



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

Tarcísio Linhares Löw

**EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA
BRASILEIRA NAS PAISAGENS SONORAS, RIQUEZA E COMPOSIÇÃO DAS
AVES**

Florianópolis

2023

Tarcísio Linhares Löw

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação
em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Hajenius Aché de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Renzo Rocha Brito

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Löw, Tarcísio Linhares

Efeito de diferentes tipos de fragmentos de Mata Atlântica brasileira nas paisagens sonoras, riqueza e composição das aves
Tarcísio Linhares Löw ; orientador, Renato Hajenius Aché de Freitas, coorientador, Guilherme Renzo Rocha Brito, 2023.

48 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ecologia. 2. Bioacústica. 3. Machine Learning. 4. Índices Acústicos. 5. Aves. I. de Freitas, Renato Hajenius Aché. II. Brito, Guilherme Renzo Rocha . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. IV. Título.

Efeito de diferentes tipos de fragmentos de Mata Atlântica brasileira nas paisagens sonoras,
riqueza e composição das aves

Por

Tarcísio Linhares Löw

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Prof. Carlos Barros de Araújo, Dr.

Instituto de Biología Subtropical – CONICET (Argentina)

Profa. Marta Jussara Cremer, Dra.

Dept. Ecologia, UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de mestre em Ecologia.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Renato Hajenius Aché de Freitas, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2021.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

ATA Nº 001/2023/PPGECO

**Ata de sessão pública de apresentação e defesa de
Dissertação de Mestrado de Tarcísio Linhares Löw.**

Aos vinte e quatro dias do mês de janeiro de dois mil e vinte e três, às quinze horas, por videoconferência, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa da Dissertação de Mestrado, na Área de Concentração **Ecologia**, do mestrando **Tarcísio Linhares Löw** como requisito final para obtenção do título de MESTRE em ECOLOGIA, de acordo com a **Portaria Nº 001/2023/PPGECO**. A banca foi composta pelos seguintes professores: **Dr. Renato Hajenius Aché de Freitas – ECZ/CCB/UFSC (Orientador)**, **Drª. Marta Jussara Cremer – Universidade da Região de Joinville - Univille (Membro Titular - Interno)** e **Dr. Carlos Barros de Araújo – Instituto de Biología Subtropical – CONICET (Membro Titular - Externo)**, sob a presidência do primeiro. A dissertação tem como título **EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA NAS PAISAGENS SONORAS, RIQUEZA E COMPOSIÇÃO DAS AVES**.

Houve participação por meio de **sistemas de interação áudio e vídeo em tempo real pelos seguintes professores: Dr. Renato Hajenius Aché de Freitas, Drª. Marta Jussara Cremer e Dr. Carlos Barros de Araújo.**

Com base no resultado da defesa, a banca examinadora propõe que seja:

[X] Aprovado, devendo a versão definitiva da dissertação ser entregue em até 90 dias. [] Reprovado.

Às dezessete horas e cinquenta e cinco minutos (17h55min) foi lavrada a presente ata e encerrada a sessão, que vai assinada pelo candidato e pela banca examinadora.

Florianópolis, 24 de janeiro de 2023.



Documento assinado digitalmente
Renato Hajenius Ache de Freitas
Data: 24/01/2023 18:29:32-0300
CPF: ***.534.058-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

RENATO HAJENIUS ACHÉ DE FREITAS
Orientador



Documento assinado digitalmente
CARLOS BARROS DE ARAUJO
Data: 24/01/2023 18:41:42-0300
CPF: ***.542.711-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

CARLOS BARROS DE ARAÚJO
Membro Titular Externo



Documento assinado digitalmente
MARTA JUSSARA CREMER
Data: 26/01/2023 13:57:00-0300
CPF: ***.593.650-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

MARTA JUSSARA CREMER
Membro Titular Interno



Documento assinado digitalmente
Tarcísio Linhares Low
Data: 25/01/2023 13:19:37-0300
CPF: ***.801.350-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

TARCÍSIO LINHARES LÖW
Candidato

Este trabalho é dedicado à minha família, meus pais
Marisa e Ricardo e meus irmãos Tiago e Verônica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Renato Freitas, meu coorientador Guilherme Brito, aos colaboradores Andrei Roos e Luis Soares, e também a todos os professores, servidores e colegas da UFSC, que contribuíram para minha formação neste PPG em Ecologia.

Agradeço aos meus amigos, que são o meu suporte emocional no dia-a-dia, e cada um é uma referência que vou levar para o resto da vida.

Agradeço à minha família, meus pais Ricardo e Marisa, e meus irmãos mais velhos Verônica e Tiago, por serem minhas primeiras referências de tudo na vida, e por sempre darem todo o suporte e apoio nas minhas decisões.

Agradeço à minha companheira Rebeca, mais conhecida como Cigana, por me ensinar todos os dias a ser um homem forte e focado nos meus objetivos, sem deixar que outras pessoas e pensamentos reprimam a minha expressão em prol das coisas que acredito serem verdadeiras.

RESUMO

As comunidades presentes em fragmentos remanescentes da Mata Atlântica Brasileira (MAB) sofrem diversos impactos, muitos sendo derivados dos efeitos de borda, que podem alterar estrutura e comportamento dessas comunidades. Atualmente aproximadamente metade da área da MAB está a menos de 100 m da borda. Fragmentos que fazem fronteira com estradas sofrem com antropofonias causadas pelo tráfego de veículos, afetando a comunicação sonora da comunidade. As aves, por sua vez, utilizam muito do som e das paisagens sonoras para se guiarem e comunicarem entre si e, por também serem muito sensíveis às alterações nas paisagens sonoras e parte importante das mesmas, são ótimos organismos modelos para o estudo de impacto sonoro na biodiversidade. Neste estudo testamos o efeito de diferentes tipos de fragmentos de Floresta Ombrófila Densa nas paisagens sonoras, riqueza e composição de aves. Também testamos se há alguma correlação entre as paisagens sonoras e a riqueza de aves. Os Pontos amostrados possuíam diferentes distâncias das bordas com estradas, e também diferentes graus de urbanização e conservação dos ambientes (Zona Urbana próxima a estradas, Zona Rural próxima a estradas e Unidades de Conservação distantes de estradas). Foram analisados 810 minutos de gravação em 9 Pontos amostrais (90 minutos por Ponto, 3 Pontos por Zona/ambiente), utilizando do cálculo de 6 Índices Acústicos (IAs) para comparar as paisagens sonoras. A riqueza de aves foi quantificada a partir da identificação de vocalizações utilizando mecanismos de *pattern matching* junto com validações manuais para cada minuto. Para testar qual dos 6 IAs explicaria melhor a riqueza de aves foi utilizado o teste de correlação de Spearman e Modelos Lineares Generalizados de Efeitos Mistos. Os 6 IAs indicaram diferenças significativas entre as paisagens sonoras das diferentes Zonas, e também entre as diferentes distâncias da estrada (especialmente na Zona Urbana). Foram identificadas 77 espécies (Urbana n = 25; Rural n = 50; UC n = 41). Por mais que tenha o menor número de espécies, a Zona Urbana apresentou a maior riqueza por minuto amostrado. O IA que mais evidencia a riqueza de aves é o Índice Bioacústico, especialmente em paisagens sonoras influenciadas por antropofonias. Para indicação de grau de antropofonia, o Índice de Paisagem Sonora de Diferença Normalizada é o mais indicado dentre os seis IAs. Independentemente, fica nítido a importância de utilizar sempre múltiplos índices para poder compará-los com aspectos ecológicos, e é necessário sempre testar essas relações pois as características de cada ambiente influenciam na eficiência dos IAs como indicativos de padrões da estrutura de comunidades.

Palavras-chave: Ecologia, Índices Acústicos, Floresta Ombrófila Densa, Efeito de borda, Conservação.

ABSTRACT

The communities present in remaining fragments of the Brazilian Atlantic Forest (MAB) suffer several impacts, many being derived from edge effects, which alter the structure and behavior of these communities. Currently, approximately half of the MAB area is less than 100 m from the edge. Fragments bordering roads suffer from anthropophonies caused by vehicle traffic, affecting the community's sound communication. Birds, on the other hand, use several sound and soundscapes to guide and communicate with each other and, as they are also very sensitive to changes in soundscapes, they are excellent model organisms for studying the impact of sound on biodiversity. In this study we tested the effect of different types of Dense Ombrophilous Forest fragments on soundscapes, richness and composition of birds. We also tested whether there is any correlation between soundscapes and bird richness. The sampled points had different distances from the edges bordering roads, and also different degrees of urbanization in the Zone (Urban close to roads, Rural close to roads and in Conservation Units far from roads). 810 minutes of recording were analyzed at 9 different points (90 minutes per point, 3 points per Zone), using the calculation of 6 Acoustic Indexes (AIs) to compare the soundscapes. Bird richness was quantified from the identification of calls using pattern matching mechanisms together with manual validations for each minute. To test which of the 6 AIs would best explain bird richness, Spearman's correlation test and Generalized Linear Models of Mixed Effects were used. The 6 AIs indicated significant differences between the soundscapes of different Zones, and also between different road distances (especially in the Urban Zone). A total of 77 species were identified (Urban n = 25; Rural n = 50; UC n = 41). Despite having the lowest number of species, the Urban Zone had the highest richness per minute sampled. The AI that most demonstrates the richness of birds is the Bioacoustic Index, especially in soundscapes influenced by anthropophonies. To indicate the degree of anthropophony, the Normalized Difference Soundscape Index is the most indicated among the six AIs. Independently, it is clear the importance of always using multiple indices to be able to compare them with ecological aspects, and it is always necessary to test these relationships since the characteristics of each environment influence the efficiency of the AIs as indicative of community structure patterns.

Keywords: Ecology, Acoustic Indices, Dense Ombrophilous Forest, Edge effect, Conservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo, indicando os 9 Pontos amostrados na MAB do estado de SC, sendo 3 pontos em zona Urbana próxima a estradas, 3 em zona Rural próxima a estradas, e 3 em zona de UC distante de estradas.	17
Figura 2: Gráficos boxplot para cada IA (eixo Y) comparando valores entre cada Zona (eixo X). Diferentes letras indicam diferença significativa (Kruskal-Wallis; $p < 0,05$).....	24
Figura 3: Gráficos boxplot para cada IA (eixo Y) comparando valores entre cada Ponto (eixo X) dentro de cada Zona. Diferentes letras indicam diferença significativa entre os Pontos (Kruskal-Wallis; $p < 0,05$).....	25
Figura 4: Curva de acumulação de espécies identificadas ao longo dos minutos analisados, Geral (esquerda) e específica de cada Zona (direita). Área preenchida representa intervalo de confiança (95%).....	30
Figura 5: Gráficos boxplot da riqueza média diária em cada Zona (esquerda) e em cada Ponto (direita). Ponto indica a média dos valores de cada box.	31
Figura 6: Gráficos de NMDS com dados de presença e ausência de espécies para cada dia amostrado, agrupando as diferentes Zonas (Urbana, Rural e UC) e os diferentes Pontos da Zona Urbana (1, 2 e 3), Rural (4, 5 e 6), e UC (7, 8 e 9), indicando na legenda a distância entre cada Ponto e a estrada mais próxima.	33
Figura 7: Representação gráfica dos resultados dos GLMM geral ($N = 810$ min), representando os IAs que melhor explicam a variação da riqueza por minuto (BI e ACI). Nos gráficos à esquerda (A e C) a representação da predição geral do resultado, e à direita (B e D) mostrando a variância do efeito aleatório de cada curva em relação a cada Ponto amostral.	35
Figura 8: Representação gráfica dos resultados dos GLMM para cada uma das Zonas, representando o IA que melhor explica a variação da riqueza por minuto. A) Zona Urbana; B) Zona Rural; C) Zona de UC.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pontos amostrados utilizando gravadores autônomos remotos.	18
Tabela 2: Lista de espécies identificadas neste estudo (total de 77).	26
Tabela 3: Resultados das análises de PERMANOVA entre todos os Pontos, entre os Pontos de cada Zona, e entre as 3 Zonas. Valores em negrito indicam diferença significativa.....	31
Tabela 4: Resultado das análises de correlação entre a riqueza de aves identificada e o valor de cada IA por minuto amostrado, geral e dividido por Zona. Valores em negrito indicam diferença significativa.	34
Tabela 5: Resumo dos resultados, representando os IAs que apresentaram correlação significativa com a riqueza (Spearman) e os IAs que melhor explicaram a riqueza (GLMM), tanto de forma geral de todas as Zonas quanto específica de cada Zona.	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.2 HIPÓTESE	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 ÁREA DE ESTUDO	16
2.3 ANÁLISES.....	19
2.3.1 Análises da paisagem sonora	19
2.3.2 Análises da comunidade vocal de aves.....	20
2.3.3 Análises das relações entre IAs e riqueza de aves.....	21
3 RESULTADOS	23
3.1 PAISAGEM SONORA	23
3.2 COMUNIDADE DE AVES	26
3.3 ÍNDICES ACÚSTICOS VS. RIQUEZA DE AVES.....	33
4 DISCUSSÃO	37
5 CONCLUSÃO.....	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Os 11,7% restantes da área original da Mata Atlântica Brasileira (MAB) consistem em 245.173 fragmentos, sendo 83,4% destes fragmentos menores do que 50 ha, e quase metade dessa área estando a menos de 100 m de distância das bordas (RIBEIRO *et al.*, 2009). Os efeitos de borda afetam a estrutura das comunidades da MAB, seja em árvores (OLIVEIRA *et al.*, 2004), mamíferos (STEVENS & HUSBAND, 1998; PARDINI, 2004), anfíbios (BECKER *et al.*, 2007) ou aves (ZURITA *et al.*, 2012). Além da fragmentação alterar completamente a paisagem visual do ambiente, normalmente ela vem associada a atividades humanas que também alteram a paisagem sonora, causando a perda de diversidade acústica (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). As comunidades que ocupam fragmentos florestais de MAB adjacentes a estradas, por exemplo, sofrem com a invisível pressão da antropofonia, que ocupa diversos nichos acústicos importantes para as aves nativas (KLEYN *et al.*, 2021).

Paisagem sonora é definida como toda a energia sônica oriunda de uma determinada paisagem, sendo os sons divididos em três classes de acordo com sua fonte geradora: geofonia, sendo os sons produzidos por fontes naturais não-biológicas (ventos, chuvas e ondas do mar); biofonia, sendo os sons produzidos por organismos vivos (vocalização das aves ou bater de asas de artrópodes); e antropofonia, sendo os sons produzidos por criações do ser humano (motores, veículos, indústrias) (FARINA, 2013). Os estudos envolvendo bioacústica podem analisar a emissão, propagação e recepção das biofonias (com um enfoque maior no comportamento de alguma espécie alvo, ou algum grupo restrito) (SUER, 2014). Mas além disso, também podem analisar de uma forma mais ampla as paisagens sonoras, integrando conhecimentos da bioacústica e da ecologia para medir parâmetros como riqueza e abundância, detectar alterações no comportamento e dinâmica dos organismos no ambiente, ou testar a influência da própria paisagem sonora na estrutura de comunidades de um determinado ambiente (FARINA, 2017).

Comunicação é o comportamento social mais importante entre os animais, e a comunicação acústica permite eficientes trocas de informação (SLABBEKOORN, 2017). As aves são um ótimo exemplo, pois dependem dessa comunicação para realizar diversas funções vitais, como atrair parceiros sexuais, notificar a presença de predadores e competir por alimento (ALCOCK, 2011). É por esse motivo que as aves necessitam de um ambiente saudável acusticamente. Porém, com o aumento populacional humano e avanço das tecnologias pós-

revolução industrial, a intensidade das antropofonias aumentou muito, sendo mais um dos efeitos causadores de quedas nos parâmetros de densidade de indivíduos, riqueza de espécies e sucesso reprodutivo em comunidades de aves (FRANCIS *et al.*, 2009). O grande problema da antropofonia está nos sons que possuem frequências mais baixas (abaixo dos 2.000 Hz) e uma amplitude (intensidade sonora) muito elevada (podendo ser propagados a maiores distâncias), como o ruído gerado pelo alto tráfego de veículos, por exemplo (RHEINDT, 2003; LANZER, 2007). Tal pressão sonora pode afetar as aves em sua comunicação, forçando-as a alterar seu comportamento vocal, tanto em relação às frequências utilizadas (SLABBEKOORN & PEET, 2003; HU & CARDOSO, 2010) quanto em relação ao ritmo circadiano (FULLER *et al.*, 2007), ambas estratégias em busca de um nicho acústico não ocupado, seja em relação à frequência utilizada ou ao horário de vocalização. Em casos mais extremos algumas espécies deixam de ocupar determinados ambientes perturbados, e isso depende também do grau de adaptabilidade e sinantropismo de cada espécie. Desta forma, a paisagem sonora está diretamente associada não só ao comportamento dos indivíduos, como também à estrutura e composição das comunidades.

Monitorar a biodiversidade é essencial para uma gestão sustentável dos recursos naturais, pelo fato de fornecer informação sobre a saúde de um ecossistema e a capacidade do mesmo continuar promovendo determinados serviços ecossistêmicos (FAIRBRASS, 2017). A estabilidade de uma paisagem sonora pode ser avaliada através de monitoramentos de longo prazo. Entretanto, embora forneçam informações para entender as mudanças na biodiversidade e como evitá-las, geralmente custam muitas horas de especialistas para coletar e analisar a grande quantidade de dados. Novas técnicas como a coleta de dados com Unidades de Gravação Autônomas (UGAs) podem ser muito eficientes e requerem menos tempo de trabalho de especialistas e, conseqüentemente, menor custo (ALQUEZAR & MACHADO, 2015). Outras técnicas de análise como a utilização de Índices Acústicos (IAs) e algoritmos de *pattern matcing* também podem agilizar o processamento dos dados e a compreensão das paisagens sonoras (ELDRIDGE *et al.*, 2018).

Os IAs são ferramentas que representam a informação de uma paisagem sonora gravada em um único valor numérico, permitindo analisar de forma gráfica, estatística e comparativa as paisagens sonoras. Cada IA tem sua peculiaridade em relação a qual aspecto físico da paisagem sonora será contemplado em seu cálculo, e possui um significado eco acústico em relação ao que está sendo expresso no resultado (BRADFER-LAWRENCE *et al.*, 2019). IAs como o

Índice Bioacústico (BI) (BOELMAN *et al.*, 2007) e o Índice de Complexidade Acústica (ACI) (PIERETTI *et al.*, 2011) utilizam as variações de amplitude dos sinais sonoros em seus cálculos, visando medir contribuições biofônicas para as paisagens sonoras. IAs como o Índice de Uniformidade Acústica (AEI) e o Índice de Diversidade Acústica (ADI) (VILLANUEVA-RIVERA *et al.*, 2011), assim como a Entropia Total (H) (SUER *et al.*, 2008), utilizam as variações nas frequências da paisagem sonora em seus cálculos, visando medir a diversidade sonora das paisagens sonoras. O Índice de Paisagem Sonora de Diferença Normalizada (NDSI) (KASTEN *et al.*, 2012) foi desenvolvido visando medir nas paisagens sonoras a predominância entre biofonias vs. antropofonias. Pesquisas recentes tentam interpretar o valor de diferentes IAs para uma mesma paisagem sonora em relação às características ecológicas da comunidade que habita aquele espaço, para facilitar o acesso à informação principalmente em estudos de larga escala temporal e espacial (BOELMAN *et al.*, 2007; SUEUR *et al.*, 2008; PIERETTI *et al.*, 2011; ALQUEZAR & MACHADO, 2015; FAIRBRASS *et al.*, 2017; MACHADO *et al.*, 2017; MAMMIDES *et al.*, 2017; JORGE *et al.*, 2018; ELDRIDGE *et al.*, 2018; BRADFER-LAWRENCE *et al.*, 2019; PÉREZ-GRANADOS *et al.*, 2019; RAJAN *et al.*, 2019)

Outra ferramenta atualmente utilizada para facilitar a execução de estudos de larga escala (muitos minutos amostrados) com comunidades de aves é a identificação de vocalizações utilizando o mecanismo de *pattern matching* (LEBIEN *et al.*, 2020). Esse mecanismo funciona da seguinte forma: o pesquisador acessa o software e faz o *upload* dos arquivos de áudio a serem analisados, e fornece também uma série de *templates*, que são amostras de trechos de gravação de áudio (neste caso vocalizações padrão de cada espécie de ave previamente identificadas). O *software* então procura em todas as gravações fornecidas trechos semelhantes aos *templates* e produz uma lista com todos eles, onde num segundo momento, o pesquisador valida manualmente quais trechos realmente correspondem ou não ao *template* fornecido ao programa. Desta forma é feita a identificação da comunidade vocal de aves sem que o pesquisador precise ouvir todos os minutos amostrados do início ao fim. Por ser uma área muito recente na ciência, essa pesquisa também tem o propósito de enaltecer pontos positivos e negativos da utilização de tecnologias de *pattern matching* e *machine learning* para identificação das espécies vocalizando. É esperado que o método facilite e agilize a identificação das aves, porém ele deve apresentar dificuldades para identificar vocalizações que estejam mascaradas pela antropofonia.

Estratégias de monitoramento acústico de longo prazo podem ser implementadas em fragmentos urbanos de MAB, visando o entendimento do quanto a paisagem sonora estaria sendo influenciada pela antropofonia, e o que isso pode estar causando nas comunidades de aves. Tendo conhecimento aprofundado da influência da antropofonia nas paisagens sonoras, podem ser testadas estratégias de mitigação, como por exemplo a implementação de barreiras eco acústicas, e dar continuidade ao monitoramento acústico para analisar a eficiência do método para mitigação do ruído urbano.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivos

- testar se há diferença entre as paisagens sonoras de fragmentos de Mata Atlântica de diferentes Zonas: Urbana (próximos a estradas); Rural (próximos a estradas); e Unidades de Conservação (distantes de estradas);
- testar se há diferença entre a riqueza e composição da comunidade vocal de aves entre fragmentos de Mata Atlântica das diferentes Zonas;
- testar se a riqueza de aves vocalizando por minuto é explicada e/ou se correlaciona com o valor dos IAs.

1.2 HIPÓTESE

- as paisagens sonoras são diferentes entre as Zonas, sendo a Zona Urbana com menor diversidade acústica, e a Zona de Unidade de Conservação com maior diversidade acústica;
- a riqueza e composição da comunidade vocal de aves varia de acordo com a Zona do fragmento de Mata Atlântica;
- a riqueza de aves é explicada e se correlaciona com os valores dos IAs testados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo são remanescentes de MAB do Sul do Brasil com diferentes graus de fragmentação e de ocupação humana (Figura 1). O estado de Santa Catarina ainda possui uma parcela expressiva da MAB preservada por Unidades de Conservação (UCs), mas também possui áreas agrícolas e Urbanas em expansão que causam uma grande fragmentação e perda deste habitat (ROOS, 2021). As áreas rurais e internas de UCs amostradas estão em diferentes fragmentos florestais de diferentes locais do estado de SC, enquanto as áreas Urbanas amostradas estão todas no mesmo fragmento florestal na capital Florianópolis.

Para este projeto foram utilizados dados de gravadores autônomos remotos (*AudioMoth*, AM version 1.0, HILL *et al.*, 2018, 2019), coletados em fragmentos de floresta ombrófila subtropical no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil, em áreas Urbanas próximas a estradas, rurais próximas a estradas, e em UCs distantes de estradas, visando analisar paisagens sonoras com diferentes graus de antropofonia (Figura 1, Tabela 1):

A – Área Urbana próxima a estrada: referente aos Pontos 1, 2 e 3, situados dentro da Unidade de Conservação Ambiental Desterro (UCAD) (respeitando um distanciamento mínimo de 200 metros entre cada gravador). A UCAD possui uma área de 491,5 hectares de mata atlântica em diferentes estágios de sucessão ecológica, e está inserida em meio à área Urbana de Florianópolis, tendo parte de sua área possivelmente afetada pela antropofonia, já que faz fronteira com a estrada SC-401 que liga o Centro com o Norte da ilha (TIEPO *et al.*, 2005).

B – Área Rural próxima a estrada: referente aos Pontos 4, 5 e 6, próximos a estradas em Zonas rurais do estado de SC, nos municípios de Botuverá e Grão Pará.

C – Unidade de Conservação distante da estrada: referente aos Pontos 7, 8 e 9, representativos de Unidades de Conservação (Parque Nacional da Serra do Itajaí, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro e o Parque Estadual da Serra Furada), em áreas distantes de estradas ou qualquer borda.

Os Pontos das Zonas B e C estão situados em fragmentos de MAB que já sofreram algum impacto antrópico no passado e estão em estágio secundário de regeneração, com árvores entre 10 m e 15 m (ROOS, 2021).

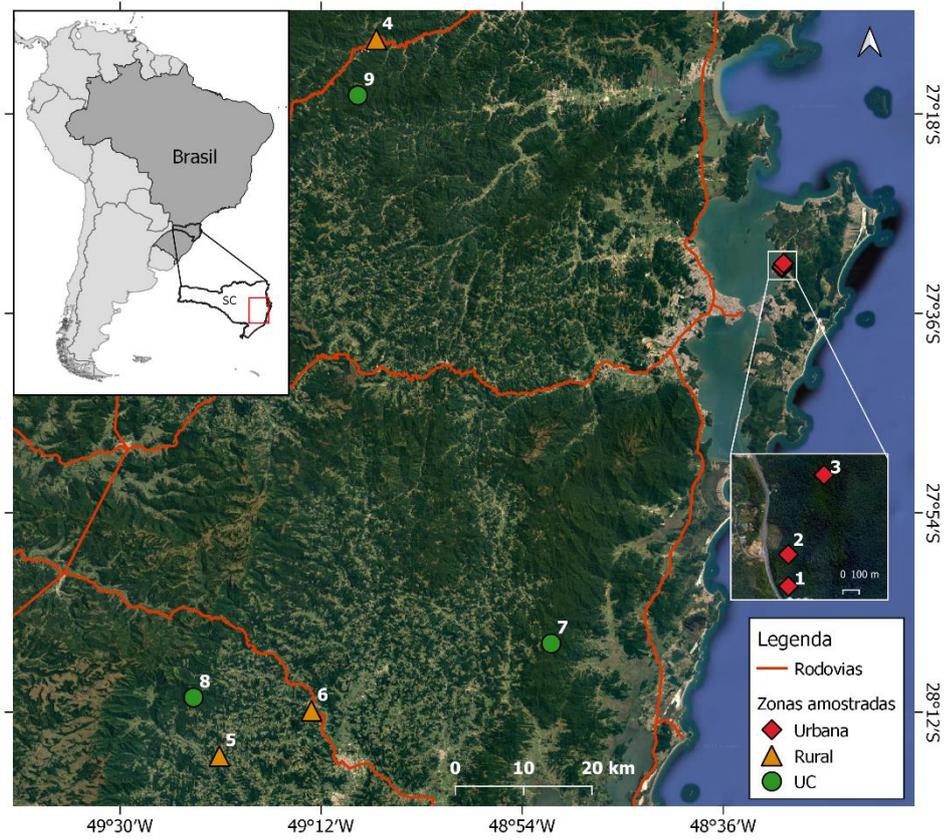


Figura 1: Mapa da área de estudo, indicando os 9 Pontos amostrados na MAB do estado de SC, sendo 3 pontos em zona Urbana próxima a estradas, 3 em zona Rural próxima a estradas, e 3 em zona de UC distante de estradas.

Tabela 1: Pontos amostrados utilizando gravadores autônomos remotos.

PONTO	ZONA	LAT	LONG	DISTÂNCIA DA ESTRADA (m)
1	URBANA	27° 31' 54.20" S	48° 30' 44.00" O	60
2	URBANA	27° 31' 47.00" S	48° 30' 44.00" O	130
3	URBANA	27° 31' 29.00" S	48° 30' 36.00" O	400
4	RURAL	27° 11' 16.15" S	49° 7' 3.36" O	130
5	RURAL	28° 15' 57.78" S	49° 21' 6.19" O	210
6	RURAL	28° 11' 52.08" S	49° 12' 52.31" O	340
7	UC	28° 5' 47.87" S	48° 51' 24.19" O	1400
8	UC	28° 10' 40.04" S	49° 23' 25.37" O	1500
9	UC	27° 16' 19.06" S	49° 8' 42.47" O	2000

2.2 COLETA DE DADOS

Foram realizadas coletas de dados utilizando Unidades de Gravação Autônomas (UGAs) (AudioMoth, AM version 1.0, Hill *et al.*, 2019, 2018) para captação das paisagens sonoras. Na Zona Urbana, os gravadores foram instalados com distância mínima de 200 metros entre si, visando captar paisagens sonoras com diferentes graus de antropofonia, programados para gravar 1 minuto e descansar 9 minutos durante 5 dias consecutivos na estação quente, no final de 2021. Os Pontos da Zona Rural e UCs foram amostrados entre novembro de 2018 e fevereiro de 2019, com os mesmos equipamentos e metodologia de amostragem (ROOS, 2021). Para as análises, foram utilizados apenas os minutos entre as 6h00min e às 9h00min para os 9 Pontos, sendo 18 minutos por dia, 5 dias por Ponto, 3 Pontos por Zona, totalizando 810 minutos

analisados. Esses horários foram escolhidos visando captar os horários de maior atividade das aves (DE ARAÚJO *et al.*, 2021).

2.3 ANÁLISES

As análises foram realizadas utilizando os *softwares* R (R CORE TEAM, 2022), *Microsoft Excel* e a plataforma *RFCx-Arbimon* (AIDE *et al.*, 2013). As análises foram divididas em três etapas: apenas com os IAs; apenas com a riqueza de aves vocalizando; integrando resultados dos IAs com resultados de riqueza.

2.3.1 Análises da paisagem sonora

Foram calculados dentro do *software* R (R CORE TEAM, 2022) os valores de 6 IAs para todas as paisagens sonoras de 1 min de duração, utilizando as configurações *default* para as funções do cálculo de todos os IAs (*R “tune R” package*) (Ligges *et al.*, 2018), (*R “sound ecology” package*) (VILLANUEVA-RIVERA & PIJANOWSKI, 2014). Os IAs calculados neste estudo foram escolhidos com base no estudo de Jorge e colaboradores (2018):

- Índice de Complexidade Acústica (ACI) (PIERETTI *et al.*, 2011), que consiste na divisão do espectrograma em bandas de frequência e caixas temporais, para calcular a diferença de intensidade sonora (dB) entre instantes adjacentes, visando enaltecer variações grandes e repentinas de intensidade sonora, como são normalmente os sinais sonoros da vocalização das aves.

- Índice de Diversidade Acústica (ADI) (VILLANUEVA-RIVERA *et al.*, 2011), que considera a proporção de sinais de alta intensidade (acima de 50 dB) entre diferentes bandas de frequências, e consiste do cálculo do Índice de Diversidade de Shannon para as diferentes bandas de frequência.

- Índice Bioacústico (BI) (BOELMAN *et al.*, 2007), que consiste em computar toda a energia sônica presente no espectro sonoro entre 2 e 8 kHz de frequência. Este índice visa estimar a riqueza de espécies do ambiente.

- Índice de Uniformidade Acústica (AEI) (VILLANUEVA-RIVERA *et al.*, 2011), que consiste também na divisão em 10 bandas de 1 kHz, medindo a ocupação de sinais sonoros em cada banda, e aplicando o índice de Gini (GINI, 1912) sobre estes valores de cada banda.

- Entropia Total (H) (SUER *et al.*, 2008), que consiste em calcular a entropia de uma paisagem sonora ao longo da gravação.

- Índice de Paisagem Sonora de Diferença Normalizada (NDSI) (KASTEN *et al.*, 2012), que é a razão entre o cálculo da antropofonia (baseado na banda de frequência de 0 a 2 kHz) e a biofonia (baseado na banda de 2 a 8 kHz), variando de -1 a 1. Valores próximos a -1 indicam maior antropofonia, enquanto o oposto indica maior biofonia.

Foi gerada uma planilha no *Microsoft Excel* com todas as gravações e o valor dos IAs para cada uma, que serviu como base de dados para geração de gráficos interpretativos de *boxplot*, que caracterizam as paisagens sonoras. A aderência dos valores dos IAs a distribuição normal foi avaliada pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Para comparar os valores entre os diferentes Pontos e Zonas foi utilizado o teste de *Kruskal-Wallis* (ZAR, 2009).

2.3.2 Análises da comunidade vocal de aves

Os 810 minutos amostrados foram submetidos à identificação de vocalizações de aves por meio do mecanismo de *pattern matching* dentro da plataforma *RFCx-Arbimon II*, utilizando mais de 300 *templates* que já estavam presentes no projeto “Arquivo Bioacústico Catarinense”, cedidos pelo especialista em identificação de aves Dr. Andrei L. Roos. Esses *templates* foram selecionados a partir de identificações manuais do especialista (mais de 3500 min ouvidos) e adicionalmente foram inseridos sons de espécies não detectadas nesses minutos, porém presentes nas listas de espécies regionais, retirados do site WikiAves. Para cada espécie foram adicionados dois sons (quando aplicável), um *simple call* e um *common song* (ROOS, 2021). A configuração do algoritmo de *pattern matching* foi de buscar uma detecção por minuto para cada *template* ($N = 1$) e um *threshold* de 0,1.

Após a validação manual de todos os *match* encontrados pelo computador, foi gerada uma outra planilha com dados de presença e ausência para cada espécie validada em cada um dos 810 minutos, utilizada para análises de parâmetros ecológicos da comunidade vocal de aves, e uma lista de espécies, separando as três Zonas analisadas (Urbana, Rural e UCs). Também foram geradas 4 curvas de acumulação de espécies, uma geral para todas as Zonas e uma específica para cada Zona. A planilha com o valor dos IAs foi unida com a planilha de presença e ausência das espécies para análises de correlação entre os IAs e a riqueza de aves.

A partir da planilha geral dos dados (com minutos como unidade amostral de tempo) foi gerada uma nova planilha (com dias como unidade amostral de tempo), agrupando as 18 linhas de cada dia amostrado em uma só. Para fazer isso, foi feita a média dos valores dos 6 IAs nesses 18 minutos e registrado de forma binária quais espécies estavam presentes em pelo menos 1 desses 18 minutos.

Foram gerados gráficos de *boxplot* no *software R* para análise visual da riqueza média com dados por dia em cada Ponto e em cada Zona. A normalidade foi testada através do teste de *Shapiro-Wilk*. Para comparar os valores entre os diferentes Pontos e Zonas foi utilizado o teste de *Kruskal-Wallis* (ZAR, 2009). Possíveis diferenças na comunidade de aves de cada Zona foram avaliadas visualmente através do Escalonamento Multidimensional não-Métrico (nMDS), com avaliação da qualidade de ajuste através do *stress* ($stress < 0.2$). A Análise de Variância Multivariada com permutações (PERMANOVA) foi utilizada para testar a hipótese de diferenças nas comunidades entre as Zonas Urbana, Rural e UC (LEGENDRE & LEGENDRE, 2012; ANDERSON, 2001).

2.3.3 Análises das relações entre IAs e riqueza de aves

Em função dos resultados do teste de Shapiro-Wilk, foi escolhido o teste de correlação não-paramétrica pareada (Spearman) para saber se houve, e qual o grau de correlação entre a riqueza de aves vocalizando e o valor de cada um dos 6 IAs calculados, tanto de forma geral (considerando todos os 810 min), quanto específico de cada Zona (Urbana, Rural e UC). Foi utilizada a função “cor.test” do pacote “stats”, utilizando o método “spearman” no *software R*.

A relação entre a riqueza e os 6 IAs testados foi avaliada através de Modelos Lineares Generalizados de Efeitos Mistos (GLMM; *R* “*glmmTMB*” *package*) (BROOKS *et al.*, 2017) para entender qual dos IAs melhor explicaria as variações da riqueza de aves por minuto (ZUUR *et al.*, 2009), tanto de forma geral quanto específico de cada Zona, totalizando 4 GLMMs (Geral, Urbana, Rural e UC). Para a montagem de cada um dos modelos, foram seguidos os mesmos passos. Inicialmente foi testada se havia colinearidade entre os IAs utilizando o *Variance Inflation Factor* (VIF; *R* “*HH*” *package*) (HEIBERGER & HOLLAND, 2004). Os IAs AEI e o H resultaram em valores de VIF superiores a X, sendo excluídos das análises de GLMM. Para cada vez que a função foi executada, foi eliminado o IA com maior valor, e rodada novamente, até que só restassem IAs com valor inferior a 3 para a colinearidade ($VIF < 3$) (ZUUR *et al.*, 2009). Em função dos valores de VIF, o AEI não foi considerado em nenhum

dos GLMMs, e o H não foi considerado nos GLMMs geral e específico das Zonas Urbana e Rural. Os IAs não-colineares foram usados nos modelos GLMM, onde a variável resposta é a riqueza por minuto. Os Pontos amostrados foram utilizados como efeito aleatório para considerar a variância decorrente da heterogeneidade ambiental entre eles. A distribuição utilizada foi de Poisson para os GLMMs geral e específico da Zona Rural, Poisson generalizada para Zona Urbana, e binominal negativa com parametrização quadrática para Zona de UC. A função de ligação utilizada foi a logarítmica para todos os modelos. Os modelos foram simplificados seguindo o Princípio da Parcimônia, de forma que foram excluídos os IAs sem relação significativa com a riqueza. A seleção foi feita escolhendo o modelo com o menor AIC (*Akaike Information Criterion*) e através da análise dos desvios dos resíduos (*Likelihood Ratio Test* comparado a uma distribuição de qui-quadrado) foi retirada cada variável explanatória por vez seguida do teste em sequência. A análise de desvios testa a hipótese nula de que o parâmetro da variável retirada do modelo não acarretará em perda significativa para o balanço entre a precisão e a explicação do modelo, medido pelo AIC (ZUUR *et al.*, 2009). Os modelos escolhidos foram validados através da análise gráfica dos quantis dos resíduos aleatorizados (*R* “DHARMA” *package*) (DUNN & SMYTH, 1996; GELMAN & HILL, 2006; HARTIG, 2021). O resultado das estimativas do modelo foi exibido graficamente através dos valores preditos (\pm IC) para cada variável preditora (*R* “ggeffects” *package*) (LÜDECKE, 2018).

3 RESULTADOS

3.1 PAISAGEM SONORA

Nenhum dos IAs teve distribuição normal (valor de W entre 0,54 e 0,93 e $p < 0,001$ para todos os IAs). Os gráficos de *boxplot* das Figuras 2 e 3 ilustram os valores dos IAs para cada Zona e para cada Ponto, respectivamente.

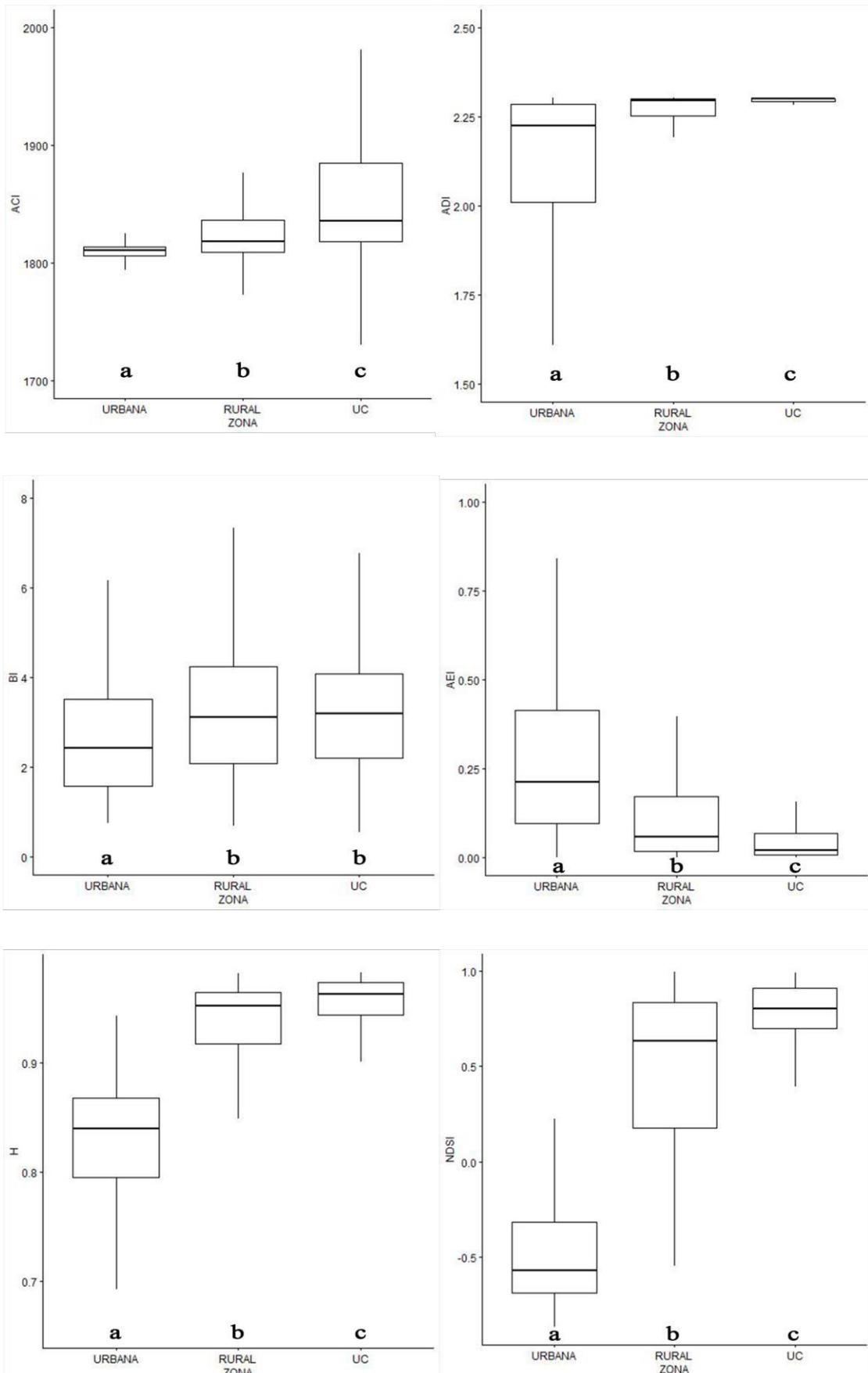


Figura 2: Gráficos boxplot para cada IA (eixo Y) comparando valores entre cada Zona (eixo X). Diferentes letras indicam diferença significativa (Kruskal-Wallis; $p < 0,05$).

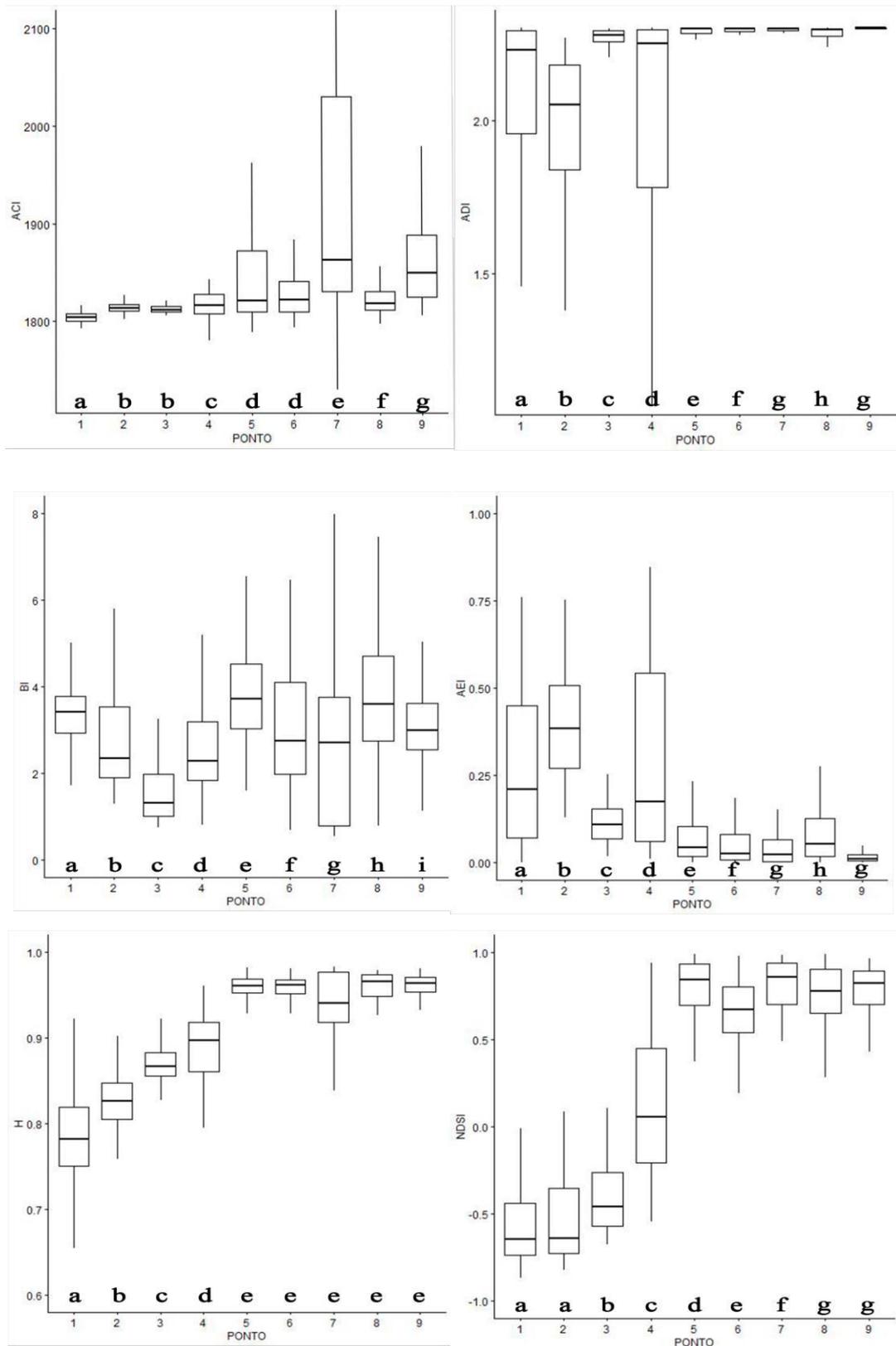


Figura 3: Gráficos boxplot para cada IA (eixo Y) comparando valores entre cada Ponto (eixo X) dentro de cada Zona. Diferentes letras indicam diferença significativa entre os Pontos (Kruskal-Wallis; $p < 0,05$).

3.2 COMUNIDADE DE AVES

Foram analisados 810 minutos de gravação de áudio. Ao todo, foram identificadas 77 espécies, pertencentes a 30 famílias e 9 ordens (Tabela 2).

Tabela 2: Lista de espécies identificadas neste estudo (total de 77).

ORDEM	FAMÍLIA	ESPÉCIE	URBANA	RURAL	UC
Apodiformes	Trochilidae	<i>Chrysuronia versicolor</i>	0	0	1
		<i>Stephanoxis loddigesii</i>	0	0	1
Columbiformes	Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	0	1	0
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis squamata</i>	1	0	0
	Odontophoridae	<i>Odontophorus capueira</i>	0	0	1
Gruiformes	Rallidae	<i>Aramides saracura</i>	1	1	0
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Habia rubica</i>	0	1	1
	Conopophagidae	<i>Conopophaga melanops</i>	0	1	1
	Corvidae	<i>Cyanocorax caeruleus</i>	1	0	0
	Cotingidae	<i>Carpornis cucullata</i>	0	1	1
	Dendrocolaptidae	<i>Dendrocolaptes platyrostris</i>	0	0	1
		<i>Sittasomus griseicapillus</i>	1	1	0
		<i>Xiphorhynchus fuscus</i>	0	1	1
	Formicariidae	<i>Chamaeza campanisona</i>	0	1	1
	Fringillidae	<i>Euphonia pectoralis</i>	0	1	0

	<i>Euphonia violacea</i>	0	1	0
Furnariidae	<i>Anabacerthia amaurotis</i>	0	0	1
	<i>Automolus leucophthalmus</i>	0	1	1
	<i>Dendroma rufa</i>	0	1	1
	<i>Furnarius rufus</i>	0	1	0
	<i>Philydor atricapillus</i>	0	1	0
Grallariidae	<i>Grallaria varia</i>	0	0	1
Parulidae	<i>Basileuterus culicivorus</i>	1	1	0
	<i>Myiothlypis leucoblephara</i>	0	0	1
	<i>Setophaga pitiayumi</i>	1	1	0
Pipridae	<i>Chiroxiphia caudata</i>	1	1	1
	<i>Illicura militaris</i>	0	0	1
Platyrinchidae	<i>Platyrinchus Mystaceus</i>	1	0	1
Poliptilidae	<i>Poliptila lactea</i>	0	1	0
Rhynchocyclidae	<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	1	0	0
	<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	1	0	1
Scleruridae	<i>Sclerurus scansor</i>	1	0	0
Thamnophilidae	<i>Batara cinerea</i>	0	1	1
	<i>Dysithamnus mentalis</i>	1	1	1

	<i>Herpsilochmus rufimarginatus</i>	1	0	0
	<i>Myrmoderus squamosus</i>	1	1	0
	<i>Myrmotherula unicolor</i>	0	1	0
	<i>Rhopias gularis</i>	0	1	1
Thraupidae	<i>Dacnis cayana</i>	1	1	1
	<i>Hemithraupis ruficapilla</i>	0	0	1
	<i>Saltator similis</i>	0	1	0
	<i>Sicalis flaveola</i>	0	1	0
	<i>Stilpnia preciosa</i>	1	1	1
	<i>Tachyphonus coronatus</i>	0	1	0
	<i>Tangara cyanocephala</i>	1	0	1
	<i>Tangara seledon</i>	1	1	0
	<i>Thraupis cyanoptera</i>	0	1	1
	<i>Thraupis palmarum</i>	0	1	0
	<i>Thraupis sayaca</i>	1	1	0
Tityridae	<i>Pachyramphus polychopterus</i>	0	0	1
	<i>Schiffornis virescens</i>	0	0	1
Turdidae	<i>Turdus albicollis</i>	1	1	1
	<i>Turdus flavipes</i>	0	1	1

		<i>Turdus rufiventris</i>	0	1	0
		<i>Turdus subalaris</i>	0	1	0
	Tyrannidae	<i>Attila phoenicurus</i>	0	1	1
		<i>Attila rufus</i>	0	1	0
		<i>Camptostoma obsoletum</i>	0	1	0
		<i>Lathrotriccus euleri</i>	0	1	0
		<i>Legatus leucophaeus</i>	0	1	0
		<i>Myiarchus swainsoni</i>	0	0	1
		<i>Myiodynastes maculatus</i>	0	1	0
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	1	0	0
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	1	0
	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	0	1
		<i>Hylophilus poicilotis</i>	0	1	1
		<i>Vireo chivi</i>	0	1	0
Piciformes	Picidae	<i>Celeus flavescens</i>	1	0	0
		<i>Picumnus temminckii</i>	0	1	0
		<i>Veniliornis spilogaster</i>	1	0	0
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Brotogeris tirica</i>	0	1	1
		<i>Psittacara leucophthalmus</i>	0	0	1

		<i>Pyrrhura frontalis</i>	1	1	1
		<i>Tricharia malachitacea</i>	0	0	1
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Crypturellus obsoletus</i>	1	1	1
		<i>Tinamus solitarius</i>	0	0	1
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon surrucura</i>	0	1	1
TOTAL			25	50	41

Na figura 4 estão ilustradas as curvas de acumulação de espécies geral e específica de cada Zona amostrada:

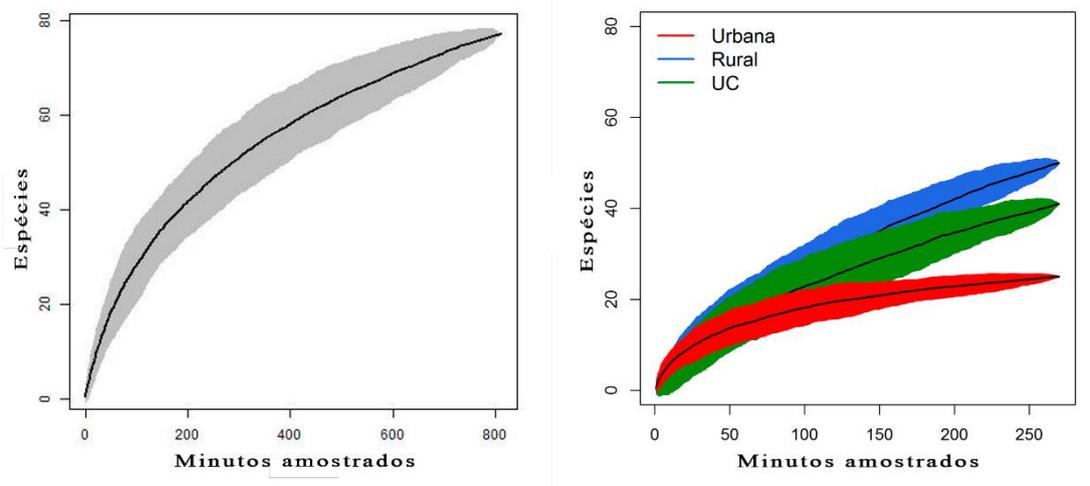


Figura 4: Curva de acumulação de espécies identificadas ao longo dos minutos analisados, Geral (esquerda) e específica de cada Zona (direita). Área preenchida representa intervalo de confiança (95%).

A riqueza média de aves vocalizando por minuto foi de $0,59 \pm 0,81$ espécies, considerando todos os 810 minutos. A Zona Urbana teve média de $0,96 \pm 0,85$, a Zona Rural $0,43 \pm 0,70$, e a Zona de UCs $0,39 \pm 0,74$ espécies por minuto. De acordo com o teste de *Shapiro-Wilk* a distribuição dos valores de riqueza por minuto não é normal ($W = 0,72$, $p < 0,001$). Os resultados de riqueza média diária estão ilustrados na Figura 5.

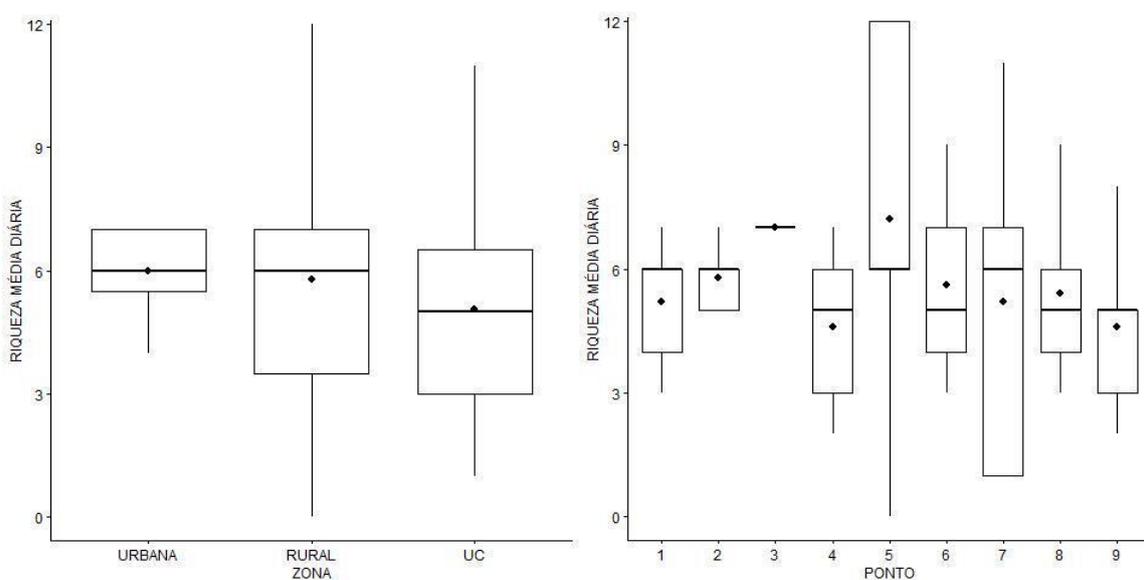
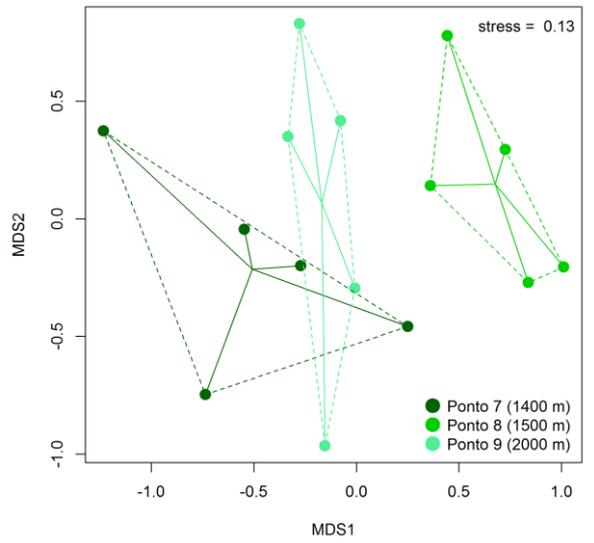
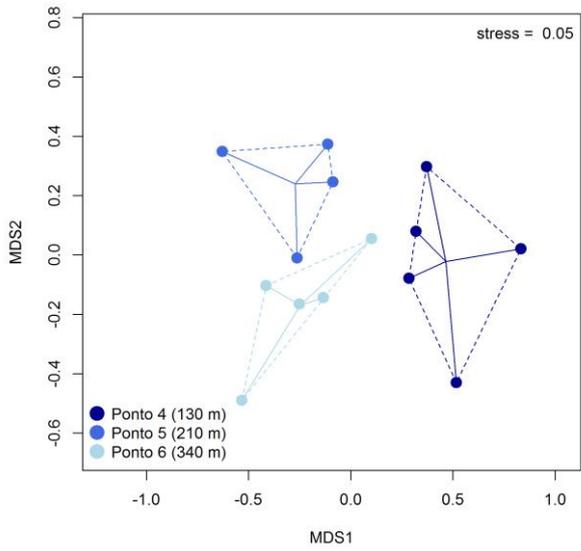
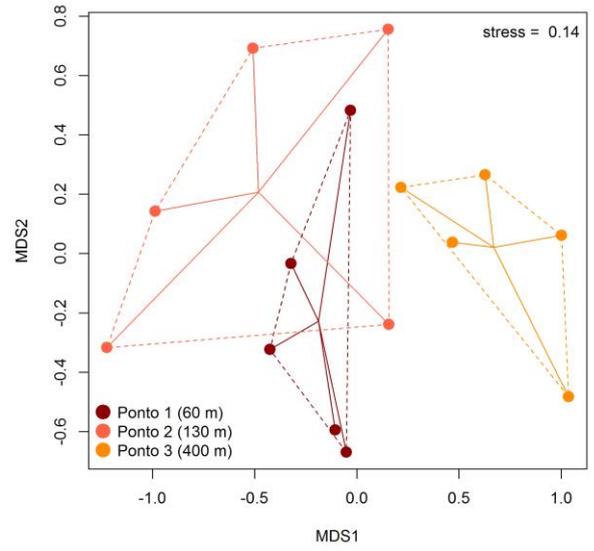
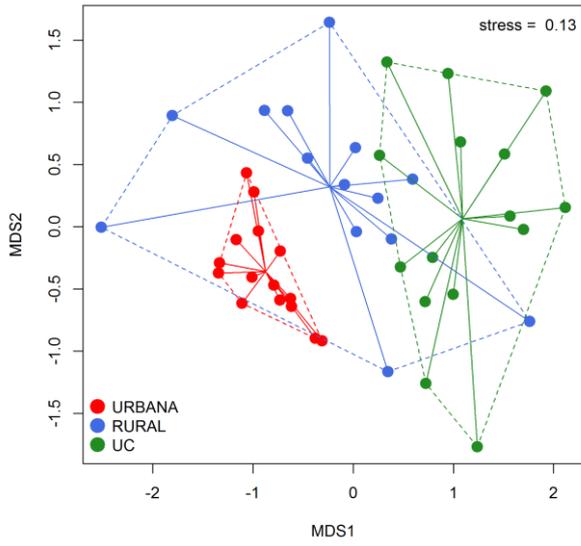


Figura 5: Gráficos boxplot da riqueza média diária em cada Zona (esquerda) e em cada Ponto (direita). Ponto indica a média dos valores de cada box.

As análises de PERMANOVA gerais e par-a-par possibilitaram detectar diferenças e comparar a composição da comunidade de aves vocalizando nas diferentes Zonas, e nos diferentes Pontos de cada Zona (Tabela 3).

Tabela 3: Resultados das análises de PERMANOVA entre todos os Pontos, entre os Pontos de cada Zona, e entre as 3 Zonas. Valores em negrito indicam diferença significativa.

Dados	Df	Sums Of Sqs	MeanSqs	F	R2	Pr(>F)
Todos os Pontos (1-9)	1	12,50	12,50	30,24	0,08	< 0,001
Urbana (1-3)	1	5,00	5,00	15,14	0,08	< 0,001
Rural (4-6)	1	2,23	2,23	4,91	0,05	< 0,001
UC (7-9)	1	0,76	0,76	1,67	0,02	< 0,05
Zonas (Urbana vs. Rural vs. UC)	2	14,59	7,30	17,86	0,09	< 0,001



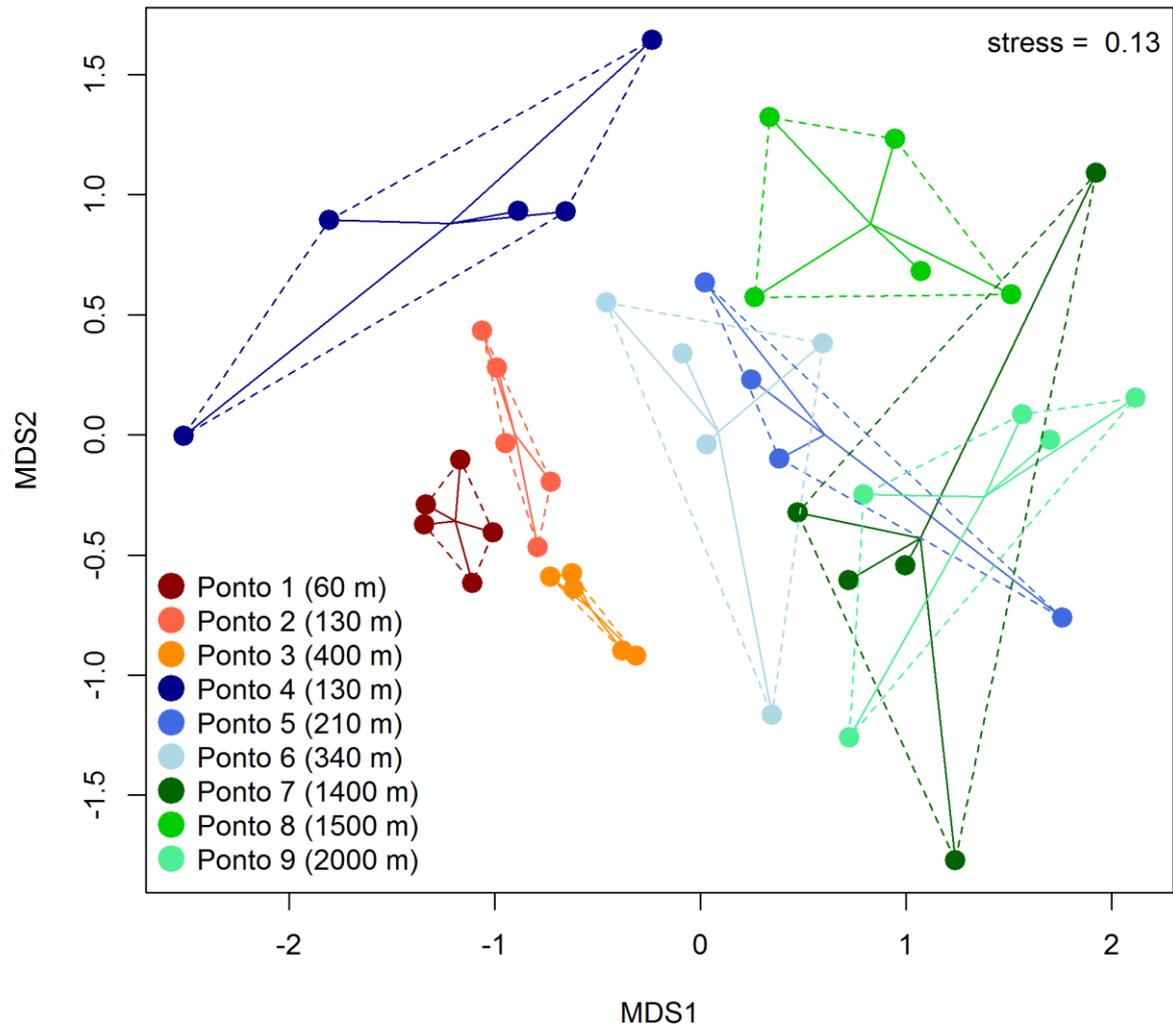


Figura 6: Gráficos de NMDS com dados de presença e ausência de espécies para cada dia amostrado, agrupando as diferentes Zonas (Urbana, Rural e UC) e os diferentes Pontos da Zona Urbana (1, 2 e 3), Rural (4, 5 e 6), e UC (7, 8 e 9), indicando na legenda a distância entre cada Ponto e a estrada mais próxima.

3.3 ÍNDICES ACÚSTICOS VS. RIQUEZA DE AVES

A Tabela 4 apresenta os resultados dos testes de correlação de Spearman entre os valores de cada um dos IAs e o valor da riqueza de aves (de maneira geral e de cada Zona) por minuto. Esse teste foi realizado de forma global e especificamente para cada uma das 3 Zonas.

Tabela 4: Resultado das análises de correlação entre a riqueza de aves identificada e o valor de cada IA por minuto amostrado, geral e dividido por Zona. Valores em negrito indicam diferença significativa.

IAS	Geral		Urbana		Rural		UC	
	rho	p-value	rho	p-value	rho	p-value	rho	p-value
ACI	-0,19	< 0.001	0,13	< 0,05	-0,08	0,216	-0,08	0,174
ADI	-0,27	< 0.001	-0,20	< 0.001	-0,06	0,292	-0,12	0,056
AEI	0,27	< 0.001	0,20	< 0.001	0,06	0,301	0,12	0,053
NDSI	-0,20	< 0.001	0,08	0,193	0,21	< 0.001	0,06	0,312
BI	0,16	< 0.001	0,26	< 0.001	0,30	< 0.001	0,17	< 0,01
H	-0,28	< 0.001	-0,14	< 0,05	0,08	0,166	-0,06	0,310

De acordo com as análises dos modelos GLMM, de forma geral o ACI ($p < 0,001$) e o BI ($p < 0,001$) foram os IAs que melhor explicaram a riqueza por minuto (variância do modelo = 0,153). Tanto para o GLMM da Zona Urbana quanto para Zona Rural o BI ($p < 0,01$) foi o IA que melhor explicou a riqueza por minuto (variância do modelo $< 0,001$). Em contrapartida no GLMM da Zona de UC o ACI ($p < 0,01$) foi o IA que melhor explicou a riqueza por minuto (variância do modelo $< 0,001$). As figuras 7 e 8 ilustram os resultados dos modelos.

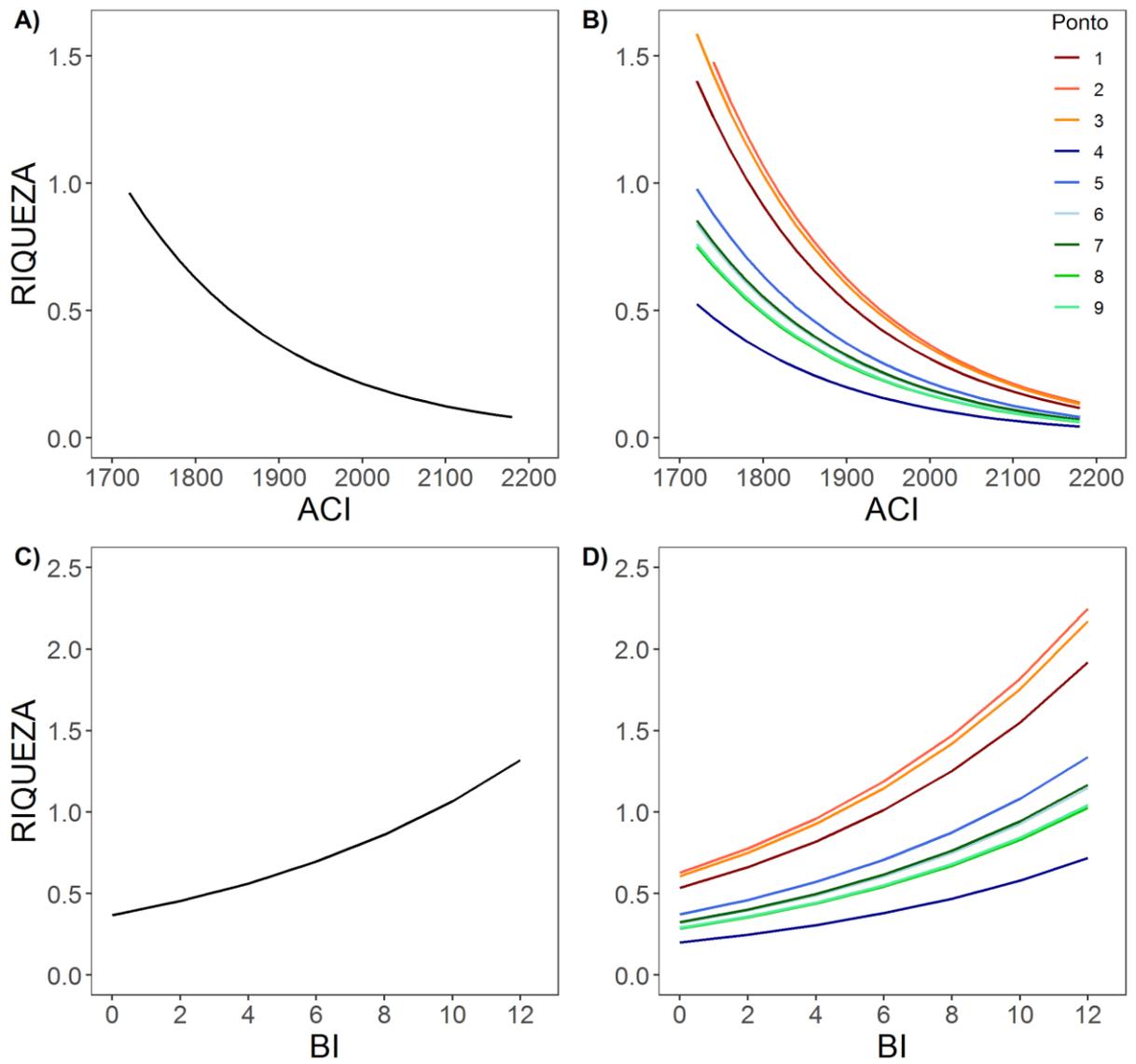


Figura 7: Representação gráfica dos resultados dos GLMM geral (N = 810 min), representando os IAs que melhor explicam a variação da riqueza por minuto (BI e ACI). Nos gráficos à esquerda (A e C) a representação da predição geral do resultado, e à direita (B e D) mostrando a variância do efeito aleatório de cada curva em relação a cada Ponto amostral.

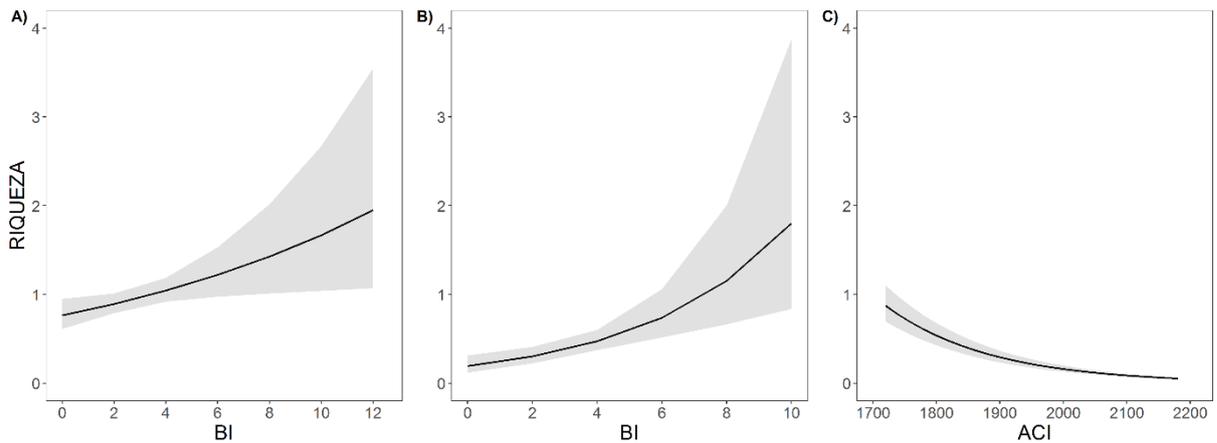


Figura 8: Representação gráfica dos resultados dos GLMM para cada uma das Zonas, representando o IA que melhor explica a variação da riqueza por minuto. A) Zona Urbana; B) Zona Rural; C) Zona de UC.

A Tabela 5 resume os resultados das análises de correlação de Spearman e dos GLMMs.

Tabela 5: Resumo dos resultados, representando os IAs que apresentaram correlação significativa com a riqueza (Spearman) e os IAs que melhor explicaram a riqueza (GLMM), tanto de forma geral de todas as Zonas quanto específica de cada Zona.

	GERAL	URBANA	RURAL	UC
SPEARMAN	TODOS	ACI, ADI, AEI, BI, H	NDSI, BI	BI
GLMM	ACI, BI	BI	BI	ACI

4 DISCUSSÃO

Com relação às paisagens sonoras, a Zona Urbana possui a menor diversidade acústica, e a Zona de UC isolada de estradas a maior diversidade acústica, como era esperado encontrar (*e.g.* SANGERMANO, 2022). Os valores do NDSI acusaram a maior diferença entre a paisagem Urbana e as outras, provavelmente pelo fato de agrupar de forma separada os sons entre 0 e 2 kHz (antropofonias) e os sons entre 2 e 8 kHz (biofonias), sendo neste caso o melhor índice para mensurar o distúrbio da paisagem sonora causado pela antropofonia. O gradiente entre as Zonas, e entre os Pontos com diferentes distâncias para a estrada está associado também ao gradiente nos valores dos IAs. O H indica claramente este gradiente da paisagem sonora com relação à Zona e à distância da estrada. Quanto ao BI é possível perceber na Zona Urbana um gradiente invertido ao esperado, com maiores valores quanto mais próximo da estrada está o Ponto amostral. Isso pode acontecer por uma necessidade de alteração no comportamento vocal das aves ali presentes para competir pelos nichos acústicos também ocupados pela antropofonia, aumentando sua atividade vocal ou até alterando os padrões de frequência das vocalizações (*e.g.* SLABBEKOORN & PEET, 2003; SLABBEKOORN & RIPMEESTER, 2008). Também pode ser resposta das próprias antropofonias causando um viés no cálculo, já que quanto mais próximo da estrada, maior o volume (dB) das antropofonias, lembrando que o BI se baseia no volume e quantidade dos sinais sonoros (BOELMAN *et al.*, 2007).

A utilização de UGAs pode ser tão ou mais eficiente do que a observação visual em ponto fixo para amostragem de aves, além de ser um método mais barato, especialmente para estudos de longa duração (ALQUEZAR & MACHADO, 2015; DARRAS *et al.*, 2019). Utilizando a tecnologia de *pattern matching* foi possível identificar 77 espécies de aves, sendo a Zona Rural com maior quantidade de espécies ($n = 50$) seguida da Zona de UC ($n = 41$) e da Zona Urbana com apenas 25. Tendo o menor número de espécies identificadas, a Zona Urbana é a que chegou mais próxima da estabilização da curva de acumulação de espécies, enquanto as outras Zonas precisam de um número de amostras superior para apresentar um valor mais aproximado do número real de espécies ali presentes. Já era esperado encontrar uma riqueza de espécies menor na Zona Urbana em função da degradação de habitat e da paisagem sonora (*e.g.* FRANCIS *et al.*, 2009).

Mesmo com o menor número de espécies no total, a Zona Urbana teve uma riqueza por minuto e também diária superior às Zonas Rural e de UC. Isso pode significar que as poucas espécies presentes na Zona Urbana são mais ativas vocalmente do que os indivíduos das

espécies presentes nas Zonas Rural e de UC. Isso provavelmente ocorre em função de uma abundância maior de indivíduos das poucas espécies presentes, já que graus elevados de antropofonia causam redução na riqueza da comunidade nidificadora, porém aumento do sucesso reprodutivo, em função da remoção de predadores (FRANCIS *et al.*, 2009).

A riqueza média de aves por minuto encontrada no presente estudo foi bem baixa se comparada ao trabalho de De Araújo e colaboradores (2021), que encontraram em torno de 4 espécies por minuto no período entre as 6h e as 9h da manhã, com dados coletados no Parque Nacional do Iguaçu. Essa diferença pode ser real entre os ambientes (por mais que sejam ambientes semelhantes no sul do Brasil), porém essa diferença também pode estar associada a uma questão metodológica entre os trabalhos. As amostragens foram realizadas com gravadores de diferentes qualidades (eles utilizaram gravadores SM4), e a identificação das vocalizações foi realizada de forma totalmente manual no trabalho deles (um único especialista que ouviu todos os 720 minutos).

Neste ponto é importante ressaltar alguns prós e contras da metodologia utilizada. A escolha da duração de 1 minuto para cada amostra teve como principal vantagem obter, para uma mesma gravação de um minuto, um valor para riqueza de aves e um valor para cada um dos IAs, possibilitando a análise de correlação entre a riqueza e IAs de forma direta. A desvantagem é ter muitas amostras com valor 0 para riqueza, e pouca amplitude de variação (máximo 4 espécies em um minuto), tornando mais difícil a comparação entre diferentes áreas de estudo. De certa forma esses valores de riqueza por minuto representam melhor uma questão de atividade vocal da comunidade de aves do que diretamente uma relação com a diversidade de aves da comunidade. Porém esse problema também foi rapidamente contornado com a união de todos os minutos de cada dia em uma linha por dia, gerando uma nova unidade amostral de tempo com os mesmos dados coletados.

A composição das comunidades entre a Zona Urbana e a de UC foi a mais distinta. A Zona Rural possui uma comunidade que ainda preserva uma parte da comunidade da Zona de UC, mas também engloba toda a comunidade de Zona Urbana. Isso demonstra que por mais que a Zona Rural possua o maior número de espécies, grande parte dessas espécies não faziam parte da comunidade original do ambiente preservado, mas foram agregadas à comunidade posteriormente em função do sinantropismo. Esse efeito corrobora com a hipótese do distúrbio intermediário de Connell (1978) de que a riqueza de espécies em um ecossistema pode ser

maximizada em um nível intermediário de distúrbio, uma vez que o aumento do distúrbio pode levar à diminuição da diversidade devido à exclusão competitiva, enquanto a redução do distúrbio pode permitir a dominação de uma ou algumas espécies competitivas. Também corrobora com a hipótese de MACARTHUR & MACARTHUR (1961) de que quanto mais heterogêneo o habitat, maior a riqueza de aves (GOETZ *et al.*, 2007; SULTANA *et al.*, 2021).

Dentro da Zona Urbana, também houve diferença significativa entre a composição das comunidades dos 3 Pontos amostrados, provavelmente em função das diferentes distâncias entre os Pontos e a estrada. Embora o Ponto 3 tenha um menor valor de BI, representando uma baixa riqueza por minuto, ele teve a maior riqueza diária dos Pontos da Zona Urbana, e pelos gráficos de nMDS foi possível perceber que a composição da comunidade deste Ponto mais isolado difere completamente das comunidades dos outros 2 Pontos urbanos mais próximos à estrada. Isso pode significar que a distância desse Ponto para a estrada mais próxima (400 m) já seja suficiente para evitar os efeitos de borda que alteram a estrutura da comunidade vocal de aves. Não existe um consenso do quão distanciado da borda um habitat precisa estar para não sofrer mais dos efeitos de borda (MURCIA, 1995), até porque isso depende muito do ambiente e do tipo de borda, mas alguns estudos em áreas semelhantes às deste presente estudo falam de algumas centenas de metros para o isolamento dos efeitos de borda nas aves (LAURANCE, 2000; ZURITA *et al.*, 2012)

Na Zona Rural o Ponto 5 teve claramente a maior riqueza de aves, mesmo sendo o Ponto com distância intermediária à estrada mais próxima. Por mais que esse resultado da riqueza mais alta neste Ponto tenha sido inesperado, a partir da análise da paisagem sonora foi possível entender esse resultado. A paisagem sonora deste Ponto apresentou menor influência de antropofonias que o Ponto 6 (mais distante da estrada), evidenciado pelos resultados do NDSI. Possivelmente isso ocorreu porque a estrada próxima ao Ponto 5 não possuía um tráfego de veículos tão intenso, causando um impacto inferior à paisagem sonora e, conseqüentemente, à estrutura da comunidade de aves.

Na Zona de UC as diferenças entre os Pontos foram muito menores, tanto em relação às paisagens sonoras quanto em relação à riqueza de aves por minuto e diária. Isso porque os Pontos sofreram influência mínima de antropofonias, estavam a pelo menos 1400 m de qualquer zona de borda e não representaram um gradiente antropofônico, diferentemente dos Pontos da

zona Urbana e Rural que configuraram gradientes na faixa de 60 m a 400 m de distância de bordas adjacentes a estradas, resultando em gradientes nítidos do grau de antropofonia.

Com relação às análises entre a riqueza de aves *vs.* IAs, de forma geral (com os dados de todas as Zonas agrupados) todos os IAs tiveram correlação com a riqueza de aves, porém analisando de forma específica para cada Zona o BI foi o único a possuir correlação com a riqueza de aves por minuto em todas as Zonas. A partir da análise dos GLMM foi possível perceber que o BI realmente explicou melhor a riqueza de aves em paisagens sonoras afetadas por algum grau de antropofonia, porém na Zona de UC isolada de quaisquer antropofonias o IA que melhor explicou as variações na riqueza de aves foi o ACI, e o BI não explicou. O fato de o ACI ter correlação negativa com a riqueza de aves foi inesperado (Tabela 4; Figuras 7 e 8), pois este índice foi desenvolvido para medir variações abruptas repentinas de sinais sonoros com relação à intensidade, visando medir justamente a atividade vocal da comunidade de aves, esperando que haja correlação positiva com a riqueza de aves (PIERETTI *et al.*, 2011). Essa correlação negativa inesperada já foi evidenciada com relação ao ACI e a riqueza de aves em pastagens (*e.g.* SHAMON *et al.*, 2021) e que a possibilidade seja em virtude da alta sobreposição entre os cantos das aves, do tipo de cantos típicos deste habitat (menos complexos), e do baixo número de espécies, com a presença de uma dominante.

Fairbrass e colaboradores (2017) testaram o ACI, ADI, BI e NDSI em Zonas Urbanas, e encontraram que nenhum deles correlacionou com a diversidade biótica, e apenas o ACI foi correlacionado com a atividade biótica, porém também teve correlação com o grau de antropofonia. O estudo de Jorge e colaboradores (2018), realizado também na MAB, porém no sul da Bahia, encontrou correlação significativa entre 5 dos 6 IAs com a riqueza de aves, excluindo apenas o H. Machado e colaboradores (2017) testaram o ADI e NDSI em relação à riqueza e composição de espécies de aves na região central do Brasil, onde o ADI foi significativamente associado à riqueza de aves. Eles também perceberam que o NDSI mediu valores menores quanto mais próximos os pontos amostrados das estradas (N = 30), assim como encontrado nesta presente pesquisa. Rajan e colaboradores (2019) encontraram correlação entre a diversidade de aves e o ACI, ADI, AEI, BI e NDSI, e eles também encontraram associação entre valores inferiores do NDSI e atividades humanas, assim como valores mais baixos de BI associados a populações inferiores de aves. Eldridge e colaboradores (2018) reforçam que IAs (BI, ADI, AEI, H e NDSI) podem prever a riqueza de aves em ambientes temperados, mas não em ambientes tropicais, pois possuem diversas espécies vocalizando além das aves.

Mammides e colaboradores (2017) encontraram correlação entre IAs (ADI, AEI e H) e a riqueza de aves.

Foi possível perceber algumas falhas ao se utilizar o método de *pattern matching*, como a impossibilidade de detectar em Zonas Urbanas próximas a estradas vocalizações abaixo da faixa de 2 kHz (como a de alguns columbídeos), pois são mascaradas pelo barulho de motores, buzinas e outras antropofonias. Um dos pontos mais positivos desse mecanismo é que, possuindo um banco completo de *templates* das vocalizações das aves locais, alguém com pouco conhecimento local das vocalizações das espécies consegue realizar o levantamento e identificação das aves. Independentemente, mostrou-se um ponto positivo de agilidade no processamento de dados. Outro ponto positivo desta tecnologia é a capacidade de aprendizado dos algoritmos, quanto mais se utiliza esse mecanismo de validação, mais o próprio algoritmo aprende e melhora sua acurácia no reconhecimento dos padrões (*e.g.* LEBIEN *et al.*, 2020).

O monitoramento da paisagem sonora e da biodiversidade da MAB é fundamental para o entendimento do nível de ameaça causado por pressões antrópicas, possibilitando o planejamento de estratégias eficientes de conservação e de mitigação do impacto. A UCAD é uma ótima área de pesquisa para testar o efeito da poluição sonora na biodiversidade, e também para testar estratégias de mitigação desse impacto, pela facilidade de acesso e por ser propriedade da Universidade Federal de Santa Catarina. Métodos de mitigação de antropofonias (como a implementação de eco barreiras acústicas) poderiam ser testados na UCAD, o que seria interessante tanto para pesquisas quanto para conscientização no âmbito da conservação ambiental, já que seria a primeira UC da MAB com estratégias de mitigação de antropofonia, lembrando que quase metade da área da MAB está a menos de 100 metros de qualquer borda com outro ambiente e sofre com os impactos das antropofonias.

5 CONCLUSÃO

Este estudo integrou conceitos e conhecimentos já consolidados nas bibliografias com técnicas e metodologias novas, ainda em fase de testes e ajustes. Relacionado ao futuro do monitoramento de ecossistemas, este estudo traz informação sobre como podemos utilizar a tecnologia já disponível para facilitar e diminuir custos e esforços no estudo ecológico de larga escala, tanto espacial quanto temporal.

A partir dos resultados desse trabalho, aliado com o conhecimento prévio de diversos outros estudos, conseguimos entender que aspectos físicos da paisagem sonora devem ser considerados como parâmetros que, assim como temperatura, altitude, luminosidade e etc., podem influenciar na composição e estrutura das comunidades, e podem ser indicativos de biodiversidade, assim como também de atividades humanas. Os IAs abrangem diferentes aspectos mensuráveis da paisagem sonora para produzir valores numéricos únicos e comparáveis para cada arquivo de áudio. Cada índice tem sua peculiaridade na forma de calcular esse valor, e eles podem se complementar. O IA que mais evidencia a riqueza de aves neste estudo é o BI, especialmente em paisagens sonoras influenciadas por antropofonias. Para indicação de grau de antropofonia, o NDSI é o mais adequado dentre os seis IAs testados. Independentemente, fica nítido a importância de utilizar sempre múltiplos índices para poder compará-los com aspectos ecológicos, e é necessário sempre testar essas relações pois as características de cada ambiente influenciam na eficiência dos IAs como indicativos de padrões da estrutura de comunidades.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDE, T. M. *et al.* Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. PeerJ 1, e103, 2013.

ALCOCK, J. Comportamento animal: uma abordagem evolutiva. Artmed editora, 591 p, 2011.

ALQUEZAR, R. D.; MACHADO, R. B. Comparisons between autonomous acoustic recordings and avian point counts in open woodland savanna. The Wilson Journal of Ornithology, v. 127, n. 4, p. 712-723, 2015.

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology, v. 26, p. 32-46, 2001.

ATHIÊ, S. A observação de aves e o turismo ecológico. Biotemas, v. 20, n. 4, p. 127-129, 2007.

BECKER, C. G. *et al.* Habitat split and the global decline of amphibians. Science, v. 318, n. 5857, p. 1775-1777, 2007.

BOELMAN, N. T. *et al.* Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. Ecological Applications, v. 17, n. 8, p. 2137-2144, 2007.

BRADFER-LAWRENCE, T. *et al.* Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research. Methods in Ecology and Evolution, v. 10, n. 10, p. 1796-1807, 2019.

BROOKS, M. E. *et al.* glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. The R Journal, v. 9, n.2, p. 378-400, 2017.

DARRAS, K. *et al.* Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. Ecological Applications, v. 29, n. 6, p. e01954, 2019.

DE ARAÚJO, C. B. *et al.* The optimal listening period for an effective assessment of bird richness and composition: a case study of Neotropical forest. Journal of Ornithology, v. 162, n. 1, p. 303-306, 2021.

DUNN, K. P.; SMYTH, G. K. Randomized quantile residuals. Journal of Computational and Graphical Statistics, v. 5, p. 1-10, 1996.

ELDRIDGE, A. *et al.* Sounding out ecoacoustic metrics: Avian species richness is predicted by acoustic indices in temperate but not tropical habitats. *Ecological Indicators*, v. 95, p. 939-952, 2018.

FAIRBRASS, A. J. *et al.* Biases of acoustic indices measuring biodiversity in urban areas. *Ecological Indicators*, v. 83, n. 1, p. 169-177, 2017.

FARINA, A. *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer Science & Business Media, 315 p., 2013.

FARINA, A.; GAGE, S. H. *Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound*. John Wiley & Sons, 336 p., 2017.

FRANCIS, C. D. *et al.* Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current biology*, v. 19, n. 16, p. 1415-1419, 2009.

FULLER, R. A. *et al.* Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology letters*, v. 3, n. 4, p. 368-370, 2007.

GARCIA, L. T. *Análise de tráfego estudo de caso da BR-282 no trecho da via expressa da grande Florianópolis*. MBA Gestão de Obras e Projetos-Florianópolis, 2018.

GELMAN, A.; HILL, J. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press, 2006.

GINI, C. *Variabilità e mutabilità*. Reprinted in *Memorie di metodologica statistica*, Ed. Pizetti E., 1912.

GOETZ, S. *et al.* Laser remote sensing of canopy habitat heterogeneity as a predictor of bird species richness in an eastern temperate forest, USA. *Remote Sensing of Environment*, v. 108, n. 3, p. 254-263, 2007.

HARTIG, F. *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models*. R package version 0.4.1. 2021. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.

HEIBERGER, R. M.; HOLLAND, B. *Statistical Analysis and Data Display: An Intermediate Course with Examples in S-Plus, R, and SAS*. New York: Springer-Verlag. 2004.

- HILL, A. P. *et al.* AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 9, p. 1199–1211, 2018.
- HILL, A. P. *et al.* AudioMoth: A lowcost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX* 6, 2019.
- HU, Y.; CARDOSO, G. C. Which birds adjust the frequency of vocalizations in urban noise? *Animal Behaviour*, v. 79, n. 4, p. 863-867, 2010.
- JORGE, F. C. *et al.* The effectiveness of acoustic indices for forest monitoring in Atlantic rainforest fragments. *Ecological Indicators*, v. 91, p. 71-76, 2018.
- KASTEN, E. P. *et al.* The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology. *Ecological Informatics*, v. 12, p. 50-67, 2012.
- KLEYN, T. *et al.* Sharing sound: Avian acoustic niches in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, v. 53, n. 2, p. 658-670, 2021.
- LANZER, M. Efeitos do ruído de tráfego de veículos motorizados sobre aves que habitam um fragmento florestal urbano em Curitiba. 2007. 22 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.
- LAURANCE, W. F. Do edge effects occur over large spatial scales?. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 15, n. 4, p. 134-135, 2000.
- LEBIEN, J. *et al.* A pipeline for identification of bird and frog species in tropical soundscape recordings using a convolutional neural network. *Ecological Informatics*, v. 59, p. 101113, 2020.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 3 ed. UK: Elsevier, 990 p., 2012
- LIGGES, U. *et al.* Package ‘tuneR’. 2018.
- LÜDEEKE, D. ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software*, v. 3, n. 26, p. 772, 2018.
- MACARTHUR, R. H.; MACARTHUR, J. W. On bird species diversity. *Ecology*, v. 42, n. 3, p. 594-598, 1961.

- MACHADO, R. B. *et al.* Do acoustic indices reflect the characteristics of bird communities in the savannas of Central Brazil?. *Landscape and Urban Planning*, v. 162, p. 36-43, 2017.
- MAMMIDES, C. *et al.* Do acoustic indices correlate with bird diversity? Insights from two biodiverse regions in Yunnan Province, south China. *Ecological Indicators*, v. 82, p. 470-477, 2017.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in ecology & evolution*, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.
- OLIVEIRA, M. A. *et al.* Forest edge in the Brazilian Atlantic forest: drastic changes in tree species assemblages. *Oryx*, v. 38, n. 4, p. 389-394, 2004.
- PARDINI, R. Effects of forest fragmentation on small mammals in an Atlantic Forest landscape. *Biodiversity & Conservation*, v. 13, n. 13, p. 2567-2586, 2004.
- PÉREZ-GRANADOS, C. *et al.* Vocal activity rate index: a useful method to infer terrestrial bird abundance with acoustic monitoring. *Ibis*, v. 161, n. 4, p. 901-907, 2019.
- PIERETTI, N. *et al.* A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the acoustic complexity index (ACI). *Ecological Indicators*, v. 11, n. 3, p. 868-873, 2011.
- PIJANOWSKI, B. C. *et al.* What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, v. 26, n. 9, p. 1213-1232, 2011.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2022.
- RAJAN, S. C. *et al.* Rapid assessment of biodiversity using acoustic indices. *Biodiversity and Conservation*, v. 28, n. 8, p. 2371-2383, 2019.
- RHEINDT, F. E. The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal für Ornithologie*, v. 144, n. 3, p. 295-306, 2003.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

ROOS, A. L. Influência de fatores ambientais, geográficos e bióticos sobre a diversidade e composição de metacomunidades de aves na porção sul da mata atlântica. 2021. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SANGERMANO, F. Acoustic diversity of forested landscapes: Relationships to habitat structure and anthropogenic pressure. *Landscape and Urban Planning*, v. 226, p. 104508, 2022.

SHAMON, H. *et al.* Using ecoacoustics metrics to track grassland bird richness across landscape gradients. *Ecological Indicators*, v. 120, p. 106928, 2021.

SLABBEKOORN, H. Animal Communication: Competition for Acoustic Space in Birds and Fish. *Biocommunication*, v. 1, n. 1, p. 327-363, 2017.

SLABBEKOORN, H.; PEET, M. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, v. 424, n. 6946, p. 267, 2003.

SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. P. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular ecology*, v. 17, n. 1, p. 72-83, 2008.

STEVENS, S. M.; HUSBAND, T. P. The influence of edge on small mammals: evidence from Brazilian Atlantic forest fragments. *Biological Conservation*, v. 85, n. 1-2, p. 1-8, 1998.

SUEUR, J. *et al.* Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLOS ONE*, v. 3, n. 12, p. e4065, 2008.

SUEUR, J. *et al.* Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 100, n. 4, p. 772-781, 2014.

SULTANA, M. *et al.* The interaction of imperviousness and habitat heterogeneity drives bird richness patterns in south Asian cities. *Urban Ecosystems*, v. 24, n. 2, p. 335-344, 2021.

TIEPO, E. N. *et al.* Colonização de bromélias epifíticas em três estádios sucessionais florestais na Unidade de Conservação Ambiental Desterro, Ilha de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VILLANUEVA-RIVERA, L.J. *et al.* A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, v. 26, n. 9, p. 1233-1246, 2011.

VILLANUEVA-RIVERA, L. J.; PIJANOWSKI, B. C. Package 'soundecology'. R package version, v. 1, n. 3, p. 3, 2014.

ZAR, J.H. *Biostatistical Analysis*. 5 ed. Prentice Hall, 2009

ZURITA, G. A. *et al.* Edge effects and their influence on habitat suitability calculations: a continuous approach applied to birds of the Atlantic forest. *Journal of Applied Ecology*, v. 49, n. 2, p. 503-512, 2012.

ZUUR, A. F. *et al.* *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York. 2009.