutos, conforme metodologia desenvolvida para o ecossistema de floresta estacional semidecidual (Araújo et al. 2020). Em laboratório as gravações foram inspecionadas por uma ferramenta de processamento de áudio, BirdNET-Analyzer (Kahl, 2021). O BirdNET-Analyzer é um algoritmo baseado em redes neurais que foi desenvolvido para detectar e classificar vocalizações de espécies de aves em gravações de paisagens acústicas por meio de suas características espectrais. As espécies registradas por esse algoritmo foram filtradas para reter somente aquelas com 0.5 de confiança de detecção, utilizando 0.5 de sensibilidade de detecção, isto é, só eram registradas espécies com mais de 50% de certeza de detecção. O valor escolhido de sensibilidade teve como premissa garantir

o menor número de erros em conjunto com menor exclusão de espécies, baseado em gravações anteriormente coletadas e inspecionadas pelo autor. Para tal, foram testadas outras sensibilidades como 0.3 e 0.4, que acabavam inserindo espécies demais as quais algumas eram falsas detecções, enquanto nas sensibilidades testadas de 0.6 e 0.7, havia elevada exclusão de espécies, deixando a riqueza de espécies observada muito menor que a datada nas coletas anteriores. Assim, o valor de 0.5 foi o mais equilibrado nesses aspectos. Além da sensibilidade, a IA permite a utilização de um filtro geográfico, baseado em coordenadas. Dessa forma, evita detecções de aves que não ocorrem na região norte paranaense, mas que possuem vocalizações similares àquelas que realmente ocorrem, ou seja, minimizando falsas detecções.

A análise de riqueza e suficiência amostral foi calculada pelo método de Hill (Hill, 1973), o qual fornece uma estimativa do número de espécies dos locais com a construção de curvas de rarefação e extrapolação (Hsieh et al. 2016). Através do índice de Jaccard calculamos as similaridades entre as composições de espécies de cada local. A variação na composição das espécies foi ordenada por NMDS (Escalonamento multidimensional não métrico). Por obter apenas dados de ocorrência pelo monitoramento acústico, calculamos a riqueza funcional (FRic) (Mason et al. 2005, Mason & Mouillot 2013) e dispersão funcional (FDis) (Laliberté & Legendre 2010). Os traços funcionais utilizados compreendiam três categorias, hábito alimentar, nichos de forrageamento e estrutura do bico. Através dos traços funcionais extraídos (Tobias, 2022; Wilman, 2014), essas categorias foram selecionadas pois abrangem características que fornecem pistas a respeito das áreas analisadas. A comparação de hábito alimentar pode fornecer *insights* sobre a disponibilidade de recursos e tipos alimentares nos diferentes ambientes. Avaliar os nichos de forrageamento das aves, como altura em que buscam alimentos, preferências por tipos específicos de substratos (por exemplo, folhas, solo, troncos), e padrões de movimentação no ambiente, pode revelar diferenças na utilização do habitat entre as aves dos diferentes ambientes. Por fim, a estrutura do bico, já que a morfologia dos bicos está relacionada ao hábito alimentar e demandas específicas do ambiente, demonstrando potenciais pistas sobre as pressões seletivas que atuam nos ambientes.

Todos os dados foram organizados no software Excel. Análises de similaridade e NMDS foram feitas no software PAST 4.03. Por fim, análises de Hill e diversidade

funcional foram realizadas no software R versão 4.3.1 utilizando os pacotes Vegan (Oksanen, 2022), iNEXT (Chao, 2022) e FD (Laliberté, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, a IA registrou 175 espécies de aves em todos os gravadores (Tabela 1). A riqueza estimada pelo método de Hill foi de 225 espécies de aves considerando todos os locais. Em relação à suficiência amostral, atingimos 90% de todas as espécies registradas com pouco mais de 250 gravações, sendo que mais de 2000 foram inspecionadas (Figura 2). Entre as Passeriformes, as mais numerosas foram as aves das famílias Tyrannidae e Thraupidae. Entre as não-Passeriformes, houve um elevado registro de aves das famílias Accipitridae e Picidae. Todos os reflorestamentos tiveram maior riqueza de espécies em relação aos fragmentos adjacentes, confirmando a hipótese prevista. Entre os fragmentos dos 6 sítios, a riqueza foi numericamente similar, apesar das distinções espaciais, reforçando o aspecto que a fragmentação afeta mais a riqueza de espécies do que o tamanho do fragmento necessariamente (Laurance, 1997).

Tabela 1 – Riqueza de espécies por área.

Local	Riqueza de espécies
FF_BULE	53
FF_STAHEL	51
FF_GODOY	52
RF_GODOY	62
FF_PEI	53
FF_ALV	48
RF_ALV	59
FF_STOANT	45
RF_STOANT	59
TOTAL DE ESPÉCIES	175

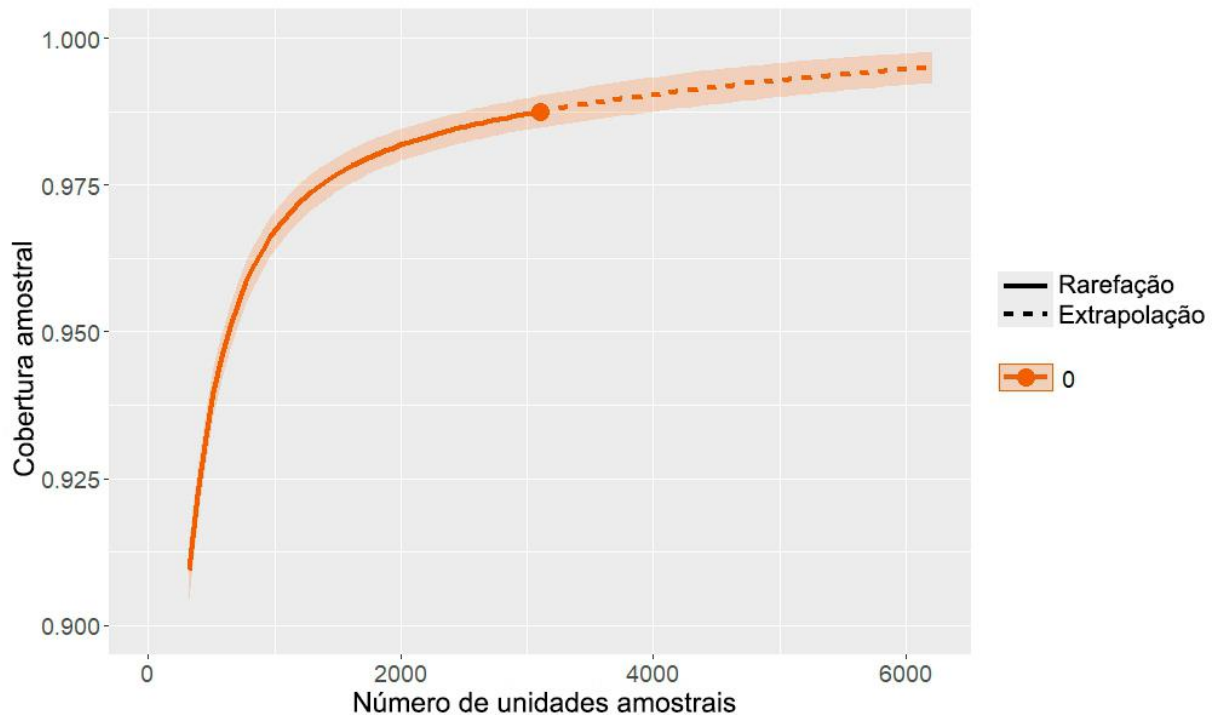


Figura 2 – Curva de acumulação de espécies baseado no número de unidades amostrais, com mais de 90% da cobertura amostral detectada com menos de 400 gravações.

A riqueza de espécies registrada em todas as áreas pela IA foi inferior a listas escutadas pelo autor nos últimos dois anos. Isto pode ter ocorrido dentre duas possíveis razões: o filtro de 0.5 utilizado dentro do BirdNET foi excludente demais assim como 0.6 e 0.7 e/ou nos 5 dias amostrados houve menos vocalizações do que nos dias amostrados nos anos anteriores.

A similaridade de espécies de aves foi baixa entre todas as áreas (Figura 3), indicando uma variada composição de espécies. Dentre os dois grandes agrupamentos, os fragmentos que não possuem reflorestamento adjacentes (FF_PEI, FF_BULE e FF_STAHEL) foram mais similares, com destaque para inserção dentro deste grupo das áreas do Parque Estadual Mata dos Godoy, inclusive com a área de restauração (RF_PEMG) sendo a única no agrupamento. O outro agrupamento foi entre os outros dois sítios PELD com áreas de restauração (Fazenda Alvorada e Fazenda Santo Antônio). Os dois reflorestamentos (RF_ALV e RF_STOANT) foram mais similares entre si e ao fragmento da Fazenda Santo Antônio. Essa análise demonstra uma dissimilaridade parecida para todos os locais, variando entre 50% e 70%.

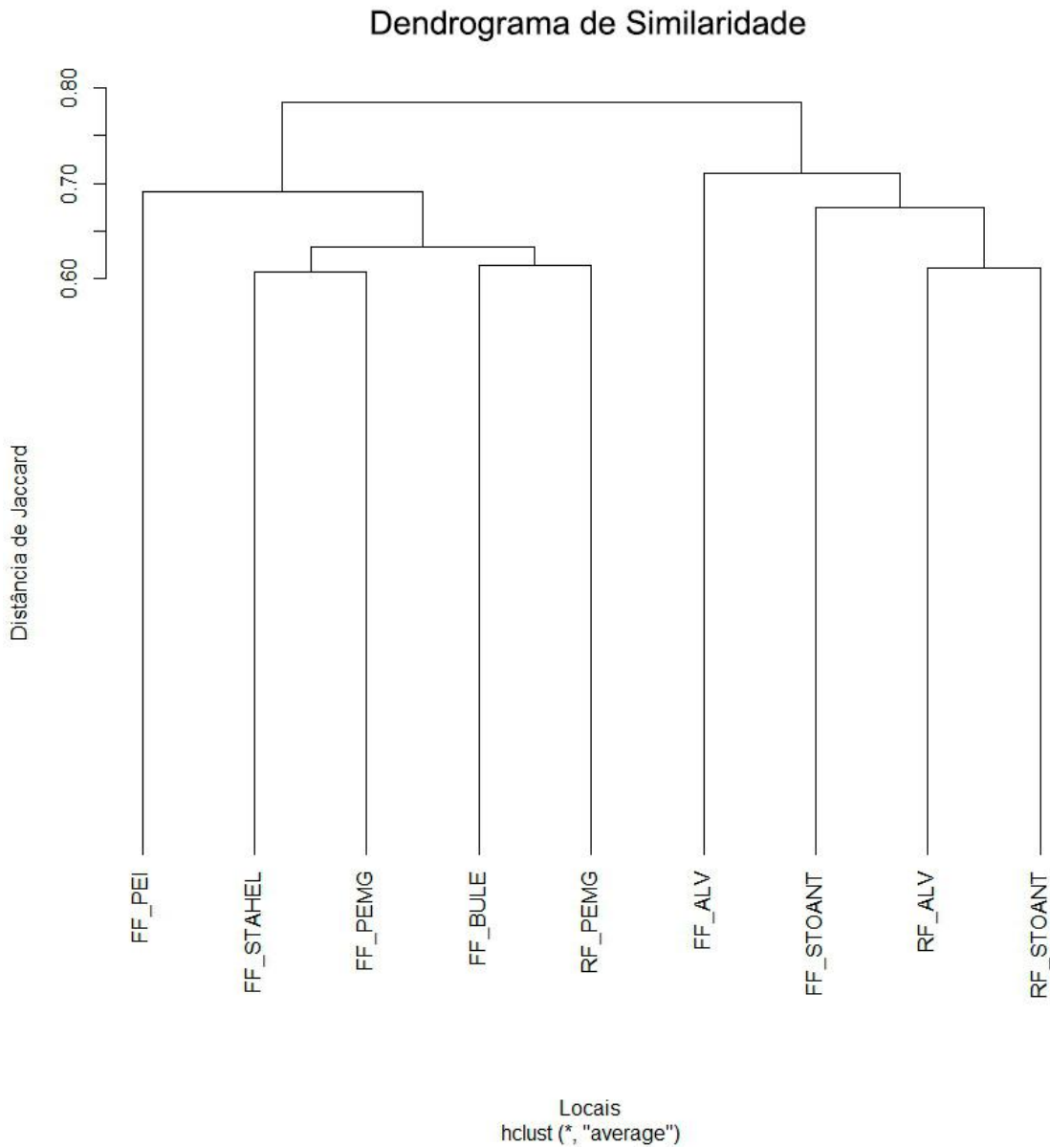


Figura 3 – Dendrograma das distâncias de dissimilaridade calculada pelo índice de Jaccard entre os sítios PELD analisados, considerando fragmentos e reflorestamentos.

Através do NMDS (Figura 4) vemos que há uma relação entre as espécies de aves registradas pelos gravadores dos reflorestamentos da Fazenda Alvorada e Fazenda Santo Antônio, assim como os fragmentos, confirmando o aspecto visualizado no dendrograma anterior (Figura 3).

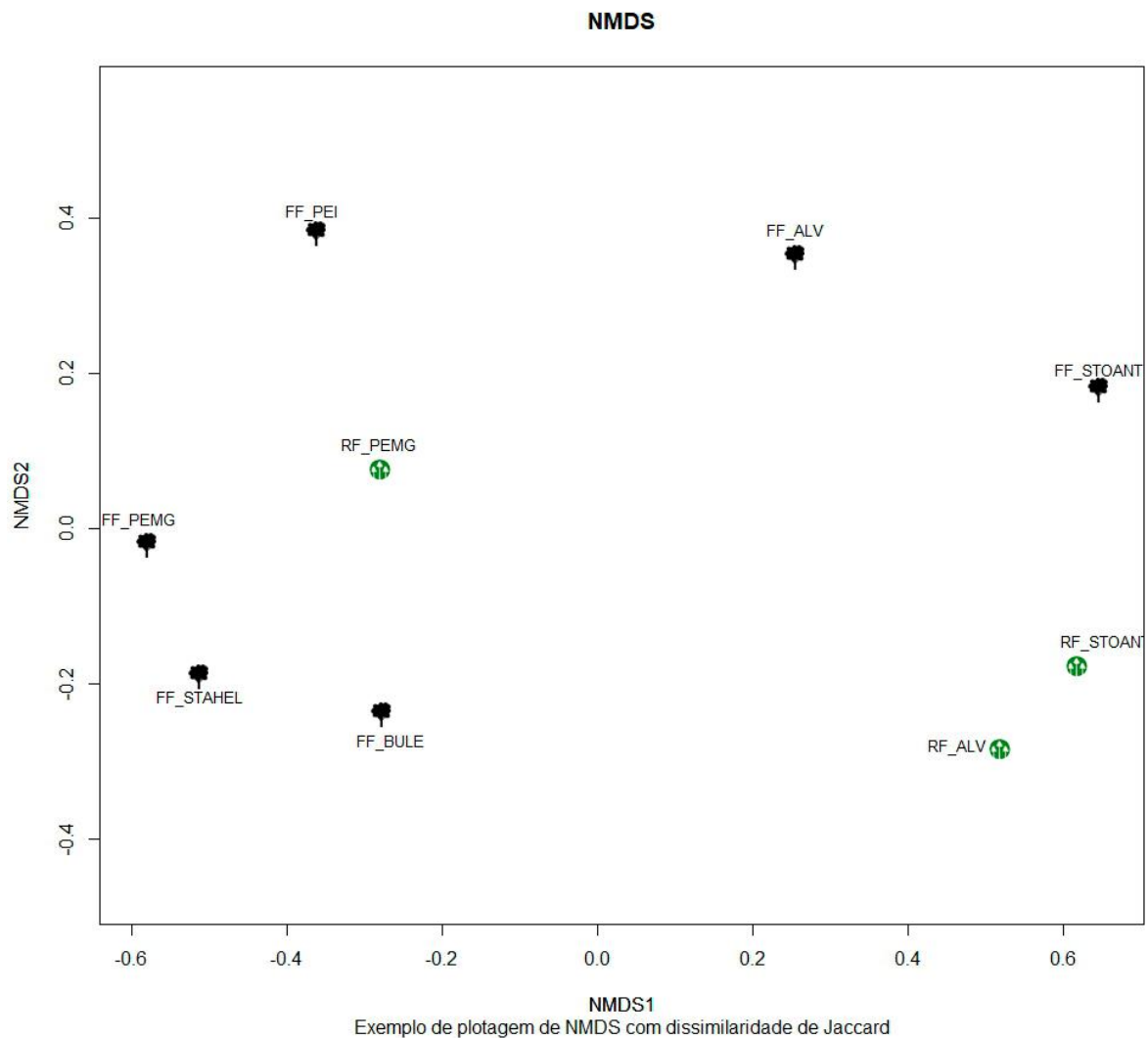


Figura 4 – Escalonamento multidimensional não-métrico para ordenação dos sítios analisados em coordenadas para avaliação da variação da composição de espécies.

Os gravadores do reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy registraram uma composição de espécies mais próxima a grande parte dos fragmentos amostrados, especialmente ao FF_PEMG. Nesse aspecto, de acordo com a detecção realizada pela IA, se percebe um provável movimento de colonização e permanência das espécies de aves dos fragmentos nos reflorestamentos do PEMG, que não é visto nas outras duas áreas com reflorestamentos.

A maior riqueza funcional (FRic) e dispersão funcional (FDis) foi registrada no Parque Estadual Ibicatu (PEI), de valor 0.72 e 1.43 respectivamente (Tabela 2). As menores foram da Fazenda Bule, 0.28 (FRic) e 0.87 (FDis). Os reflorestamentos do PEMG e Fazenda Santo Antônio (RF_GODOY e RF_STOANT) tiveram riqueza funcional maior que os fragmentos adjacentes, confirmando a hipótese sugerida. No

entanto, o reflorestamento da Fazenda Alvorada não atendeu a hipótese. Essa área de restauração é jovem, possui poucos metros de largura em grande parte dos trechos e as árvores estão esparsas. Possivelmente esses fatores estão determinando a baixa riqueza funcional local devido a pouca estruturação vegetal presente.

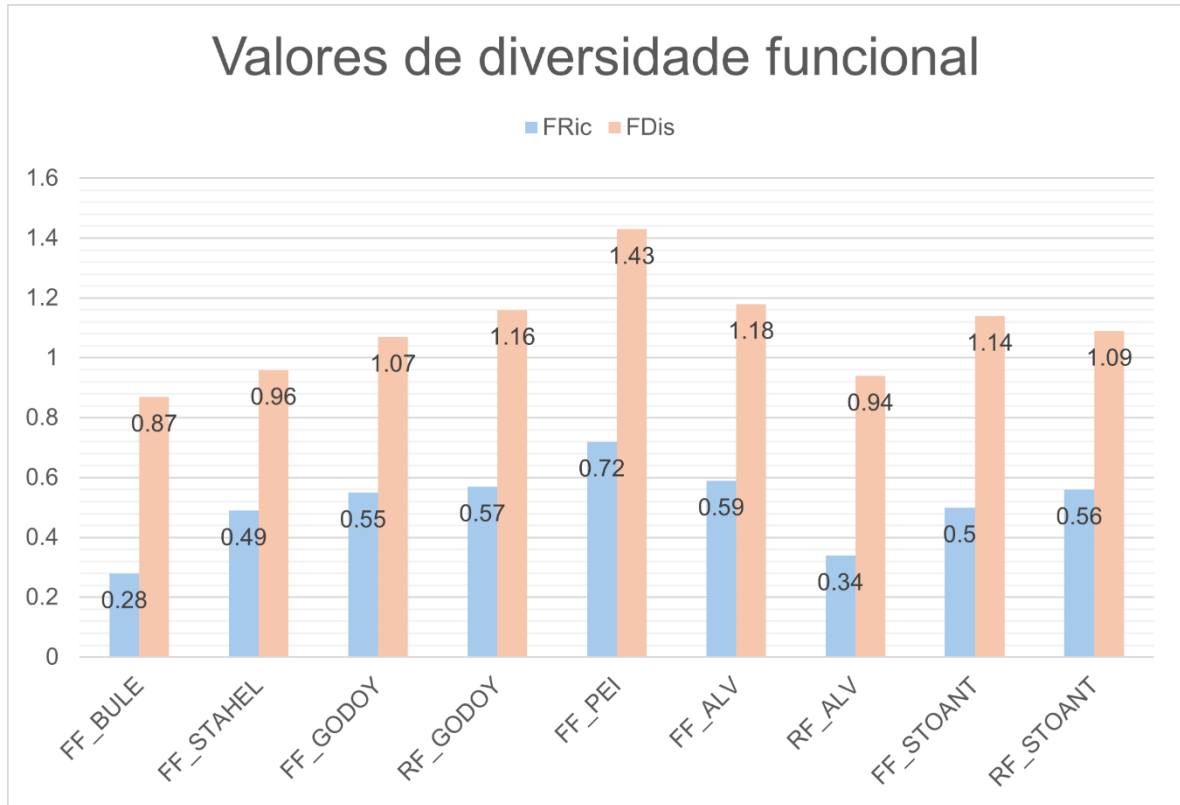


Figura 5 – Valores de riqueza funcional (azul) e dispersão funcional (laranja) encontrados para cada sítio PELD.

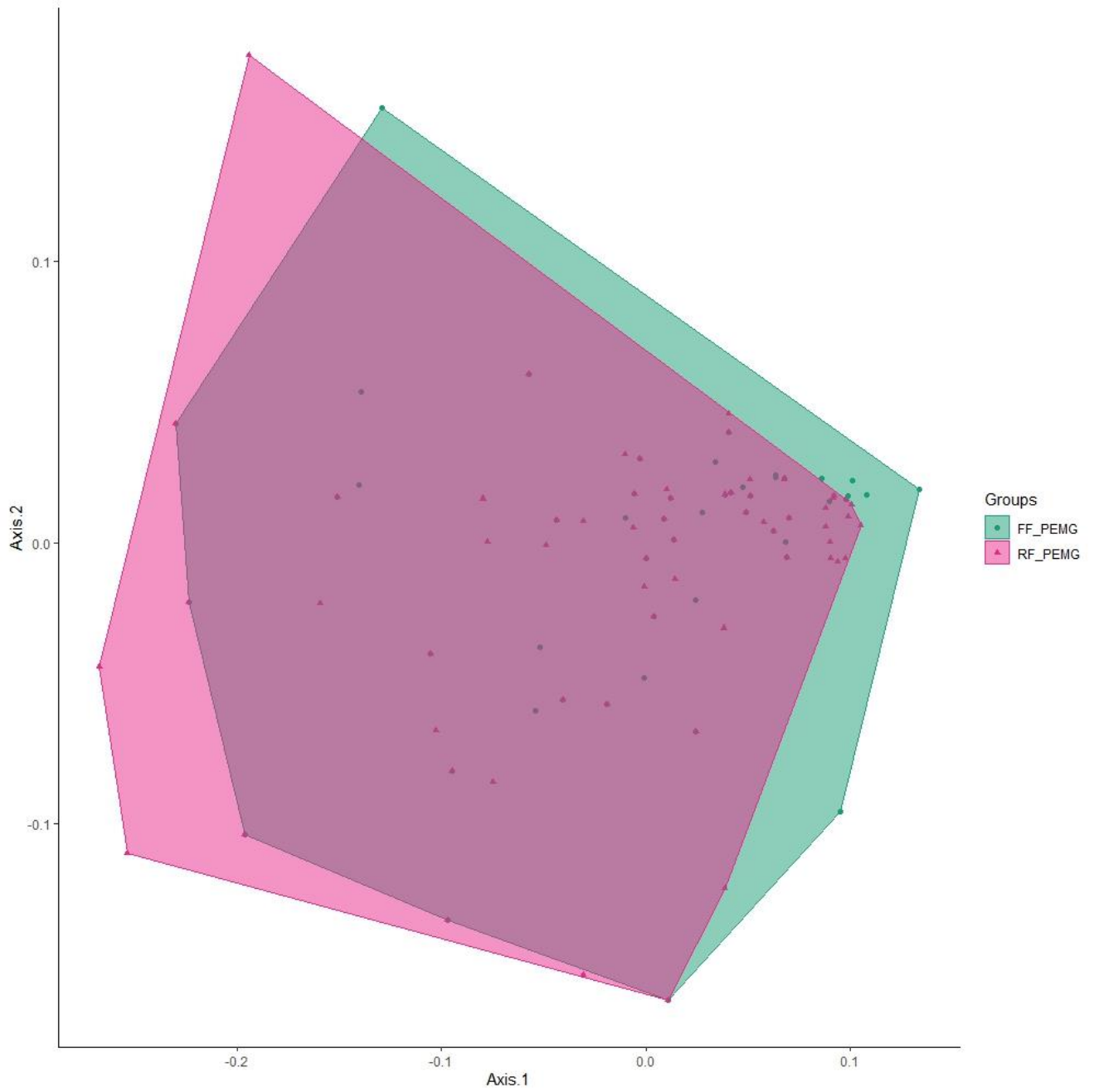


Figura 6 - PCoA da Riqueza funcional do fragmento e reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy

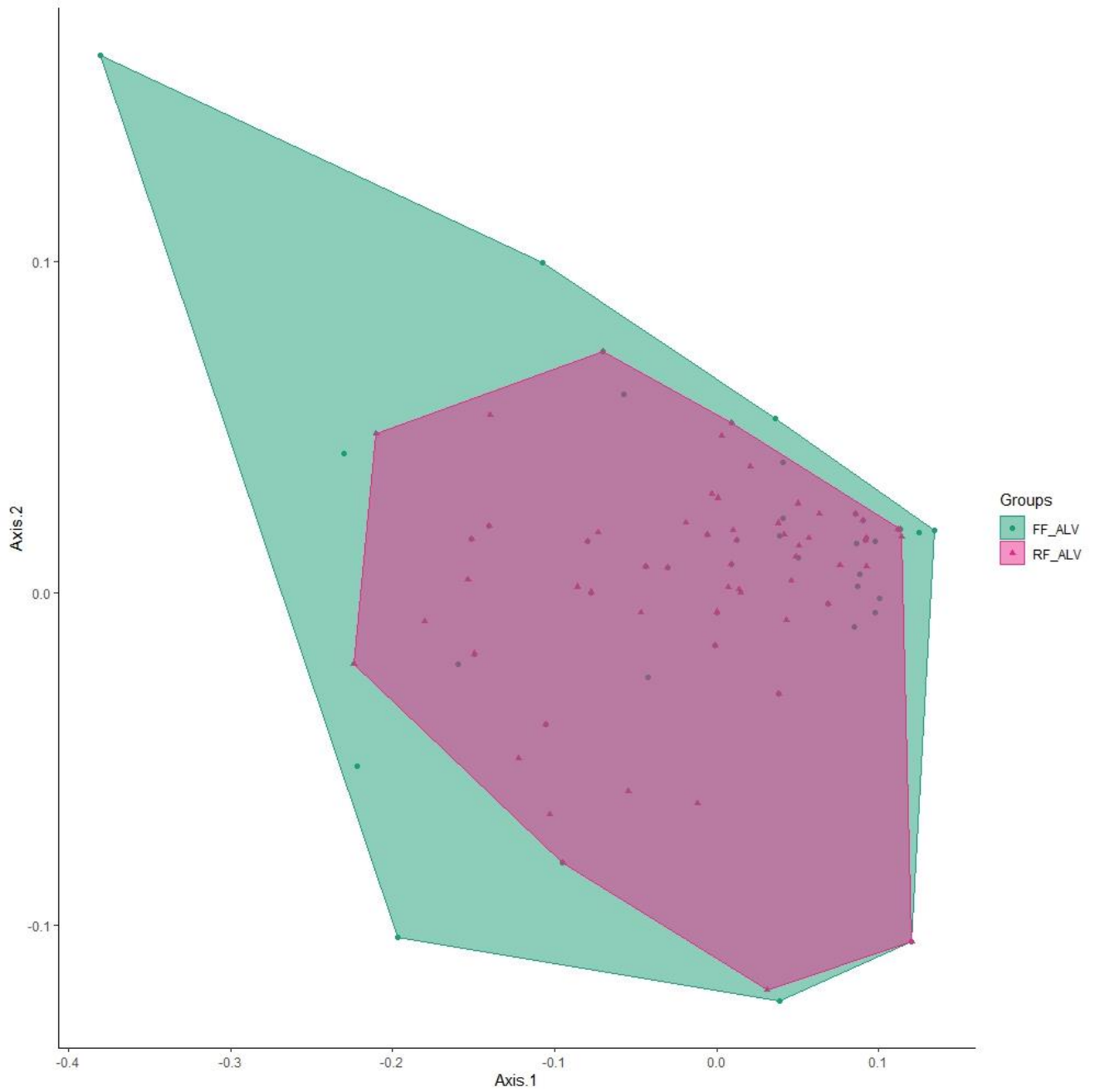


Figura 7 – PCoA de Riqueza funcional do fragmento e reflorestamento da Fazenda Alvorada

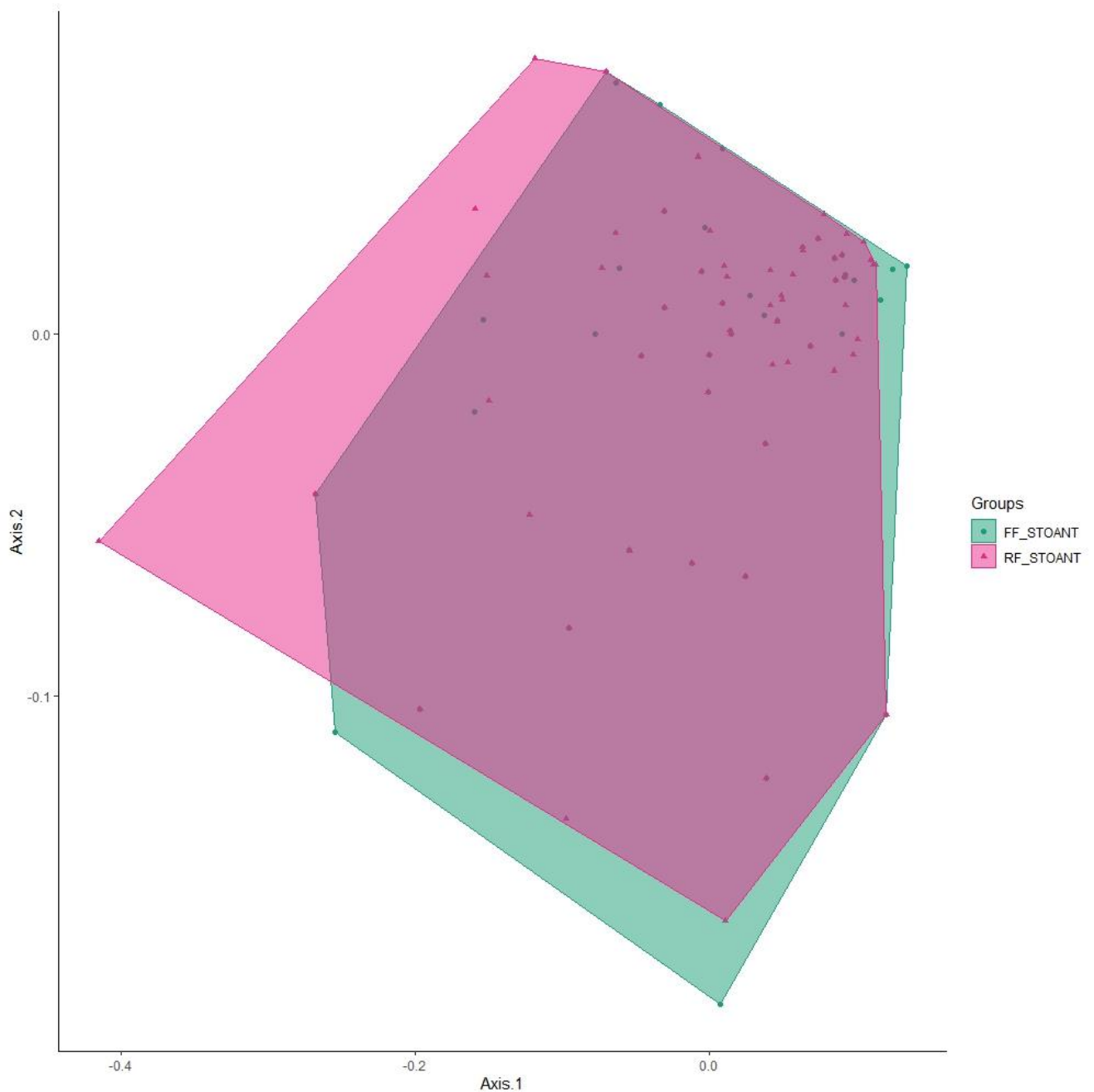


Figura 8 – PCoA de Riqueza funcional do fragmento e reflorestamento da Fazenda Santo Antônio

Podemos notar que há uma grande sobreposição entre os traços funcionais dos fragmentos e reflorestamentos do PEMG e da Fazenda Santo Antônio (Figuras 6 e 8). Embora as análises de similaridade apresentem as áreas do PEMG e Fazenda Santo Antônio com alta dissimilaridade de espécies, a análise de diversidade funcional mostra que os reflorestamentos possuem grande parte dos traços funcionais existentes nos fragmentos adjacentes. Possivelmente a colonização das espécies do

fragmento promova redundância funcional no reflorestamento e acabem sendo excluídas do reflorestamento. O resultado mostra que o reflorestamento funciona como hábitat para os traços funcionais florestais, apesar das espécies serem diferentes. Apesar da riqueza de espécies ser maior para o reflorestamento da Fazenda Alvorada, fica notório a menor riqueza funcional em relação ao fragmento (Figura 7), sugerindo que o reflorestamento está empobrecido em complexidade estrutural e que a composição de espécies é mais homogênea e generalista.

5. CONCLUSÕES

A inteligência artificial de detecção das vocalizações das aves recém-lançada (Kahl, 2021) surge como uma excelente ferramenta para otimização do tempo para inferências temporais sobre a biodiversidade de aves e, conseqüentemente, possibilita a extração de aspectos ecológicos das comunidades. Pesquisadores envolvidos no desenvolvimento de algoritmos poderão estender a capacidade de outros táxons produtores de sinais acústicos, como insetos, primatas e morcegos, ampliando o potencial destes para além das aves. No entanto, precisa de mais refinamento e treinamento. Embora exista um filtro de coordenadas, os próximos avanços devem seguir o treinamento local das vocalizações para aumento da eficiência de detecção com o mínimo de perda.

Uma das formas de aprimorar o desempenho destes algoritmos é o treinamento usando novos conjuntos de dados segmentados especificamente para representar o problema a ser resolvido. Essa empreitada requer uma grande quantidade de gravações segmentadas e rotuladas, o que é um trabalho que consome tempo e requer observadores treinados. Contudo, a análise realizada com os dados extraídos pela IA, atendeu em parte as hipóteses que tínhamos sobre as áreas, seja nos aspectos ecológicos como nos da composição das comunidades. A ferramenta teve acurácia nas espécies detectadas, apesar da riqueza de espécies ser inferior ao número real comparado com as listas ouvidas pelo autor em estudos anteriores. A utilização de uma sensibilidade menor, como 0.4 por exemplo, equivaleria os números de riqueza atuais com listas passadas, porém, quando realizado, foi notado uma alta inserção de espécies. Com isso há de ser feito um aprimoramento nos graus de detecção, pois há uma grande diferença com pouca mudança de sensibilidade.

Os próximos passos da pesquisa são comparar esses dados e as diferentes

sensibilidades com listas registradas por audição humana, avaliando qual é a melhor sensibilidade para Floresta Estacional Semidecidual, enquanto não há avanço no refinamento da detecção. Apesar das distintas composições de espécies entre todas as áreas, o estudo demonstra uma forte importância das áreas de restauração como habitat para traços funcionais florestais, e possivelmente, diversas espécies florestais (Gussoni, 2024).

Considerando as diferenças nos tamanhos das áreas amostradas e interferência da matriz de monocultura, a riqueza funcional não apresentou diferença entre áreas de fragmento e reflorestamento do PEMG e Fazenda Santo Antônio. Infelizmente não pudemos avaliar a abundância das espécies, mas é importante levar em conta a idade das áreas em processo de restauração, pois foi demonstrado que a ocorrência e abundância de aves nessas áreas é afetada pelo tempo decorrido desde o plantio, devido à influência da idade da restauração no desenvolvimento da estrutura florestal (Noe et al. 2022). No caso estudado, as áreas de restauração são recentes, e talvez o reflorestamento da Fazenda Alvorada não teve tempo suficiente para desenvolver comunidades mais completas, algo que pode levar décadas para ocorrer (Catterall et al. 2012).

Isto aponta para duas necessidades futuras: incorporação de dados de abundância de aves através do monitoramento acústico, seja este analisado por IA e/ou audição humana para melhor avaliação das comunidades; a compreensão do processo de colonização das áreas de restauração ao longo do tempo, ou seja, do potencial de sobrevivência dessas comunidades nos próximos anos, a fim de avaliarmos se áreas de restauração funcionam como armadilhas ecológicas (Hale et al. 2019) ou verdadeiros habitats.

REFERÊNCIAS

- Adelino, J. P., Calsavara, L. C., Willrich, G., et al. (2020). Ecosystem functions of birds as a tool to track restoration efficiency in Brazil. **Ornithological Research**, 28, 38–50. <https://doi.org/10.1007/s43388-020-00008-z>
- Aide, T. M., & Cavelier, J. (1994). Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology*, 2(4), 219-229.

Alquezar, R. D., & Machado, R. B. (2015). Comparisons between autonomous acoustic recordings and avian point counts in open woodland savanna. **Wilson Journal of Ornithology**, 127, 712–723.

Anjos, L., Bochio, G. M., et al. (2009). Sobre o uso de níveis de sensibilidade de aves à fragmentação florestal na avaliação da Integridade Biótica: Um estudo de caso no norte do Estado do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, 17(1), 28-36.

Anjos, L., Zanette, L., Lopes, E. V. (2004). Effects of fragmentation on the bird guilds of the Atlantic Forest in north Paraná, Southern Brazil. **Ornitologia Neotropical**, 15(Suppl.), 137–144.

Anjos, L. D. (2001). Bird communities in five Atlantic Forest fragments in southern Brazil. **Ornitologia Neotropical**, 12, 11–27.

Anjos, L. D. (2004). Species richness and relative abundance of birds in natural and anthropogenic fragments of Brazilian Atlantic Forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 76(2), 429-434. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000200036>

Benayas, J. M. R., et al. (2009). Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. **Science**, 325(5944), 1121-1124.

Bianchini, E., Popolo, R. S., Dias, M. C., & Pimenta, J. A. (2003). Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 17(3), 405–419. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062003000300008>

Catterall, C. P., Freeman, A. N., Kanowski, J., & Freebody, K. (2012). Can active restoration of tropical rainforest rescue biodiversity? A case with bird community indicators. **Biological Conservation**, 146, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.033>

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, 84, 45-67.

Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, 320, 1458–1460. <https://doi.org/10.1126/science.1155365>

Christina, S., Pradhan, S., Shivani, B. V., Sreelakshmi, S., Pappuswamy, M., & Chaudhary, A. (2023). Birds as indicators of active restoration in the Western Ghats. **Uttar Pradesh Journal of Zoology**, 37-46.

de Araújo, C. B., Jardim, M., Saturnino, N. S. F., et al. (2021). The optimal listening period for an effective assessment of bird richness and composition: a case study of neotropical forest. **Journal of Ornithology**, 162, 303–306. <https://doi.org/10.1007/s10336020-01812-6>

Deichmann, J. L., Hernández-Serna, A., Delgado C., J. A., Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. (2017). Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest. **Ecological Indicators**, 74, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.002>

Ernst, R., Linsenmair, K. E., & Rödel, M. O. (2006). Diversity erosion beyond the species level: dramatic loss of functional diversity after selective logging in two tropical amphibian communities. **Biological Conservation**, 133, 143-155.

Galetti, M., Bovendorp, R. S., & Guevara, R. (2015). Defaunation of large mammals leads to an increase in seed predation in the Atlantic forests. **Global Ecology and Conservation**, 3, 824–830. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.04.008>

Galetti, M., Guevara, R., Côrtes, M. C., Fadini, R., Von Matter, S., Leite, A. B., Jordano, P. (2013). Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. **Science**, 340, 1086–1090. <https://doi.org/10.1126/science.1233774>

Gann, G. D., et al. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. **Restoration Ecology**, 27(S1), S1-S46.

Geist, H., et al. (2006). Causes and trajectories of land-use/cover change. In Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts (pp. 41-70). Berlin, Heidelberg: **Springer Berlin Heidelberg**.

Griscom, H. P., Griscom, B. W., & Ashton, M. S. (2009). Forest regeneration from pasture in the dry tropics of Panama: effects of cattle, exotic grass, and forested riparia. **Restoration Ecology**, 17(1), 117-126.

Gussoni, C. O. A., Batisteli, A. F., & Pizo, M. A. (2024). Functional and conservation-related traits of bird communities in tropical restoration and second-growth forest patches. **Ornithological Research**, 32, 78–84. <https://doi.org/10.1007/s43388-023-00160-2>

Hale, R., MacNally, R., Blumstein, D. T., & Swearer, S. E. (2019). Evaluating where and how habitat restoration is undertaken for animals. **Restoration Ecology**, 27, 775–781. <https://doi.org/10.1111/rec.12958>

Hill, M. O. (1973). **Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences**. **Ecology**, 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>

Hobbs, R. J., Higgs, E., & Harris, J. A. (2009). Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. **Trends in ecology & evolution**, 24(11), 599-605.

Holl, K. D. (2023). **Fundamentos da restauração ecológica**. Coplit ArXives.

Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). **Methods in Ecology and Evolution**, 7, 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>

Jayson, E. A., & Mathew, D. N. (2003). Vertical stratification and its relation to foliage in tropical forest birds in Western Ghats (India). **Acta Ornithologica**, 38(2), 111-116. DOI: 10.3161/068.038.0207

Kahl, S., Wood, C. M., Eibl, M., Klinck, H. (2021). BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. **Ecological Informatics**, 61, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>

Karr, J. R., & Roth, R. R. (1971). Vegetation structure and avian diversity in several New World areas. **The American Naturalist**, 105(945), September-October.

Kohlhepp, G. (2014). Colonização agrária no norte do Paraná: processos geoeconômicos e sociogeográficos de desenvolvimento de uma zona pioneira subtropical do Brasil sob a influência da plantação de café. **Maringá: Eduem**.

La, V. T., & Nudds, T. D. (2016). Estimation of avian species richness: biases in morning surveys and efficient sampling from acoustic recordings. **Ecosphere**, 7, e01294.

Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, 91, 299-305.

Laliberté, E., Legendre, P., & Shipley, B. (2014). **FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology**. R package version 1.0-12.

Laurance, W. F., et al. (2010). The fate of Amazonian Forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, 144, 56-67.

Laurance, W. F., & Bierregaard Jr, R. O. (1997). Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities. **University of Chicago Press**.

Laurance, W. F., et al. (2007). Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis. **PLoS ONE**, 2(10), e1017.

Locatelli, B., et al. (2015). Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. **Restoration Ecology**, 23(4), 337-343.

Lord, J. M., & Norton, D. A. (1990). Scale and the spatial concept of fragmentation. **Conservation Biology**, 4, 197-202.

Luskin, M. S., et al. (2018). Study context shapes recommendations of land-sparing and sharing; a quantitative review. **Global Food Security**, 16, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.08.002>

Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. M., Elston, D. A., Scott, E. M., Smith, R. I., Somerfield, P. J., & Watt, A. D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. **Trends in Ecology & Evolution**, 25(10), 574-582. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.06.016>

Marini, M. A., & Garcia, F. I. (2005). Bird Conservation in Brazil. **Conservation Biology**, 19(3), 665-671.

Marques, F. C., Bochio, G. M., Lima, M. R., & Anjos, L. D. (2023). The selection of indicator species of birds and mammals for the monitoring of restoration areas in a highly fragmented forest landscape. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 95(2), e20200922. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320200922>

Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. **Oikos**, 111, 112–118.

Moreno-Mateos, D., et al. (2017). Anthropogenic ecosystem disturbance and the recovery debt. **Nature communications**, 8(1), 14163.

Mouillot, D., Graham, N. A., Villéger, S., Mason, N. W., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in Ecology & Evolution**, 28, 167–177.

Noe, E. E., Innes, J., Barnes, A. D., Joshi, C., & Clarkson, B. D. (2022). Habitat provision is a major driver of native bird communities in restored urban forests. **Journal of Animal Ecology**, 91, 1444–1457. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13700>

Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., ... Weedon, J. (2022). **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.6-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Raman, T. R. S., Joshi, N. J., & Sukumar, R. (2005). Tropical rainforest bird community structure in relation to altitude, tree species composition, and null models in the Western Ghats, India. **Journal of Bombay Natural History Society**, 102, 145-157.

Ranganathan, J., Krishnaswamy, J., & Anand, M. O. (2010). Landscape-level effects on avifauna within tropical agriculture in the Western Ghats: insights for management and conservation. **Biological Conservation**, 143(12), 2909-2917. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.018>

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). **Recuperado de www.ser.org**

Simberloff, D., & Abele, L. G. (1982). Refuge design and island biogeographic theory: effects of fragmentation. **The American Naturalist**, 120(1), 41-50.

Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., et al. (2022). AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. **Ecology Letters**, 25, 581-597. <https://doi.org/10.1111/ele.13898>

Torezan, J. M. D. (2002). Nota sobre a vegetação do rio Tibagi. In: M. Medri, E. Biachini, J. A. Pimenta, O. A. Shibatta (Eds.), *A Bacia do Rio Tibagi* (p. **). **Universidade Estadual de Londrina, EDUEL**.

Uezu, A., Metzger, J. P., & Vielliard, J. M. E. (2005). Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. **Biological Conservation**, 123, 507-519.

Vigle, G. O., Laurance, W. F., & Bierregaard, R. O. (1998). Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities. **Copeia**, 1998(3), 815. <https://doi.org/10.2307/1447825>

Volpato, G. H., Miranda Neto, A., & Martins, S. V. (2018). Avifauna como bioindicadora para avaliação da restauração florestal: estudo de caso em uma floresta restaurada com 40 anos em Viçosa-MG. **Ciência Florestal**, 28, 336-344.

Watson, J. E. M., et al. (2016). Catastrophic declines in wilderness areas undermine global environment targets. **Current Biology**, 26(21), 2929-2934.

Willis, E. O. (1979). The composition of avian communities in remanescente woodlots in southern Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, 33(1), 1-25.

Willrich, G., Calsavara, L. C., Lima, M. R., et al. (2016). Twenty-three years of bird monitoring reveal low extinction and colonization of species in a reserve surrounded by an extremely fragmented landscape in southern Brazil." **Revista Brasileira de Ornitologia** 24: 235-259.

Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., Rosa, C., Rivadeneira, M. M., & Jetz, W. (2014). EltonTraits 1.0: species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. **Ecology**, 95, 2027-2027. <https://doi.org/10.1890/13-1917.1>

Wunderle Jr., Joseph. (1997). The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, 99, 223-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00208-9)

Zaiden, T., Marques, F. C., Medeiros, H. R., & dos Anjos, L. (2015). Decadal persistence of frugivorous birds in tropical forest fragments of northern Parana. **Biota Neotropica**. <https://doi.org/10.1590/1676-06032015008414>