UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

PATRÍCIA PALUDO

ENTRE ASSOBIOS E PAISAGENS: O AMBIENTE NA COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO DO CANTO EM PASSERIFORMES

PORTO ALEGRE

2026

PATRÍCIA PALUDO

ENTRE ASSOBIOS E PAISAGENS: O AMBIENTE NA COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO DO CANTO EM PASSERIFORMES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Biologia Animal
Área de concentração: Biologia Animal
Linha de pesquisa: Ecologia e História Natural
Orientadora: Prof. Dra. Maria João Ramos Pereira

PORTO ALEGRE
2026

CIP - Catalogação na Publicação

Paludo, Patrícia
Entre assobios e paisagens: o ambiente na compreensão da evolução do canto em passeriformes / Patrícia Paludo. -- 2026.
234 f.
Orientadora: Maria João Ramos Pereira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Porto Alegre, BR-RS, 2026.

1. Ornitologia. 2. Bioacústica. 3. Macroevolução. 4. Biogeografia. I. Ramos Pereira, Maria João, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PATRÍCIA PALUDO

ENTRE ASSOBIOS E PAISAGENS: O AMBIENTE NA COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO DO CANTO EM PASSERIFORMES

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Biologia Animal
Orientadora: Prof. Dra. Maria João Ramos Pereira

Prof. Dra. Maria João Ramos Pereira - *orientadora*

Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (UFRGS)

Dra. Luisa Maria Diele-Viegas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, aplicação e valores (UFBA)

Prof. Dr. André de Camargo Guaraldo

Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (UFPR)

Profa. Dra. Camila Chiamenti Both

Departamento Interdisciplinar/ Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos - Ceclimar (UFRGS)

Aos meus afetos, às cientistas que vieram antes de mim, às que virão depois e a todas as pessoas que se deixam arrebatar pelos sons da natureza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o incentivo para que eu me tornasse cientista ao longo desses anos. Desde um sorriso empolgado me acompanhando ao campo até as diversas mensagens perguntando: “que bicho é esse?”. Agradeço imensamente à minha mãe, Regina; ao meu pai, Romi; à minha doce irmã e minha melhor amiga, Gabi; e ao meu querido sobrinho, Breno. Além disso, há também a família que surge da ampliação dos vínculos: Carmen, Lauro, Ana, Eduardo, Júlio, Tere e Alejandro. À minha cunhada Ângela, um dos meus exemplos de cientista, e ao meu querido cunhado João. E à Raquel, uma das pessoas mais afetuosas, que sempre trazia perguntas genuinamente interessadas sobre o som das aves.

Ao meu companheiro, Mateus, que, ao longo de mais de uma década, acompanhou meu amadurecimento acadêmico e sempre me deu suporte nas decisões da vida. Com seu afeto, ludicidade e segurança, sempre estive amparada nos momentos mais difíceis da pesquisa, aqueles em que sempre temos dúvidas sobre permanecer. Agradeço a ele também por ter me ajudado a construir uma relação saudável com o trabalho e a ter uma vida cheia de vida fora da pesquisa. A ti, o meu muito obrigada, meu amor.

À minha orientadora, Maria João, por permitir que minhas ideias sempre voassem e por ter me guiado ao longo desse processo, desde a graduação. Uma relação longa e cheia de aprendizagens, que sempre me fará olhar para esse momento com muito carinho.

Às minhas colegas e amigas, que sempre estiveram comigo, dentro ou fora do ambiente acadêmico, curiosas pelo que eu fazia e sempre querendo saber mais. Sempre me apoiaram, me ajudaram e estiveram comigo, nem que fosse para pausar o trabalho e tomar um cafezinho: Erika, Elise, Heitor, Sabrina, Rafaela, Rafael, Jean, Ana, Tarine, Gabriela, Gabriel, Luisa, Orlando e muitas outras pessoas que certamente devo estar esquecendo, mas não por falta de carinho.

Ao BimaLab e a todas as minhas colegas do grupo de pesquisa. Estou desde 2018, e muitas pessoas já entraram e saíram nesse período. Lembrarei sempre com carinho das festas de São João, reuniões, portas abertas, cafezinhos depois do almoço, atividades de campo e de qualquer motivo para estarmos em companhia.

A Rede Ornitomulheres que incentiva e estimula mulheres nas ciências e na observação de aves. Criando não só uma rede de apoio, mas tem de colaboração, necessária em um cenário tão excludente.

Às membras e ao membro da banca, Luisa Diele-Viegas, André Guaraldo e Camila Botth. Obrigada por aceitarem o convite para avaliar este trabalho. Agradeço, desde já, as considerações e sugestões que trarão à leitura e à discussão do texto.

Agradeço imensamente a todas as colaboradoras e colaboradores dos capítulos da tese pelo trabalho em equipe e por fazerem com que esta tese tenha hoje esse formato.

Ao PPGBAN, que sempre facilitou minha vida acadêmica. E um agradecimento especial ao Lucas, da secretaria, por sempre se fazer presente.

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

É o tempo em eterna dança
Que nos empurra pra diante
E a saudade mais distante
Volta a queimar na lembrança

O lindo capim mimoso
Prossegue o rodízio eterno
De se queimar no inverno
Pra renascer mais viçoso

No ciclo maravilhoso
Da tábua das estações
Peixes pulam nos lagões
E os pássaros payadores
Misturam trinos e cores
Entre as crinas dos capões

Parece que se desata
O toque dos elementos
Trazendo na voz dos ventos
Um eco de serenata

Até a chilena de prata
Retine mais patacuera
Na melodia campeira
Que se faz cancha no espaço
Como marcando o compasso
Junto ao sabiá-laranjeira

Há tanta autenticidade
Nas vozes da natureza
Que resumem a beleza
Da própria simplicidade

Payada Das Primaveras de Jayme Caetano Braun



Silbando cantan los pájaros
Yo canto ansina, también
Naides sabe lo que dicen
Ellos lo deben saber
¿Pa qué preciso palabras!
Nada tengo que decir…
Se piensa mejor silbando
Las aves piensan ansí
Se me hace que las ideas
Con las palabras, se van
En di silbido, parece
Que se alargan, nada más
Mesmo sin pensar en nada
Las horas. . . puedo silbar.

Silbando de Romildo Risso

SUMÁRIO

ABSTRACT 3

RESUMEN 5

Tecendo uma tese 7

O tornar-ser cientista 7

As aves e sua linguagem 13

Como extrair o som das aves 23

O habitar das aves 26

O som no espaço e no tempo 32

Rematar uma tese 35

Literatura citada 40

CAPÍTULO 1 53

Bibliographic References ..... **Erro! Indicador não definido.**

CAPÍTULO 2 60

BLIOGRAPHIC REFERENCES ..... **Erro! Indicador não definido.**

CAPÍTULO 3 68

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES 69

CAPÍTULO 4 75

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES 76

CONSIDERAÇÕES FINAIS 83

Dos assobios à paisagem 83

Perspectivas futuras 84

Para além da tese 85

Anexo I 87

RESUMO

A bioacústica tem se consolidado como uma ferramenta essencial para compreender processos ecológicos, evolutivos e comportamentais das aves, especialmente em regiões megadiversas como o Neotrópico. Na tese investiguei a diversidade acústica das aves sob perspectivas conceituais, metodológicas e macroevolutivas, buscando compreender como sinais sonoros podem ser descritos, padronizados e interpretados à luz da história evolutiva e das pressões seletivas do ambiente.

Inicialmente, propusemos uma abordagem conceitual para descrição da estrutura sintática dos sons das aves, motivada pela necessidade de aprofundar a caracterização dos sinais acústicos além de classificações simplificadas. A partir de um diálogo com a literatura de bioacústica aplicada a outros vertebrados, desenvolvemos uma proposta baseada em elementos acústicos voltada à padronização das descrições, à facilitação da comunicação entre estudos e à geração de inferências preliminares sobre repertórios vocais e variações geográficas, equilibrando rigor técnico e aplicabilidade analítica.

Em seguida, desenvolvemos e testamos um protocolo padronizado para análise bioacústica utilizando a família Icteridae como modelo. Com base em registros do Xeno-canto, aplicamos amostragem estratificada, critérios de qualidade e extração padronizada de parâmetros temporais e espectrais. Análises multivariadas e de suficiência amostral demonstraram que o espaço acústico dos Icteridae é estruturado principalmente por gradientes de duração e frequência, além de evidenciar limitações recorrentes em bibliotecas sonoras, como vieses geográficos, heterogeneidade dos registros e insuficiência amostral, reforçando a necessidade de protocolos reprodutíveis.

Também investigamos os processos históricos responsáveis pela diversificação espacial de Emberizoidea no Neotrópico, integrando uma filogenia abrangente de 738 espécies a mais de 239 milhões de registros de ocorrência. A comparação entre esquemas de regionalização e modelos biogeográficos favoreceu o modelo BAYAREALIKE+J com o traço migratório, indicando forte influência da dispersão. Os resultados sugerem origem neártica para Parulidae, Passerellidae e Cardinalidae, enquanto Icteridae e Thraupidae apresentaram prováveis origens caribenha e amazônica, respectivamente.

Além disso, o comportamento migratório influenciou as probabilidades de transição entre áreas e a reconstrução de distribuições ancestrais.

Por fim, avaliamos a evolução dos sinais acústicos dos Icteridae à luz da hipótese da adaptação acústica (AAH). Observamos ausência generalizada de sinal filogenético, sugerindo elevada labilidade evolutiva. A estrutura do habitat influenciou parte dos traços acústicos, com espécies de ambientes abertos apresentando sinais mais curtos e maior entropia do que espécies florestais, enquanto a história de ocupação ambiental esteve associada a variações espectrais. O predomínio do modelo Ornstein-Uhlenbeck indica evolução sob seleção estabilizadora, sugerindo que a comunicação acústica resulta da interação entre ambiente, persistência histórica nos habitats e plasticidade comportamental.

Em conjunto, esta tese contribui para o avanço da bioacústica ornitológica ao integrar abordagens conceituais, metodológicas e macroevolutivas, ampliando a compreensão sobre como sinais acústicos são estruturados, diversificados e moldados por processos históricos e ambientais. Os resultados reforçam o potencial de dados acústicos padronizados para investigar padrões ecológicos e evolutivos em escalas amplas, tendo potencial de aplicação para diversos grupos taxonômicos, além de ampliar o conhecimento sobre as aves.

Em conjunto, esta tese contribui para o avanço da bioacústica ornitológica ao integrar abordagens conceituais, metodológicas e macroevolutivas, ampliando a compreensão sobre como sinais acústicos são estruturados, diversificados e moldados por processos históricos e ambientais. Os resultados demonstram o valor de abordagens bioacústicas padronizadas para investigar padrões ecológicos e evolutivos em múltiplas escalas, com aplicações potenciais a diferentes grupos taxonômicos e implicações para o entendimento da diversidade das aves.

ABSTRACT

Bioacoustics has become an essential tool for understanding ecological, evolutionary, and behavioral processes in birds, especially in megadiverse regions such as the Neotropics. In this thesis, I investigated avian acoustic diversity from conceptual, methodological, and macroevolutionary perspectives, aiming to understand how sound signals can be described, standardized, and interpreted in light of evolutionary history and environmental selective pressures.

Initially, we proposed a conceptual approach to describe the syntactic structure of bird sounds, motivated by the need to deepen the characterization of acoustic signals beyond simplified classifications. Through dialogue with the bioacoustic literature applied to other vertebrates, we developed a proposal based on acoustic elements aimed at standardizing descriptions, facilitating communication among studies, and generating preliminary inferences about vocal repertoires and geographic variation, while balancing technical rigor and analytical applicability.

Next, we developed and tested a standardized protocol for bioacoustic analysis using the Icteridae family as a model. Based on records obtained from Xeno-canto, we applied stratified sampling, quality criteria, and standardized extraction of temporal and spectral parameters. Multivariate analyses and sampling sufficiency assessments demonstrated that the acoustic space of Icteridae is mainly structured by gradients of duration and frequency, while also revealing recurring limitations in sound libraries, such as geographic biases, record heterogeneity, and insufficient sampling, reinforcing the need for reproducible protocols.

We also investigated the historical processes responsible for the spatial diversification of Emberizoidea in the Neotropics by integrating a comprehensive phylogeny of 738 species with more than 239 million occurrence records. Comparisons among regionalization schemes and biogeographic models supported the BAYAREALIKE+J model incorporating migratory behavior, indicating a strong influence of dispersal. The results suggest a Nearctic origin for Parulidae, Passerellidae, and Cardinalidae, whereas Icteridae and Thraupidae likely originated in the Caribbean and Amazonia, respectively. In addition, migratory behavior influenced transition probabilities among areas and the reconstruction of ancestral distributions.

Finally, we evaluated the evolution of acoustic signals in Icteridae in light of the acoustic adaptation hypothesis (AAH). We observed a pervasive lack of phylogenetic signal, suggesting high evolutionary lability. Habitat structure influenced part of the acoustic features, with species from open habitats showing shorter signals and higher entropy than forest species, while environmental occupancy history was associated with spectral variation. The predominance of the Ornstein-Uhlenbeck model indicates evolution under stabilizing selection, suggesting that acoustic communication results from the interaction among environmental conditions, historical persistence in habitats, and behavioral plasticity.

Overall, this thesis contributes to the advancement of ornithological bioacoustics by integrating conceptual, methodological, and macroevolutionary approaches, broadening the understanding of how acoustic signals are structured, diversified, and shaped by historical and environmental processes. The results demonstrate the value of standardized bioacoustic approaches for investigating ecological and evolutionary patterns across multiple scales, with potential applications to different taxonomic groups and implications for understanding avian diversity.

RESUMEN

La bioacústica se ha consolidado como una herramienta esencial para comprender procesos ecológicos, evolutivos y comportamentales de las aves, especialmente en regiones megadiversas como el Neotrópico. En esta tesis, investigué la diversidad acústica de las aves desde perspectivas conceptuales, metodológicas y macroevolutivas, buscando comprender cómo las señales sonoras pueden describirse, estandarizarse e interpretarse a la luz de la historia evolutiva y de las presiones selectivas del ambiente.

Inicialmente, propusimos un enfoque conceptual para describir la estructura sintáctica de los sonidos de las aves, motivado por la necesidad de profundizar la caracterización de las señales acústicas más allá de clasificaciones simplificadas. A partir del diálogo con la literatura bioacústica aplicada a otros vertebrados, desarrollamos una propuesta basada en elementos acústicos orientada a estandarizar descripciones, facilitar la comunicación entre estudios y generar inferencias preliminares sobre repertorios vocales y variación geográfica, equilibrando rigor técnico y aplicabilidad analítica.

Posteriormente, desarrollamos y probamos un protocolo estandarizado para el análisis bioacústico utilizando a la familia Icteridae como modelo. A partir de registros obtenidos de Xeno-canto, aplicamos muestreo estratificado, criterios de calidad y extracción estandarizada de parámetros temporales y espectrales. Los análisis multivariados y las evaluaciones de suficiencia muestral demostraron que el espacio acústico de los Icteridae está estructurado principalmente por gradientes de duración y frecuencia, además de evidenciar limitaciones recurrentes en bibliotecas sonoras, como sesgos geográficos, heterogeneidad de registros e insuficiencia muestral, reforzando la necesidad de protocolos reproducibles.

También investigamos los procesos históricos responsables de la diversificación espacial de Emberizoidea en el Neotrópico, integrando una filogenia integral de 738 especies con más de 239 millones de registros de ocurrencia. La comparación entre esquemas de regionalización y modelos biogeográficos favoreció el modelo BAYAREALIKE+J incorporando el comportamiento migratorio, indicando una fuerte influencia de la dispersión. Los resultados sugieren un origen neártico para Parulidae, Passerellidae y Cardinalidae, mientras que Icteridae y Thraupidae probablemente se originaron en el Caribe y la Amazonia, respectivamente. Además, el comportamiento

migratorio influyó en las probabilidades de transición entre áreas y en la reconstrucción de distribuciones ancestrales.

Por último, evaluamos la evolución de las señales acústicas de Icteridae a la luz de la hipótesis de adaptación acústica (AAH). Observamos una ausencia generalizada de señal filogenética, lo que sugiere una elevada labilidad evolutiva. La estructura del hábitat influyó en parte de las acoustic features, con especies de ambientes abiertos presentando señales más cortas y mayor entropía que las especies forestales, mientras que la historia de ocupación ambiental estuvo asociada con variaciones espectrales. El predominio del modelo Ornstein-Uhlenbeck indica evolución bajo selección estabilizadora, sugiriendo que la comunicación acústica resulta de la interacción entre el ambiente, la persistencia histórica en los hábitats y la plasticidad conductual.

En conjunto, esta tesis contribuye al avance de la bioacústica ornitológica al integrar enfoques conceptuales, metodológicos y macroevolutivos, ampliando la comprensión de cómo las señales acústicas son estructuradas, diversificadas y moldeadas por procesos históricos y ambientales. Los resultados demuestran el valor de enfoques bioacústicos estandarizados para investigar patrones ecológicos y evolutivos en múltiples escalas, con aplicaciones potenciales a diferentes grupos taxonómicos e implicaciones para el entendimiento de la diversidad de las aves.

Tecendo uma tese

O tornar-ser cientista

Cara leitora[1], as páginas que serão lidas na sequência são o resultado de um processo de doutorado, no qual idealizamos uma pesquisa e criamos hipóteses científicas para serem testadas. E ao longo do processo percebemos que a nossa pesquisa vai ganhado uma forma, na qual os limites não são exatamente os quais delimitamos no começo, o que não é um problema. Escrevo essa introdução na forma de ensaio, para ter mais flexibilidade para falar sobre os assuntos acadêmicos propriamente ditos, os quais foram o objeto de estudo, mas também para poder sair um pouco dos limites ao falar sobre o processo de tornar-se cientista, o qual faz parte da produção de uma tese. Se não quiseres adentrar nessa parte comigo, pode seguires para os próximos tópicos no quais elaboro sobre os temas da tese especificamente.

Sou formada em Licenciatura em Ciências Biológicas, o que implicou habitar dois mundos ao longo de minha formação: as ciências biológicas e seus múltiplos conceitos e formas de fazer ciência; e a educação, o que significou uma imersão em alguns conceitos ciências humanas e pensar o humano propriamente dito[2]. Quando ingressei no mestrado acadêmico, decidi adentrar no mundo das aves, que já me fascinavam de certa forma. Com uma predileção por ecologia, na minha dissertação tentei explicar quais eram as variáveis ambientais que influenciavam a ocupação das aves campestres no bioma pampa, em linhas gerais era um porque estão aqui e não ali, mas olhando para uma escala de paisagem. Para saber o que influenciava essa ocorrência local, fiz uso do monitoramento acústico passivo[3], que é um método não-invasivo que consiste em colocar diversos gravadores pré-programados em campo e depois identificar as vocalizações no conforto do laboratório ou da minha casa, dado que fiz a maior parte disso durante a pandemia. A

[1] A minha escrita é direcionada para qualquer gênero. Escrevo no feminino contrariando a norma culta que implica em ser colocado no masculino quando não há identificação do público de interesse e quando é plural. Acredito que a essa contravenção à norma não acarretará prejuízo à leitura. Boa leitura!

[2] Acredito que a maior parte do meu público será das ciências biológicas. Na nossa formação há uma carência de conhecimento acerca de história e filosofia da ciência. Isso implica em uma compreensão muito limitada do que a ciência e muitas vezes equivocada sobre compreender que há outras ciências. Para minimante tentar suprir essa lacuna, deixo de indicação: O que é ciência afinal? de A.F. Chalmers (1993); a Arte de Pesquisar de Miriam Goldenberg (2004) e Capítulo 4 do Princípios de Estatística em Ecologia do N.J. Gotelli e A.M. Ellison (2004).

[3] Monitoramento acústico passivo (PAM) é uma técnica que consiste em ampliar a cobertura no espaço e no tempo. Serve para responder diversas perguntas ecológicas que um método tradicional como ponto-escuta pode eventualmente, ser limitada. Há uma vasta literatura sobre isso, com seus histórico e possíveis avanços em: Gibb *et al*., 2019; Sugai *et al*., 2020.

ideia inicial era fazer essa análise para toda a comunidade de aves, mas ao final fiz somente com 4 espécies: tico-tico-do-campo (*Ammodramus humeralis*), polícia-inglesa-do-sul (*Leistes superciliaris*), Canário-do-campo (*Emberizoides herbicola*) e tico-tico (*Zonotrichia capensis*)[4].

Você pode estar pensando o que tudo isso tem a ver com a introdução, mas acho importante o contexto pois nada existe sem ele na ciência. Retornando então, a minha mudança não se deu por um conflito com a definição de comunidades ou algo do tipo, foi simplesmente por uma questão técnica e de aprendizagem do som. Assim como as aves filhotes que passam por um período sensível a aprendizagem[5], nós precisamos aprender o som, ou seja, assimilá-lo e gravá-lo em nossos cérebros, para toda vez que ouvir um tico-tico, reconhecer que é um tico-tico e não um bem-te-vi. E como iniciante no mundo da ornitologia, eu descobri que esse de fato era um mundo! E como estamos no segundo pais com maior diversidade de aves do mundo, o bioma Pampa não foge dessa lógica. Sabemos hoje que ele tem 446 espécies de aves (Andrade *et al*., 2022)[6], isso implica que para fazer uma atividade de campo, é necessária muita aprendizagem de muitos sinais acústicos.

Parti, pois, em uma peregrinação para aprender os sons das aves e descobri que é um processo de aprendizagem longo e inacabado, mas principalmente, árduo. Os sons são muito agradáveis, as aves são lindas e as descrições do som divertidíssimas. Porém, para aprender o som das aves há diversas formas - a mais eficiente é indo a campo, o que não é tão fácil por motivos logísticos. Atualmente, há uma miríade de fonotecas e plataformas de ciência-cidadã com inúmeros registros[7], o que implica que podemos ir para a natureza sem sair de casa, tadá! Não vou nem problematizar o conceito de natureza[8], mas voltemos

[4] A minha dissertação está no lume UFRGS: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/245879. E o artigo produzido a partir dela foi publicado na revista Austral Ecology, disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aec.70084

[5] As aves, assim como humanos começam com uma fase de aquisição sensorial; na qual começam a assimilar o som de aves tutoras; seguido por uma fase sensório-motora, na qual começam a praticar e tentar produzir sons vocais complexos; A última etapa é a de cristalização das vocalizações aprendidas se cristalizam. Para leitura sugiro o artigo Birdsong Learning and Culture: Analogies with Human Spoken Language (Bruno *et al*., 2021) e o capítulo 5 do Livro a Inteligência das Aves (Ackermann, 2022).

[6] Desconsiderei registros históricos, espécies exóticas, marginais e vagantes.

[7] Há diversas fonotecas, que são repositórios acústicos. Uma muito usada na ornitologia é Xenocanto vinculada ao Laboratório de Ornitologia de Cornell, mas há também a Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard, vinculada a Unicamp.

[8] Talvez já esteja me excendo nas notas de rodapé, mas aqui cabe uma boa nota. Se ao ler você pensa que 'natureza' é apenas um conceito, é essencial compreender que se trata de um conceito em constante disputa, carregado de múltiplos significados, acarretando mudanças na forma como a utilizamos e entendemos.

para a parte da aprendizagem. Antes da internet não tínhamos plataformas, mas havia tecnologia para registrar acusticamente: então, muitas antes de mim, usaram aqueles dispositivos em que o som é gravado em uma fita pequena a qual está inserida em uma caixa retangular com dois furos, vulgo fita cassete. Ela surgiu na década de 60, mas a ornitologia existe enquanto ciência desde o século XIX, o que obviamente é tardio em comparação com a observação de aves, sendo que o conhecimento acerca delas remonta há mais de 22 séculos. Então, recorri a uma literatura muito interessante, que é a da descrição fonética presente principalmente nos guias de campo e livros texto.

Para quem não se lembra das aulas de gramática, as letras são organizadas em sílabas, que podem ser agrupadas para formar palavras, e as palavras, por sua vez, compõem frases. Cada sílaba possui uma representação gráfica, que é a maneira como vemos o texto, e diferentes idiomas utilizam alfabetos distintos para esse propósito. No caso do brasileiro, *ops*, do português usamos o alfabeto latino (ou romano), diferente do russo, que utiliza o alfabeto cirílico, ou do coreano, que emprega o alfabeto Hangul. Todos esses são considerados fonéticos, o que significa que, em todos esses sistemas de escrita, as letras (ou caracteres) correspondem a sons específicos da língua (fonemas), facilitando a representação gráfica da fala (escrita). O que é totalmente diferente do kanji japonês, em que cada ideograma tem seu próprio significado. Já o mandarim, embora também use ideogramas, é uma língua tonal, o que significa que uma mesma palavra, dependendo da ênfase tônica em diferentes partes dela, pode ter significados distintos. É como se no português para a palavra pássaro, tivéssemos múltiplos significados, com base no deslocamento da sílaba tônica.

Então eu me debrucei sobre os guias de campo e o que era uma tarefa de aprendizagem do som, obviamente conciliando com o campo e os registros, se tornou uma tarefa de curiosidade acadêmica. As descrições das vocalizações são frequentemente adjetivas e fonéticas, o que pode ser divertido, mas geralmente essas descrições não permitem identificações precisas. Um exemplo dessa subjetividade é a descrição da vocalização do tico-tico (*Zonotrichia capensis*). No livro "Ornitologia Brasileira" (1997), o naturalista Helmut Sick descreve o canto como uma "melodia de quatro a cinco assobios claros e bem pronunciados, o começo da estrofe é acentuado, como 'dübi zjü-zjü'...". No guia de campo "Aves da Grande São Paulo" (2004), refere-se que "o canto é formado por quatro ou cinco assobios melodiosos". Em "Aves do Brasil" (2015), a descrição é de um "canto agradável, uma série curta e variável de assobios musicais, que pode ser

interpretada de várias formas, como 'bença tio, tio, tio' ou 'manda chuva, meu deus'". Azpiroz, no guia "Aves de las Pampas" (2012), é mais direto ao explicitar que a vocalização é composta por "notas moduladas, às vezes com trinado no final". Belton, em sua descrição no “Aves silvestres do Rio Grande do Sul” (1982), também segue uma linha similar, afirmando que o tico-tico tem um "canto curto, alto, um pouco melancólico, assobiado suavemente...", e ao tentar capturar as variações desse canto no estado, ele emprega as mesmas sequências repletas de consoantes que os outros autores.

Quando procuramos descrições acústicas nos guias de campo, além do humor potencial subjacente, podemos notar o uso de uma variedade de adjetivos para caracterizar os sons das aves. Alguns desses adjetivos, como "alto", "baixo", "rápido" e "contínuo", embora imprecisos, oferecem indícios sobre as características e a intensidade do som. No entanto, adjetivos comparativos como "alto" apresentam um desafio: o que constitui um som alto? Esse termo pode variar de um grupo para outro. No contexto das aves, que vocalizam dentro de uma gama específica de frequências, a categorização de um som como "alto" é subjetiva e depende de diversos fatores. Além disso, a propagação do som é influenciada por uma miríade de variáveis ambientais (Brumm & Naguib, 2009; Thomas *et al*., 2020). Portanto, como uma observadora ou pesquisadora em campo pode objetivamente definir o que é considerado alto?

Ademais, você pode observar o uso exacerbado de adjetivos com conotação de valor no contexto do som, como "melódico", "agradável", "terrível" e "bem-desenvolvido". Por exemplo, uma descrição do canto de uma espécie em um guia pode compará-lo a uma orquestra de violinos, uma analogia que, embora evocativa para alguns, pode ser obscura para outros[9], especialmente para aqueles sem experiência auditiva em orquestras. Essas descrições tendem a ser mais subjetivas do que informativas, tornando-as potencialmente menos úteis em um guia de campo, cujo objetivo é fornecer informações acessíveis e práticas para a identificação de espécies.

No entanto, essas descrições têm muito valor pois tentam representar em termos dos nossos idiomas o que ouvimos acusticamente. Com efeito, o uso de onomatopeias (formas linguísticas de imitar sons do ambiente), recurso comum em descrições acústicas,

[9] Descrição do Asa-de-telha (*Agelaiodes badius*), disponível no Livro Aves silvestres do Rio Grande do Sul do William Belton (1982): "Voz: Chamadas króc, tie e fino assobio fi.i! - Canto baixo e agradável; parece um ensaio baixinho de uma orquestra de violinos, com notas agudas, violinadas e outras griladas, muitas vezes em coro."

é reconhecido como importante no processo de aprendizagem, pois estimula tanto regiões cerebrais associadas ao processamento de som do mundo real, quanto substantivos não-onomatopeicos (Hashimoto *et al.*, 2006). Na síntese conduzida por Laing (2019) há a reunião da literatura sobre onomatopeias e sobre iconicidade de forma mais geral para considerar a sua aquisição em bebês humanos. No mesmo, conclui que os bebês são preparados para assimilar onomatopeias, pois oferecem vantagens de aprendizagem em uma série de mecanismos-chave de aprendizagem.

Em um estudo conduzido por Vella *et al.* (2021) testaram a rotulagem de registros acústicos por não-especialistas em aves utilizando onomatopeias; concluíram que esse recurso pode ser usado de forma confiável para classificar o canto dos pássaros por ouvintes não especialistas. As participantes do estudo usaram as seguintes onomatopeias: tagarelice (chatter), trinado (trill), gorjeio (wrable), assobio (whistle), gemido (moan), chilreio (chirp), pio (hoot e peep), clique (click), zumbido (buzz), gargalhada (cackle) e guincho (screech)[10]. Essas categorias são muito mais acessíveis ao público não-acadêmico, mas podem esconder muita informação acústica. Talvez seja interessante reformularmos elas a partir de um sistema objetivo. Um exemplo é o assobio, que pode ser tanto um sinal modulando a frequência e ascendendo, quanto um sinal com diversas inflexões que implica em diferentes sintaxes e por consequência diferentes semânticas[11].

A onomatopeia parece um recurso interessante, mas vou falar da importância dela mais para frente. Por hora, vamos focar nos aspectos negativos, que é o fato da eficácia dessas descrições variarem drasticamente conforme o idioma, devido às diferenças fonéticas, conforme mencionei anteriormente. Para além do exemplo do tico-tico, podemos olhar como os animais "falam" em outros idiomas[12], o que deixa mais explícito como a nossa língua é um fator determinante de como nos relacionamos com os sons do ambiente (Figura 1). Isso resulta em informações subjetivas e suscetíveis a erros no campo e no pós-campo, além da perda de informações que os nossos ouvidos não captam,

[10] Fiz uma tradução livre dos termos, tanto que pio pode ser "hoot" ou "peep".
[11] Ao concebermos esse sistema, levamos em consideração o fato de que ainda há muito a ser descoberto sobre as implicações semânticas dos sinais acústicos. Atualmente, nosso conhecimento se concentra principalmente na sintaxe e, embora pequenas variações sintáticas possam não afetar significativamente o reconhecimento e a percepção da ave receptora, alterações nos parâmetros acústicos e na forma do sinal certamente possuem implicações semânticas
[12] Esse é um assunto que tenho tido cada vez mais interessei, porém não encontrei referências da ordem acadêmica, tais como artigos e teses, mas deixo de indicação materiais que podem ser úteis para a reflexão sobre: *https://www.youtube.com/watch?v=Qq94Vcb6atU*; *https://www.quickanddirtytips.com/articles/why-animal-sounds-are-different-in-different-languages*; e *http://www.eleceng.adelaide.edu.au/personal/dabbott/animal.html*

mas que poderiam ser fundamentais para estudos ecológicos e evolutivos. Mesmo ornitólogas especialistas podem cometer erros de identificação, ainda mais quando são espécies próximas filogeneticamente e que tendem a manter estruturas acústicas semelhantes (Gonçalves & Ferraz, 2016).

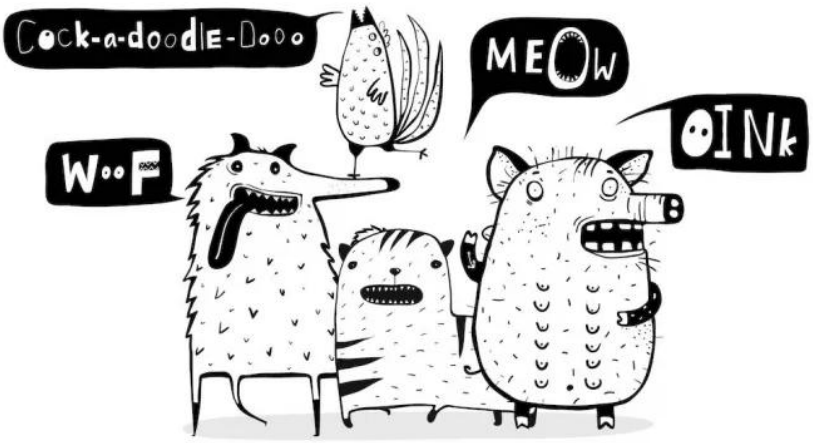


Figura 1. Ilustração da representação onomatopeica do som emitido por animais no idioma inglês. (Fonte desconhecida).

Essa discussão já tem sido feita há um tempo pelo meu grupo de pesquisa, tendo em vista a necessidade de uma informação mais objetiva e como inserir essa informação para responder perguntas de comportamento, ecologia e evolução. O que começou como uma brincadeira e curiosidade se tornou uma necessidade prática a qual permeia a tese e nos coloca no ponto de "olhar"[13] para o som de forma cautelosa e curiosa. Assim como bordar, ao longo da tese fiz, desfiz e refiz os questionamentos que iniciaram a minha busca por respostas, os quais são da ordem da linguagem, dos métodos, do ambiente e da evolução. Palavras que parecem desconexas, mas que podemos entrelaçar na mesma meada e espero que essa costura seja possível nas próximas seções.

Ao final desse processo de tese, eu estava lendo Cartas de uma orientadora sobre pesquisa e escrita acadêmica[14] (Diniz, 2024) e ao longo da escrita, a autora faz uma alegoria com o bordado. Ela aponta como o fazer pesquisa, tal qual a arte do bordado, é

[13] Sei que parece engraçado usar o verbo olhar ao falar de som, mas é o que de fato fazemos. Nós olhamos o som a partir da representação gráfica bidimensional do espectrograma. Não se preocupe, isso estará mais abaixo e ao longo do texto, o que não faltam é referências a isso.
[14] O qual indico a leitura para que seja feita em algum momento da pesquisa. Ou talvez ser relido em momentos diferentes ao longo dela. Independente do momento, é um livro crucial para pensar o processo da pesquisa.

uma prática artesanal, destacando como combinamos a repetição da técnica apreendida com alguma novidade advinda da nossa própria criatividade. Eu me encantei com a alegoria e já estava pensando sobre essa comparação há um tempo, por ser bordadeira. Porém, a minha aproximação é pelo caminho do processo de bordar. Quando vamos bordar, existe na nossa imaginação uma ideia de como o será o processo final do bordado. Porém, entre o desenho feito à mão, a escolha do tecido, das cores, do ponto, os ajustes ao longo do processo, o resultado é drasticamente diferente do esperado. É claro, à medida que se tem experiência essa diferença entre o desejado e resultado vai se encurtando, o qual atribuo mais à mediação das expectativas do que propriamente à perfeição, ainda que a habilidade ajude nisso também.

Desde o começo da minha carreira acadêmica, o qual é difícil precisar, até agora, aprendi muito a mediar a expectativa entre o resultado do bordado, digo, da pesquisa. Mas ainda assim, olhando para a tese em sua totalidade, percebo que as perguntas foram mudando ao longo do processo, as hipóteses e o que era esperado encontrar. Aqui não estou incorrendo em práticas questionáveis cientificamente (Fraser *et al*., 2018), mas em compreender como no processo da pesquisa, assim como no ato de bordar, o processo por si só, tem impacto no resultado, por uma série de fatores, sejam da ordem acadêmica (*e.g*. aprender novas técnicas; enquanto você escreve, ser publicado um artigo semelhante; perceber que você estava assumindo premissas equivocadas), seja da ordem humana (*e.g.* doenças na família; saúde mental; uma enchente; mudar de país). Nesse caso, vou apropriar-me da alegoria de bordar para tentar costurar som, aves e ambiente. Para começarmos, a primeira tarefa é desenrolar as linhas que agora estão emaranhadas nas próximas páginas.

As aves e sua linguagem

Nós sabemos hoje que todos os organismos precisam se comunicar de alguma forma, seja de forma química ou física para diversas funções das suas vidas sociais (*e.g.* defesa de territórios, atrair parceiros, alerta de predadores)[15]. Nesse caso, a compreensão

[15] A comunicação acústica é usada para defender territórios, buscar alimento, proteger-se de predadores e encontrar parceiros para acasalamento (Naguib, 2006; Alcoock, 2016). E sabemos também que a comunicação acústica é amplamente utilizada por diversos grupos de animais, incluindo insetos e todos os grupos de vertebrados. Além disso, é uma forma de comunicação que surgiu múltiplas vezes na história evolutiva, se perpetuou dentro dos clados e no caso das aves, está presente em praticamente todas as espécies de viventes (Chen & Wiens, 2020).

dos sinais acústicos (e a informação transmitida através do som) pode nos fornecer uma gama de informações acerca das estruturas das comunidades e dos processos ecológicos contemporâneos e históricos (Brandes, 2008; Gibb *et al.*, 2019; Penar *et al*., 2020). Para os animais que não vocalizam dentro da faixa audível[16], a pesquisa em bioacústica enfrentou desafios significativos, mas também realizou avanços substanciais. Equipamentos de gravação foram adaptados para capturar frequências mais altas, como no caso dos morcegos que vocalização no ultrassom (altas frequências), e microfones foram desenvolvidos para operar em ambientes aquáticos, visando os cetáceos que vocalizam no ambiente aquoso o qual a velocidade de propagação é reduzida (Au & Hastings, 2008a; Erbe *et al*, 2022). Além desses desafios impostos pela forma do som e ambiente onde vocalizam, a análise dos dados coletados também representou uma fronteira crítica, que hoje avança notavelmente em termos de detecção dos sinais acústicos e análises acústicas (Stowell *et al.*, 2019; Sugai *et al.*, 2020; de Araújo *et al.*, 2021).

No estudo dos morcegos, os pulsos emitidos são amplamente documentados por famílias e a nomenclatura acústica está bem estabelecida. Por exemplo, Arias-Aguilar *et al.* (2018) integraram informações de chamados de ecolocalização de morcegos brasileiros, revelando variações nos perfis acústicos entre diferentes regiões geográficas. Especificamente para os morcegos insetívoros, os chamados de ecolocalização, conhecidos como pulsos, são categorizados com base na mudança da frequência ao longo da duração, tais como frequência modulada (FM), frequência constante (FC), frequência quase constante (qCF), entre outras (Figura 2). Além disso, o número de harmônicas e a distribuição da energia entre elas também são considerados relevantes para a identificação das espécies ou, pelo menos, das famílias. Esses avanços na compreensão dos sinais acústicos dos morcegos não apenas potenciam o aumento do conhecimento ecológico e etológico, como apresentam aplicações práticas na conservação e manejo das populações desses animais em diversos ambientes.

[16] Geralmente, quando se refere à faixa audível, toma-se como referência a espécie humana, cuja audição abrange aproximadamente de 20 Hz a 20.000 Hz. Entretanto, para outras espécies animais esse intervalo varia substancialmente, incluindo tanto frequências infrassônicas quanto ultrassônicas (*e.g.*, elefantes: ~14–12.000 Hz; cães: ~67–45.000 Hz; morcegos: >100.000 Hz).

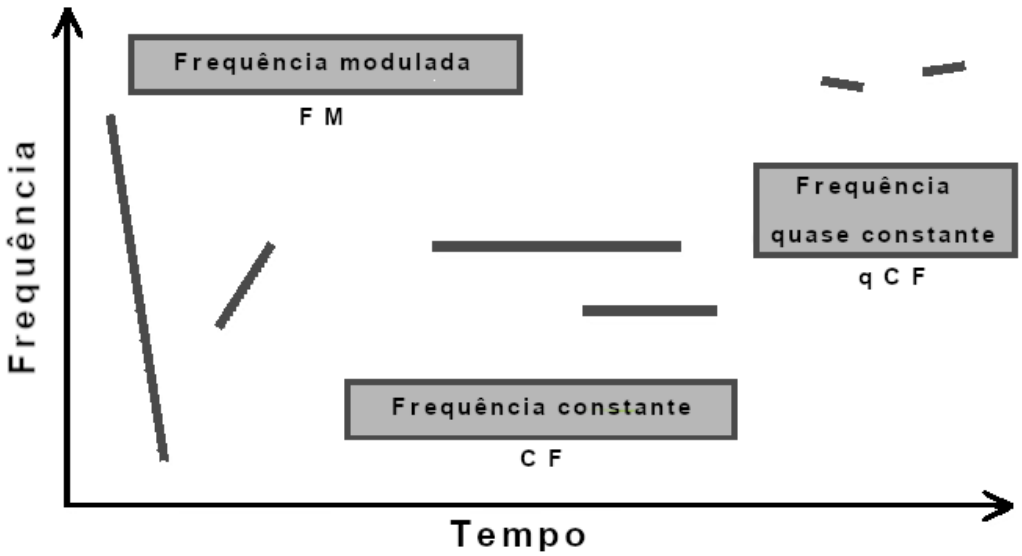


Figura 2. Esquema adaptado de Arias-Aguilar (2017), identificando diferentes tipos de frequências ao longo do tempo.

Para os cetáceos (baleias e golfinhos), os monitoramentos de longa duração têm permitido uma compreensão detalhada da hierarquia dos sinais acústicos, incluindo o reconhecimento de assinaturas vocais específicas (Au & Hastings, 2008b; Janik, 2014; Chávez-Andrade *et al*., 2023). Dialogando com a literatura clássica, Cholewiak *et al.* (2013) fazem uma descrição detalhada da estrutura hierárquica desses sinais acústicos. Em cetáceos, a unidade (unit) refere-se ao som mais curto, que pode ser dividido em subunidades quando composto por pulsos rápidos demais para serem discriminados individualmente em tempo real, podendo apresentar descontinuidades de frequência ou pontos de inflexão. A frase (phrase) consiste em um conjunto de unidades, sendo que frases semelhantes são repetidas para formar um tema (theme). A canção (song) é definida como a combinação de vários temas distintos (Figura 3). Golfinhos, por exemplo, emitem uma variedade de sons que incluem cliques, estalidos, assobios e pulsos complexos, cada um desempenhando papéis específicos na comunicação intra e inter-específica e na atividade de forrageio (Janik & Salter, 1998). Além disso, as autoras sugerem abandonar a métrica "duração do canto", adotando a "frase", análoga ao conceito de canto" utilizado em aves. Este enfoque permite uma compreensão mais precisa e comparável das estruturas acústicas complexas observadas nos cetáceos.

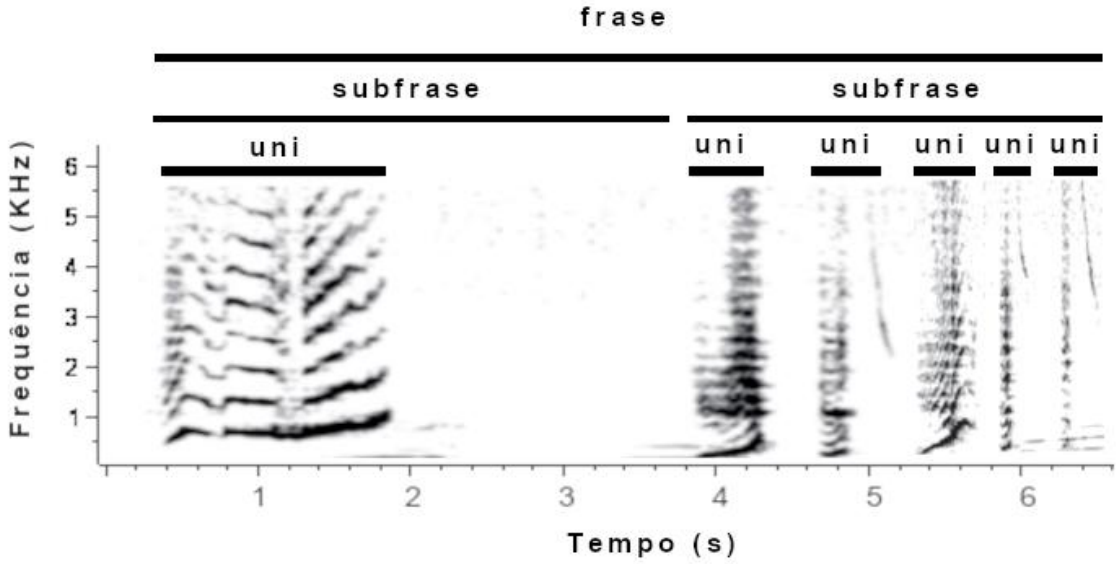


Figure 3. Espectrograma representando a hierarquia dos sinais acústicos dos cetáceos, com unidades, subfrases e frases identificadas. Extraído de Cholewiak *et al*. (2013).

O conhecimento sobre chamados acústicos em primatas não-humanos vem sendo acumulado de forma sistemática há mais de meio século (*e.g.* Struhsaker, 1967; Marler, 1969; Seyfarth & Marler, 1980; Mitani & Stuht, 1998; Fischer *et al.*, 2013; Caselli *et al.*, 2014), com uma grande lacuna para primatas neotropicais (Caselli *et al*. 2018). Estudos como o de Muir *et al.* (2019) categorizaram e descreveram uma variedade de chamados no Parauacu-de-cara-dourada (*Pithecia chrysocephala*), incluindo: assobios (whistles) - sons simples e não modulados; chucks - chamados muito curtos, agudos e não modulados; trinados (trills) - longos e frequentemente ligeiramente modulados; rosnados suaves (soft growls) - chamados menos variáveis e de menor frequência no repertório de adultos/subadultos; e estalidos de garganta (throat rattles) - chamados de baixa frequência, sendo os mais longos no repertório de adultos/subadultos da espécie.

Para os anfíbios, os chamados são de extrema relevância na identificação de espécies, muitas vezes compostos por sequências de notas repetidas, podendo ser tonais, pulsáteis ou pulsadas. Em termos de nomenclatura, todas as vocalizações emitidas são consideradas chamados, independentemente da função ou estrutura, representando a unidade acústica principal na vocalização de anfíbios (Köhler *et al.*, 2017). A estrutura hierárquica dos chamados inclui séries de chamados agrupados, cada chamado composto por notas (notes) separadas por intervalos de silêncio, e os pulsos (pulses) são rajadas sonoras dentro dos chamados ou das notas, sendo a unidade mais curta e indivisível na

vocalização (Figura 4.1). Além disso, há um padrão rítmico encontrado nos chamados de anfíbios que podem ser centrados no chamado e pode ser utilizado enquanto característica taxonômica (Figura 4.2).

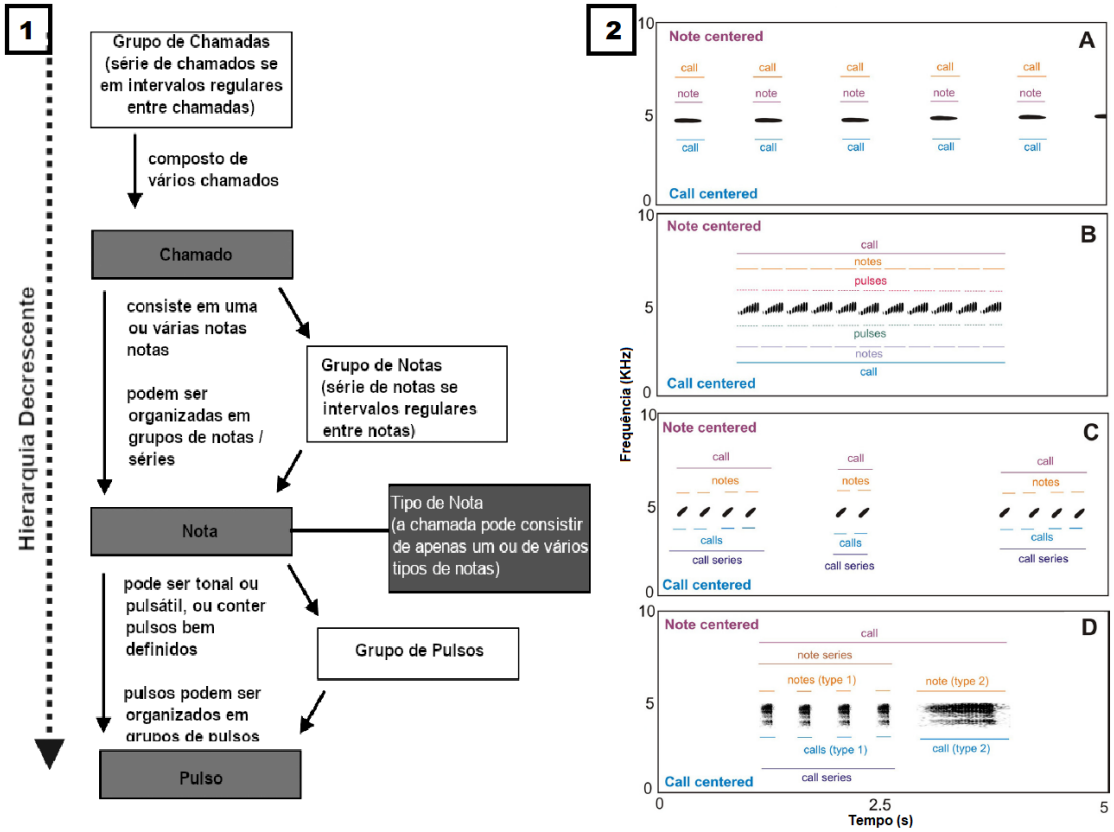


Figure 4. Sistemas acústicos em anfíbios. 1) O diagrama ilustra a hierarquia decrescente dos elementos acústicos, desde grupos de chamadas até pulsos individuais. 2) Exemplos de categorização dos chamados, exemplificando diferentes tipos de centralização na nota ou no chamado, mostrando variações na frequência e estrutura temporal dos sinais em diferentes categorias, conforme indicado no esquema. Ambos foram extraídos de Köhler *et al*., 2017.

Como é possível observar, há uma variedade de sistemas de classificação que tentam sistematizar a complexidade da comunicação acústica, desde a nomenclatura até aos parâmetros acústicos utilizados, o que tem sido um grande desafio na comparação de sinais acústicos (Kershenbaum *et al.*, 2016; Odom *et al.*, 2021). Um dos maiores desafios é estabelecer qual é a menor unidade acústica, a qual pode ser identificada com base em mecanismos de produção do som ou perceptuais. No estudo de Keshenbaum *et al.* (2016), referem-se a essa dificuldade e indicam a possibilidade de uso dos seguintes delimitadores

dos elementos acústicos: 1) o intervalo silencioso entre dois elementos acústicos; 2) a alteração das propriedades acústicas; 3) uma série de sons semelhantes que podem ser agrupada como uma única unidade, independentemente dos intervalos silenciosos entre eles, sendo separada de outras unidades; e 4) a presença de uma estrutura hierárquica complexa na sequência, na qual combinações de sons, que de outra forma poderiam ser considerados unidades fundamentais, sempre aparecem juntos, dando a impressão de uma unidade de comunicação maior e mais coerente (Figura 5).

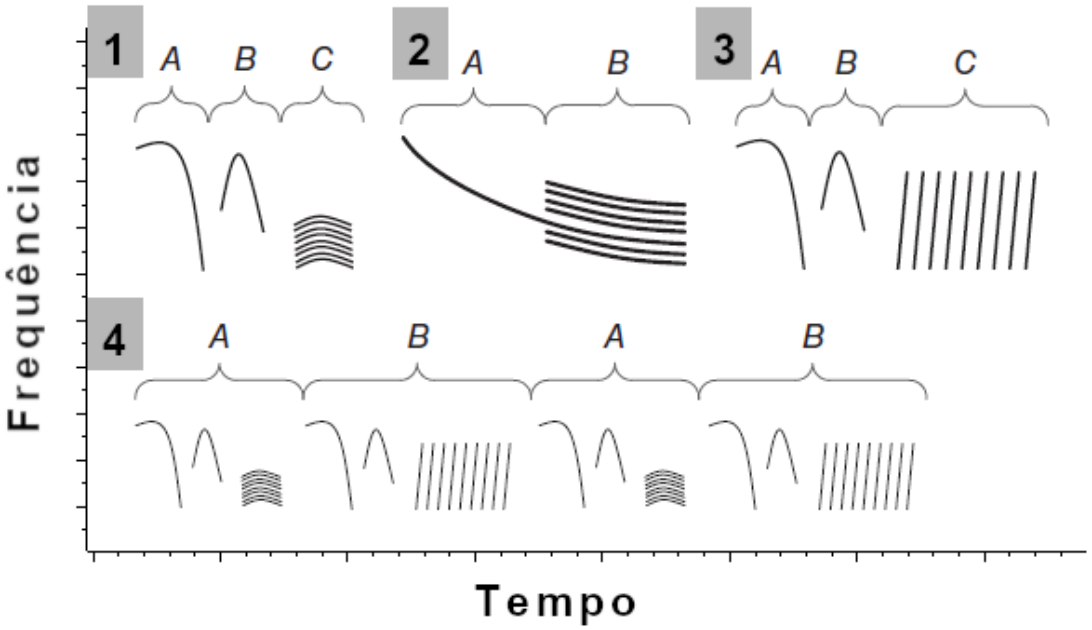


Figure 5. Esquema da delimitação dos elementos acústicos, extraído de Keshenbaum *et al.* (2016): 1) Separada por silêncio; 2) Mudança nas propriedades acústicas; 3) Série de sons; e 4) Alto nível de organização.

A delimitação da unidade é de extrema importância, pois a partir dela podemos classificar o que são os elementos acústicos e como se agrupam. Temos uma noção ampla de que há uma hierarquia de organização do som que se estabelece da seguinte forma: elementos acústicos, enquanto menor unidade acústica (podem ser separados por pausas ou mudanças de parâmetros, como se vê Figura 5.1 e 5.2); agrupados em sílabas, as quais podem repetir um mesmo elemento (*e.g.* um trinado); por conseguinte, temos uma sequência de sílabas que compõem um sinal acústico (*e.g.* um canto de uma ave); e a soma te dos esses elementos forma o repertório acústico de uma espécie (Figura 6). O conceito de elemento acústico é relevante, pois, apesar de as aves acusticamente serem

amplamente registradas, os repertórios são subdescritos e ainda há a necessidade de um amplo esforço para suprir essa lacuna.

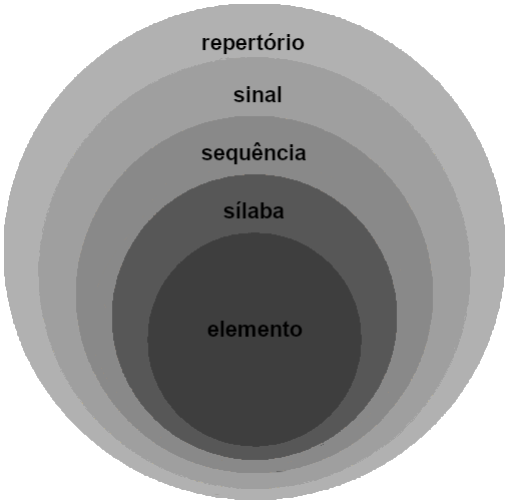


Figura 6. Diagrama representando a organização hierárquica dos elementos acústicos no repertório vocal de aves. O esquema ilustra a relação entre as diferentes unidades acústicas, desde os elementos básicos até o repertório completo, destacando como cada camada contribui para a complexidade da comunicação vocal.

Apesar de as aves serem facilmente ouvidas e apresentarem vocalizações, cantos e chamados complexos, nosso conhecimento sobre a informação acústica que elas utilizam ainda é limitado. Nos guias de campo, as descrições das vocalizações são frequentemente adjetivas e fonéticas, o que pode ser divertido, mas geralmente essas descrições não permitem identificações precisas como abordei anteriormente. Um exemplo concreto dessa subjetividade é a descrição da vocalização do tico-tico, o qual segue abaixo o espectrograma da vocalização, que é uma imagem bidimensional do som (Figura 7) e te desafio a pensar qual das descrições acima é mais condizente, para mim “bença tio-tio” já está descartada.

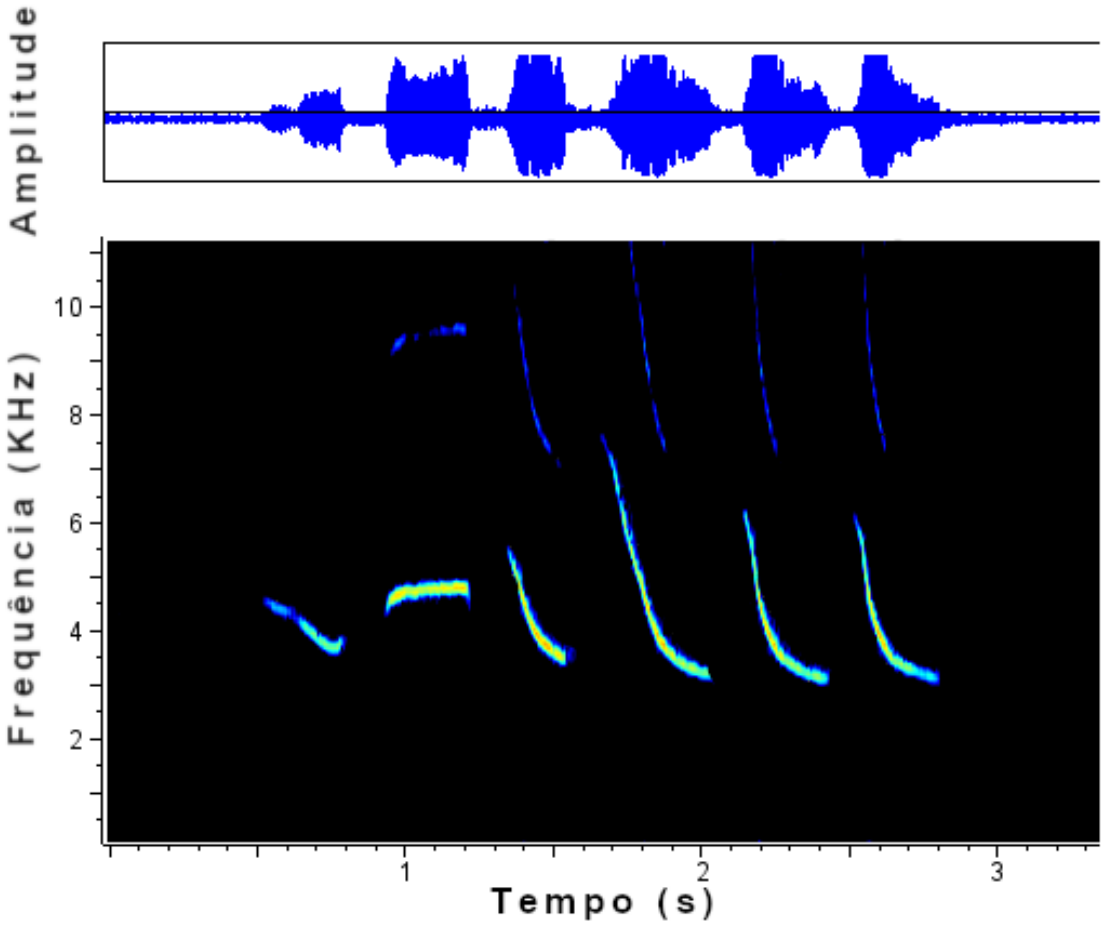


Figura 7. Espectrograma da vocalização do tico-tico (*Zonotrichia capensis*), gerado pelo software Raven Pro, exibindo a distribuição de frequência (em kHz) ao longo do tempo (em segundos). No painel superior, a forma de onda correspondente mostra a amplitude do sinal acústico, enquanto o espectrograma no painel inferior revela os componentes de frequência da vocalização, evidenciando padrões temporais e frequenciais característicos do sinal analisado (tamanho da janela de 512 amostras). Registro extraído de Xenocanto (296531, São Roque, MG, BR).

Praticamente todas as aves realizam algum tipo de comunicação acústica (Chen *et al.*, 2020), seja pelo uso da siringe ou pelo tamborilar que os pica-paus fazem ao bater com o bico nas árvores. Dada a quantidade de aves viventes, podemos presumir que há uma variedade de sinais acústicos, desde as distintas fontes emissoras possíveis, até a capacidade cognitiva de aprendizagem acústica apresentada por algumas aves, como é o caso dos Oscines dentro de Passeriformes, dos Psittaciformes e dos beija-flores dentro de

Apodiformes (da Silva & Vielliard[17], 2011). Sim, cara leitora, beija-flores têm aprendizagem vocal, algo descoberto recentemente, em comparação aos demais grupos de aves. E assim como demais caracteres, os apreendidos, passam por um processo de evolução, havendo transmissão cultural e, também, filtros ambientais e eventuais restrições genéticas (Aplin, 2019; Bruno *et al*., 2021). Além disso, dentro do escopo da aprendizagem do som, há muitas semelhanças entre a fala na espécie humana e o canto das aves nos níveis comportamentais, neurais e genéticas (Berwick *et al*., 2011)[18][19].

Trabalhos como os de Mulligan (1966), Kroodsma (1974), Marler (1970), entre outros, procuraram nomear e classificar os sinais acústicos de diversas formas. Em Kroodsma (1974), são definidos os seguintes termos: i) nota (note): som que produz um traço contínuo em um sonograma; ii) sílaba (syllable): uma nota ou um grupo de notas repetido em série; iii) trinado (trill): série consecutiva da mesma sílaba; iv) nota complexa (note complex): uma nota não repetida ou um grupo de notas, delimitado por trinados ou pelo início ou término da canção; v) frase (phrase): seção da canção, podendo ser uma nota complexa ou um trinado; vi) tipo de canção (song type): sequência única de tipos de frase repetida de maneira consistente no repertório de um macho individual; e vii) intervalo (interval): qualquer período silencioso entre frases dentro de uma canção ou entre as canções. Esses termos ajudam a descrever e categorizar a complexidade dos sinais acústicos (Figura 8).

[17] Jacques Marie Edme Vielliard foi um pesquisador muito relevante para a Ornitologia brasileira e um dos responsáveis em desenvolver a bioacústica no país. Deixo de indicação o episódio "O Legado de Jacques Vielliard" do podcast Comunidade Acústica, disponível em: https://lnns.co/r5XoOxHsVdw.

[18] Para as aves, assim como para os seres humanos, o desenvolvimento vocal inicia-se com uma fase de aquisição sensorial, durante a qual são formadas memórias auditivas dos sons ouvidos, como o canto do pássaro tutor. De modo análogo, bebês humanos podem compreender os significados dos sons da fala antes de serem capazes de produzi-los. Em seguida, ocorre uma fase sensório-motora, na qual tanto humanos quanto aves canoras começam a praticar e produzir vocalizações mais complexas. Nesse período, as aves emitem vocalizações altamente variáveis que, gradualmente, organizam-se em agrupamentos discretos (clusters) de tipos vocais. O processo de formação desses agrupamentos está intrinsecamente relacionado ao lento desenvolvimento da estrutura combinatória das vocalizações. Embora esses processos apresentem semelhanças entre espécies, suas funções e resultados variam conforme o grau de desenvolvimento dessa estrutura combinatória, podendo permanecer aberta e flexível ou tornar-se cristalizada após o aprendizado, como ocorre em muitas espécies de aves (Bruno *et al*., 2021).

19 O mundo da aprendizagem é fascinante e repleto de leituras e estudos desde características como canto até a produção dos ninhos. Apesar de muitas boas leituras, deixo de indicação uma leitura leve e que sintetiza essas ideias e é repleta de exemplos acadêmicos, mas como uma escrita cativante, que o livro A inteligência das aves de Jennifer Ackermann.

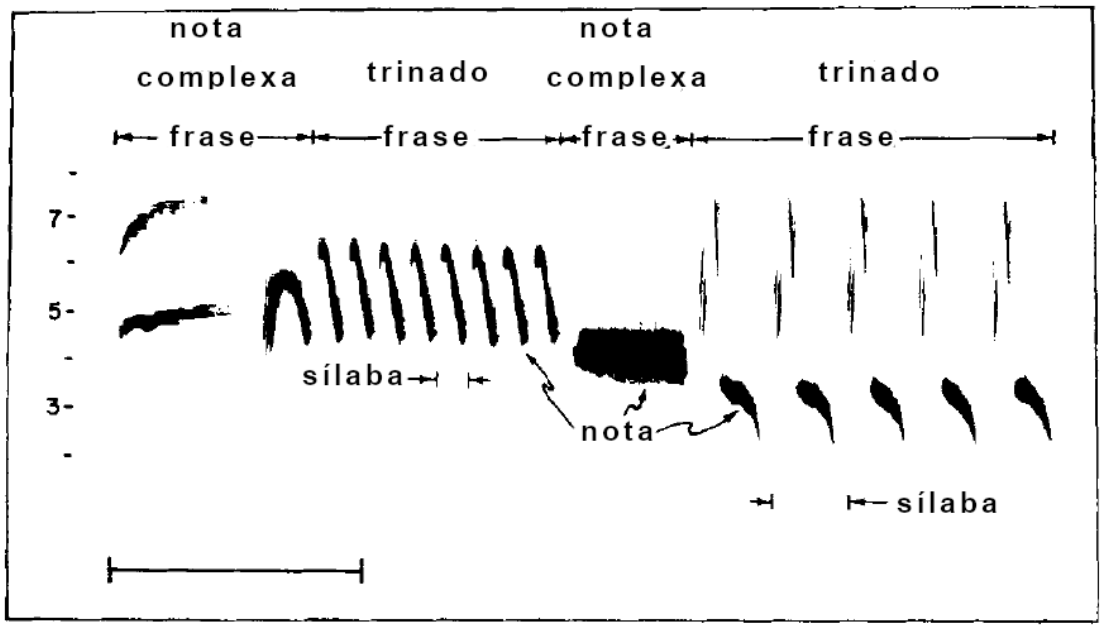


Figura 8. Espectrograma ilustrando diferentes componentes de uma vocalização das aves, extraído de Kroodsma (1974).

Alguns dos termos que mais geram confusão são 'canto' (song) e 'chamado' (call), com uma vasta discussão na literatura sobre se o canto está apenas associado à reprodução, ou se toda vocalização elaborada pode ser considerada um canto[20]. Na tentativa de definir o que é canto e incorporar as características mais inclusivas desse comportamento, Bonnevie & Craig (2018) definem canto como "uma sequência de vários elementos vocais com características específicas da espécie, executada com um padrão rítmico particular, que serve para comunicação intraespecífica em aves." Eles consideram a menor unidade do canto como sendo os elementos acústicos separados por intervalos de silêncio.

[20] Não vou nem adentrar num ponto que é crucial para essa que é a necessidade de decolonizarmos a ciência. O que isso significa? Há uma vasta literatura e te indico se apropriar desse assunto, pois é uma pauta emergente que tem sido discutida em muitos congressos e editorias de diversas áreas das Ciências Biológicas. Em termos gerais decolonizar é romper com o processo de colonialidade, nesse caso, na ciência. Por mais que a colonização tenha tido um período de duração que acabou, a colonialidade está intrincada dentro do nosso fazer ciência e isso reverbera em qual o idioma que é utilizado na ciência, quais os países que mais são reconhecidos, quais são as revistas mais prestigiadas e etc. Na ornitologia neotropial, temos algumas publicações que já estão avançando nesse sentido e um grupo de atuação que é o "Ornitologías" para pensar em as práticas e fortalecimento da ornitologia do sul. Além disso, deixo de indicação o livro "Ecologia Decolonial" (2022) do Malcom Ferdinand e "Neotropical ornithology: Reckoning with historical assumptions, removing systemic barriers, and reimagining the future" de Soares e colaboradas (2023).

Dentro da nossa prática, também entendemos a importância de uma nomenclatura mais intuitiva, considerando a importância das onomatopeias, mas principalmente que seja coerente e que permita o diálogo entre pesquisadores que trabalham com diferentes grupos taxonômicos. Além disso, as aves fazem parte do nosso cotidiano e da nossa pesquisa, mas ainda há uma subdescrição dos repertórios acústicos o que implica em desconhecimento sistemático das vocalizações que elas emitem e por consequência erros de identificação e detecção em estudos ecológicos (Gonçalves & Ferraz, 2016; Robinson *et al.*, 2018). Nesse sentido, temos uma oportunidade crucial para refletir sobre a estrutura sintática do som, considerando que a bioacústica ainda não está totalmente consolidada na ornitologia e é uma área em rápida ascensão.

Como extrair o som das aves

Dada a diversidade de sinais acústicos, a ornitologia tem então, grandes desafios, os quais são reconhecer, sistematizar e analisar essa informação para incorporá-la em pesquisas ecológicas, comportamentais e macroevolutivas (ver Capítulo 1 desta tese). Os avanços recentes sejam por desenvolvimento de equipamentos ou compreensão de estruturas sintáticas melhoraram significativamente nossa capacidade de comparar até mesmo sinais acústicos bastante distintos (Kershenbaum *et al*., 2016; Odom *et al*., 2021).

Para quem observa aves, já deve ter se deparado com as listas do e-Bird ou com necessidade de procurar alguma foto na Wikiaves. Essas plataformas de ciência-cidadã têm crescido amplamente, junto com o acesso à internet, uso de smarthphones e com o aumento do turismo de observação de aves (Lundquist *et al*., 2025). No caso da Wikiaves, em particular, ela se soma ao Xeno-canto, Macaulay Library, nas bibliotecas sonoras (fonotecas), e representam uma rica fonte de dados para pesquisas em nível de espécie e são alimentadas por meio de uma combinação de contribuições de especialistas e participantes não acadêmicos por meio da ciência cidadã.

O uso dessas bibliotecas pode ser particularmente valioso em contextos de restrições orçamentárias na pesquisa, o qual infelizmente experenciamos muito no contexto do Sul Global (Fraisl *et al*., 2026). No entanto, apesar do grande volume de registros acústicos que essas fonotecas hospedam, elas também são caracterizadas por altos níveis de heterogeneidade de dados (Yang e Roe, 2013), considerando que, por mais que haja curadoria dos registros em alguns casos, a maior parte é efetuada por não-

especialistas. Os registros exibem grande variabilidade na qualidade da gravação, falhas ou inconsistências nos metadados, registros geograficamente enviesados e uma variedade de equipamentos e níveis de habilidade do observador (Jäckel *et al*., 2021). Consequentemente, precisamos validar de forma rigorosa esses dados para podermos mitigar vieses e garantir a precisão necessária para abordar questões ecológicas (Kosmala *et al*., 2016).

Considerando diferentes níveis de especialidade de quem insere dados nas fonotecas, há uma grande variabilidade nos registros. Sabendo da necessidade de dados de qualidade para captar de fato a variação ambiental necessária, o uso de amostras padronizadas é essencial para uma comparação significativa. Essa tem sido uma preocupação constante em pesquisas com busca ativa (Gregory, 2004; Brandes, 2008) e é uma prioridade crescente no monitoramento acústico passivo (Sugai *et al*., 2019). Isso decorre da importância do registro de espécies em campo, pois estabelecer um registro permanente pode reduzir a necessidade de especialistas *in situ*, permitindo o monitoramento simultâneo de grandes áreas (Darras *et al*., 2019). Tal abordagem é de particular relevância aqui, pois possibilita a comparação quantitativa de sinais acústicos em diferentes ambientes (Slabbekoorn e Smith, 2002), que é um possível objetivo quando fazemos perguntas ecológicas.

Abordar esses desafios metodológicos exige uma abordagem unificada para integrar dados acústicos de fontes distintas. Nesse sentido, ao longo da tese, propusemos uma estrutura padronizada para o estudo de vocalizações de aves, usando a família Icteridae como modelo, sendo aplicável, com as devidas adaptações, a qualquer outro grupo taxonômico. Caso não esteja familiarizada com a família Icteridae (Figura 9), é um grupo de aves que inclui: graúna, chupim, vira-bosta, iraúna, japu, entre outros, sendo um exemplo notável de diversidade de sinais acústicos, que variam em termos de estrutura sintática, elementos acústicos, frequência e duração; ou apelando para a subjetividade poderíamos dizer que está repleto de de cantos melodiosos a chamados com notas estridentes[21] (Skutch, 1996). Esta família compreende 106 espécies reconhecidas até ao presente, distribuídas pelas regiões Neártica e Neotropical (*i. e.* continente americano), exibindo uma variação notável na forma corporal, comportamento e uso do habitat

[21] No original, ao descrever no livro, Skutch indica que "Eles cantam com as vozes mais suaves ou chamam com notas estridentes" (they sing in the mellowest of voices or call with shrill notes).

(Lowther, 1975; Gill & Donsker, 2019). Quem já ouviu o canto do japu, viu um ninho de xexéu ou já presenciou o parasitismo de ninho de chupim, sabe bem do que estou falando.

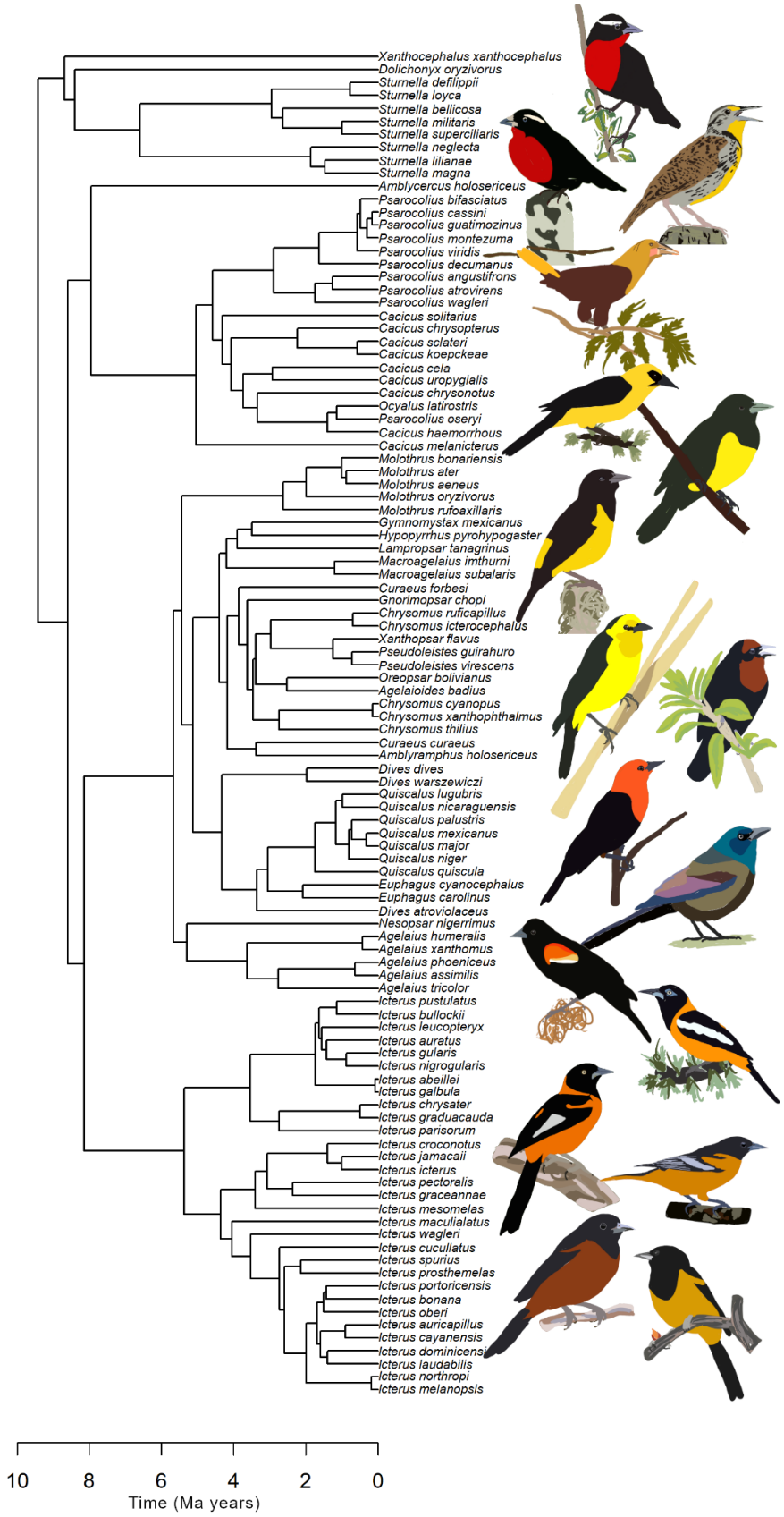


Figura 9. Filogenia de Icteridade. Adaptada de Barker *et al*. (2015).

Embora a família apresente um repertório acústico (todos os sinais acústicos emitidos, como cantos, chamados e sinais não-vocais) notavelmente diverso, existe uma disparidade substancial entre essa complexidade e os dados descritivos disponíveis. De acordo com o Birds of the World[22], muitos icterídeos compartilham notas assobiadas melodiosas e características em toda sua distribuição[23] (Gill & Donsker, 2019). No entanto, quando examinamos as descrições específicas para cada espécie, apenas 32 espécies incluem informações além de uma breve descrição fonética, e apenas 17 espécies incluem espectrogramas publicados. Uma descrição completa do repertório acústico está atualmente disponível na literatura apenas para Triste-pia (*Dolichonyx oryzivorus*; Bakker *et al*., 1983). Como é possível observar, existe uma carência de dados acústicos sistematizados. E ao longo do doutorado, para além da minha pesquisa, coorientei o trabalho de conclusão de curso da Luisa Fabrício (2024), no qual tentamos expandir essas informações acústicas sobre as espécies. Para isso utilizamos gravações online e descrevemos os repertórios vocais do Cardeal-do-banhado (*Amblyramphus holosericeus*), Asa-de-telha (*Agelaioides badius*), Cardeal-do-oeste (*Agelasticus cyanopus*), Sargento (*Agelasticus thilius*), Polícia-inglesa-do-sul (*Leistes superciliaris*) e Veste-amarela (*Xanthopsar flavus*).

O habitar das aves

Recapitulando, a tentativa aqui é costurar e, para isso, vou buscar elementos que não são só da bioacústica, mas da ordem do espaço e do tempo. E quando falamos de aves, não há como não pensar no ambiente em que elas ocupam. Nesse caso, com interesse para a região Neotropical, a qual abriga a maior diversidade global de aves, particularmente na Colômbia, Brasil, Peru, Equador, Bolívia e Venezuela, com muitas espécies habitando uma ampla gama de paisagens abertas[24], cruciais para a diversidade aviana (Stotz, 1996; eBird, 2024). De fato, habitats de pradarias, incluindo savanas e terrenos rochosos, cobrem cerca de 25% da região Neotropical (Dinerstein *et al.*, 2017).

[22] O Birds of the world é uma plataforma abrangente que integra a ornitologia acadêmica com dados globais de ciência cidadã. Indico o uso, mas com cautela, pois apesar de traduzido para o português e de termos acesso liberado a ele hoje, ainda carece de algumas informações para as aves do sul global. Link para acesso: https://birdsoftheworld.org

[23] No original: "*They share distinctive liquid whistle notes throughout their ranges*."

[24] Aqui refiro-me a paisagens abertas e semi-abertas.

Essas paisagens abertas se estendem desde os Llanos, no norte da América do Sul, até à estepe patagônica, no extremo sul (Figura 10)[25]. Variam significativamente em história geológica, clima e composição de espécies (Strömberg, 2011; Dinerstein *et al*., 2017). Os campos temperados, estão entre os ecossistemas mais severamente impactados devido à perda de vegetação nativa (Hoekstra *et al*., 2005; Oliveira *et al*., 2017), sendo variadas as ameaçadas nas diferentes paisagens abertas, sendo a conversão dos campos nativos o principal problema enfrentado (Jarvis *et al*., 2010; Overbeck *et al*., 2022).

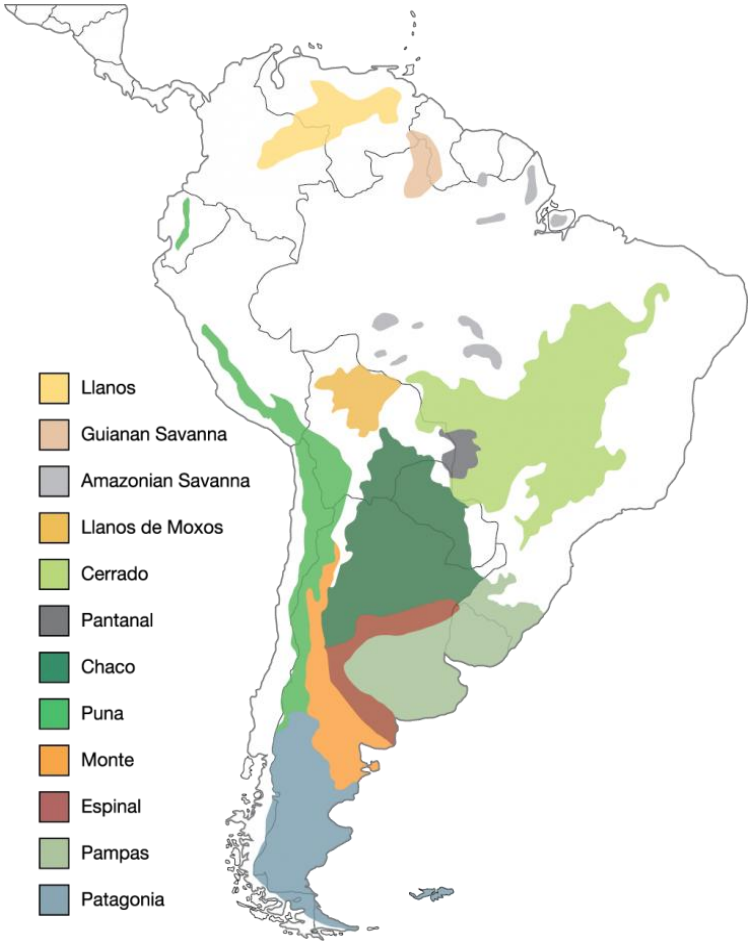


Figura 10. Mapa das áreas abertas e semi-abertas da América do Sul. Extraído de Rosenberg *et al*. (2009).

As aves campestres estão amplamente distribuídas nas paisagens ao redor do mundo, podendo ser generalistas ou especialistas na dependência de habitats campestres durante parte ou todo o seu ciclo de vida[26]. Sua associação de longa data com habitats

[25] Eu aposto que você não imaginava que havia tanto campo na América do sul.
[26] Espécies de ave associada a ecossistemas de vegetação aberta, especialmente campos nativos, cuja persistência populacional depende, total ou parcialmente, da manutenção da estrutura, heterogeneidade e

abertos impulsionou a evolução de adaptações específicas a esses ambientes (Vickery *et al*., 1999; Vickery *et al*., 2000). A história evolutiva das aves campestres está intimamente ligada à dinâmica das paisagens abertas, refletindo pressões evolutivas de longo prazo e os impactos mais recentes das mudanças impulsionadas pelo homem[27]. Por exemplo, os caminheiros (gênero *Anthus* da família Motacillidae) que são especialistas em áreas de campo, exemplificam como as espécies se diversificaram em resposta aos desafios e oportunidades únicos proporcionados pelos habitats abertos (van Els *et al*., 2019). No entanto, os processos e padrões ecoevolutivos das aves campestres sul-americanas permanecem em grande parte inexplorados (Norambuena & van Els, 2021). De fato, embora a América do Sul ostente uma rica diversidade de passeriformes, grande parte do nosso entendimento tem se concentrado em especialistas florestais (Cracraft, 1985; Aleixo & Rossetti, 2007; Ribas & Aleixo, 2019; Capurucho *et al*., 2024).

Um exemplo notável dessa lacuna é o clado[28] Emberizoidea, que é uma um grupo grande e diverso dentro dos Passeriformes, representando uma das radiações mais extensas do Hemisfério Ocidental (Barker *et al*., 2015), e é composto por famílias bem conhecidas como Icteridae, Cardinalidae[29], Passerellidae[30], Thraupidae[31] e Parulidae[32] (Birds of the world, 2026). As análises da história biogeográfica indicam que a superfamília se originou a partir de uma linhagem ancestral que se espalhou pelo Estreito de Bering, estabelecendo-se posteriormente na região Neártica, onde o clado passou por diversificação há aproximadamente 15 milhões de anos, e posteriormente se dispersou para o sul no Neotrópico, colonizando uma grande variedade de ambientes (Barker *et al*., 2015). Segundo Winger *et al*. (2014), o processo de colonização para o sul foi impulsionado pela fragmentação das áreas de distribuição amplas, pela expansão das

integridade desses habitats. Isso inclui tanto espécies especialistas de campo quanto espécies generalistas que utilizam ambientes campestres em parte de seu ciclo de vida (Azpiroz *et al*., 2012)

[27] Aqui faço questão de deixar o gênero em evidência.

[28] Clados ou linhagens filogenéticas representam grupos de organismos relacionados por ancestralidade comum, refletindo padrões de divergência evolutiva ao longo do tempo.

[29] Família de passeriformes, composta por aves granívoras ou onívoras, muitas vezes com bicos robustos e coloração marcante. Inclui espécies como o cardeal-do-norte (*Cardinalis cardinalis*) e os azulões (*Cyanoloxia* spp.).

[30] Família que reúne os chamados "sparrows do novo mundo", aves geralmente pequenas, terrestres e associadas a vegetação arbustiva ou campestre. Exemplos incluem o tico-tico (*Zonotrichia capensis*) e espécies do gênero *Aimophila*.

[31] Uma das maiores famílias de aves neotropicais, extremamente diversa em formas, dietas e colorações, incluindo frugívoros, nectarívoros e insetívoros. Abrange espécies como o sanhaçu-cinzento (*Thraupis sayaca*), a saíra-sete-cores (*Tangara seledon*) e o cardeal-amarelo (*Gubernatrix cristata*).

[32] Família composta pelas chamadas mariquitas ou "warblers do novo mundo", em geral aves pequenas, insetívoras e muito ativas, várias delas migratórias. Exemplos incluem a mariquita-de-mascarilha (*Geothlypis aequinoctialis*) e espécies do gênero *Setophaga*.

áreas residentes de populações não migratórias de latitudes temperadas para tropicais, e pela extensão da área de reprodução de espécies migratórias para áreas tropicais já ocupadas por seus locais de invernada. E de acordo com um estudo recente de Arango *et al.* (2025), sugeriram que o ancestral comum mais recente dos Emberizoidea habitaria uma ampla área que abrange todas as bioregiões do Novo Mundo (Neártico e Neotrópico), onde a contração das áreas produzida pelas extinções locais parece ter impulsionado o processo de especiação.

Como você pode observar, já acumulamos um conhecimento valioso sobre a origem do ancestral (Barker *et al*., 2015) e os processos de contração e expansão da área de distribuição das espécies do grupo atualmente (Arango *et al*., 2025). No entanto, ainda faltam informações abrangentes sobre os processos históricos que moldaram a distribuição de Emberizoidea no Neotrópico. Recentemente, Norambuena & van Els (2021) não apenas destacaram essa lacuna histórica de conhecimento sobre aves campestres sul-americanas, mas também propuseram uma hipótese biogeográfica a ser testada no Neotrópico (Figura 11). Para espécies recentes de campos neotropicais, como as do grupo Emberizoidea, espera-se que a dispersão tenha desempenhado um papel fundamental na formação de sua distribuição atual e colonização do Neotrópico. No entanto, a análise de Barker *et al*. (2015) trata o Neotrópico como uma única região homogênea, enquanto Arango *et al*. (2025) representa um avanço significativo ao dividir a área em três regiões biogeográficas distintas. Essa abordagem ignora os processos que ocorrem na região e não leva em conta a complexidade de seus diversos biomas e zonas ecológicas, limitando nossa compreensão dos fatores históricos e contemporâneos que influenciam a distribuição das espécies.

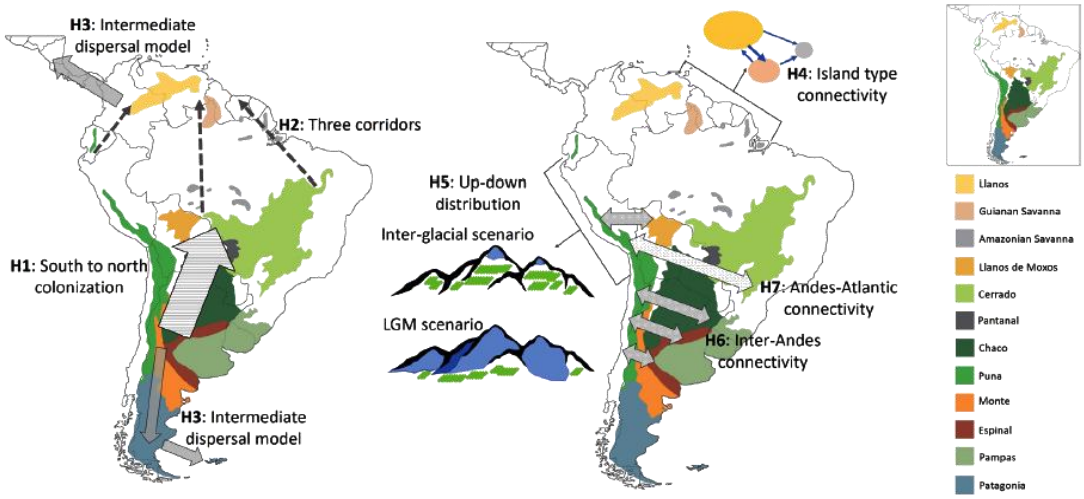


Figura 11. Mapa com as principais hipóteses biogeográficas a serem testadas na ornitologia, usando como referência o mapa das áreas abertas e semi-abertas da América do Sul de Rosenberg et al. (2009). Extraído de Norambuena & van Els (2021).

Para compreender melhor esses padrões históricos e superar as limitações das análises regionais em larga escala, é essencial considerarmos os processos biogeográficos subjacentes que impulsionam a diversificação e distribuição das linhagens. Esses processos biogeográficos podem ser amplamente categorizados em eventos anagenéticos (*e.g.* dispersão, extinção e troca de intervalo) e eventos cladogenéticos, como simpatria (estreita, generalizada ou baseada em subconjuntos), vicariância (estreita ou ampla) e especiação do efeito fundador[33]. Na tarefa de reconstruir a história biogeográfica, esses processos podem ser parametrizados para compreender melhor suas contribuições relativas e os parâmetros podem ser estimados usando dados filogenéticos e de distribuição, permitindo uma reconstrução abrangente da história biogeográfica das

[33] Esses processos biogeográficos podem ser amplamente categorizados em eventos anagenéticos, que ocorrem ao longo dos ramos da filogenia, e eventos cladogenéticos, associados aos nós de especiação. Os eventos anagenéticos incluem: dispersão, caracterizada pela expansão da distribuição geográfica de uma linhagem para novas áreas; extinção local (ou contração de distribuição), que corresponde à perda de ocupação de uma área previamente habitada; e troca de intervalo (range switching), quando uma linhagem substitui uma área de ocorrência por outra ao longo do tempo. Já os eventos cladogenéticos ocorrem durante a divergência de linhagens e incluem: simpatria estreita (narrow sympatry), na qual ambas as linhagens-filhas mantêm a mesma área ancestral restrita; simpatria generalizada (widespread sympatry), em que uma linhagem retém toda a distribuição ancestral enquanto a outra ocupa parte dela; simpatria por subconjunto (subset sympatry), quando uma das linhagens surge em um subconjunto da área ancestral; vicariância estreita (narrow vicariance), envolvendo a subdivisão relativamente equilibrada da distribuição ancestral entre linhagens-filhas; vicariância ampla (widespread vicariance), caracterizada pela fragmentação de distribuições extensas em múltiplas áreas; e especiação por evento fundador (founder-event speciation), em que uma nova linhagem se origina após dispersão de longa distância para uma área não ocupada anteriormente, frequentemente associada a eventos de colonização ("jump dispersal").

espécies (Figura 12; Matzke, 2013). Uma etapa crucial nessa reconstrução envolve definirmos o arcabouço espacial e delimitar as unidades biogeográficas, que são áreas geográficas onde eventos biogeográficos ocorrem ao longo do tempo, tema que continua sendo objeto de extenso debate na literatura (Ferrari, 2018).

Além disso, os processos biogeográficos podem ser facilitados ou limitados pela biologia das espécies (Garcia-R & Matkze, 2021). Nesse caso, incorporar características (*e.g.* ecologia de forrageamento em voo, etc.) permite adicionar complexidade aos modelos biogeográficos e proporciona um entendimento mais profundo sobre a evolução espacial e temporal dos grupos em questão (Matzke, 2016a). Quanto às aves, sabemos que características morfológicas facilitam processos de dispersão (*e.g.* wing-hand-index; Arango *et al*., 2022). No entanto, existe um debate contínuo sobre o papel dos traços ecológicos, como o comportamento migratório, na promoção desses processos, um tema frequentemente negligenciado nas análises devido aos desafios práticos de incorporar tais informações. De fato, a migração evoluiu independentemente várias vezes entre linhagens aviárias (Bruderer & Salewski, 2008; Somveille *et al*., 2015), e em Emberizoidea, a migração de longa distância parece ter ocorrido principalmente por mudanças nas áreas de invernada da América do Norte, em vez de mudanças nas áreas de reprodução a partir das latitudes tropicais (Winger *et al*., 2014). No entanto, se a evolução do comportamento migratório está diretamente ligada a processos biogeográficos como a dispersão permanece incerto. Mais uma linha que precisamos pensar em como costurar no nosso bastidor.

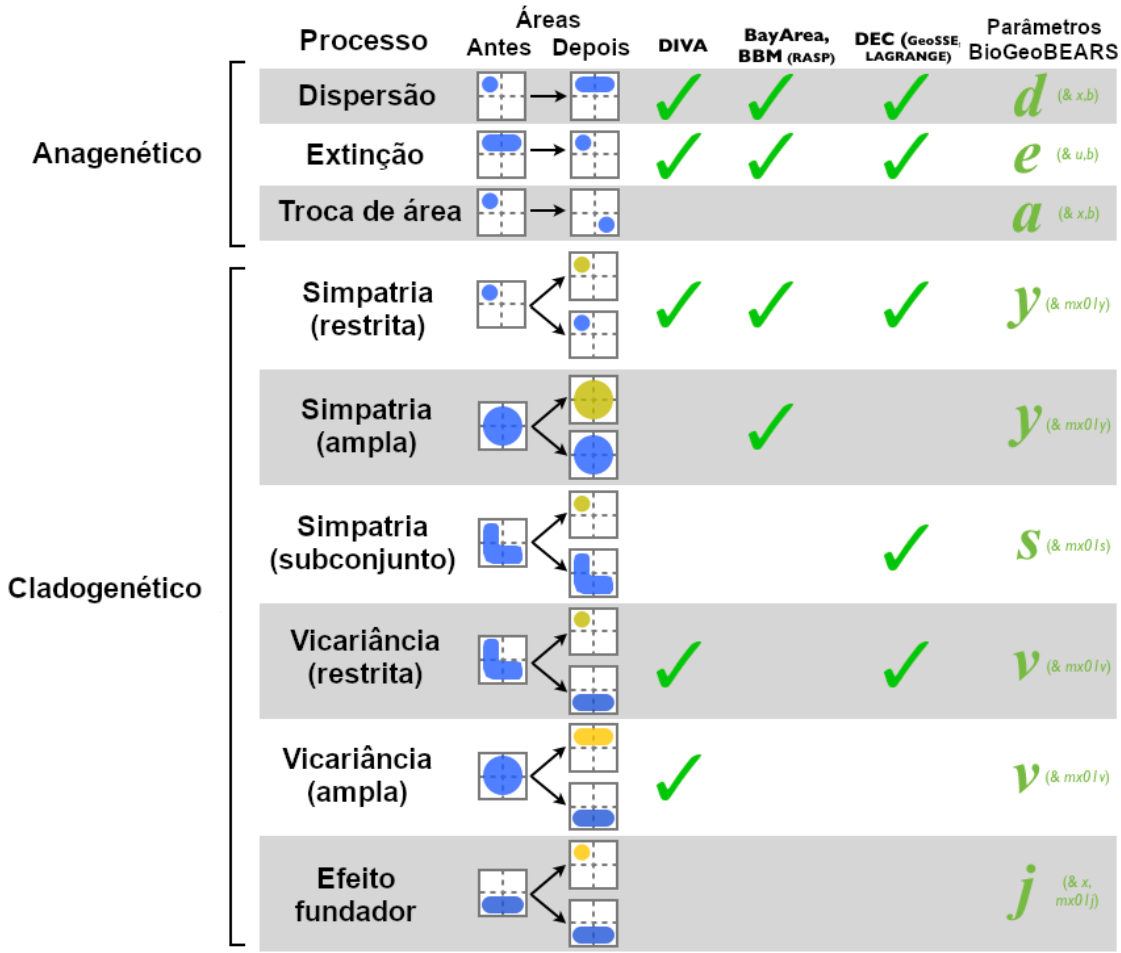


Figura 12. Esquema com processos biogeográficos controlados pelos parâmetros especificado no supermodelo BioGeoBEARS, permitindo que sejam ativados, desativados ou estimados a partir dos dados. Extraído de Matzke (2013).

O som no espaço e no tempo

Entre as quase 11.200 espécies de aves viventes[34], a comunicação acústica funciona como fonte de reconhecimento e sobrevivência intra e interespecífica (Brumm & Naguib, 2009; Chen & Wiens, 2020; Barros *et al*., 2024). A evolução dos sinais acústicos é complexa e reflete uma interação entre fatores intrínsecos (*e.g.* morfologia da siringe; Catchpole & Slater, 2003; Riede *et al*., 2019; Friedman *et al*., 2019) e fatores

[34] Esse número é derivado da *The eBird/Clements Checklist of Birds of the World* v2024 (Clements et al., 2024), uma das principais referências taxonômicas para aves em escala global. Entretanto, o número total de espécies reconhecidas permanece objeto de debate, pois varia conforme o conceito de espécie adotado e a autoridade taxonômica consultada. Diferentes abordagens — como o Conceito Biológico de Espécie, baseado no isolamento reprodutivo (Mayr, 1942), e o Conceito Filogenético de Espécie, fundamentado na diagnosabilidade e ancestralidade comum — podem reconhecer limites distintos entre linhagens, resultando em discrepâncias nas estimativas de diversidade. Assim, os valores apresentados pelo Clements/eBird representam uma hipótese taxonômica dentre várias atualmente utilizadas na ornitologia.

extrínsecos (*e.g.* condições ambientais; Brumm & Naguib, 2009; Barreira & García, 2019). Assim, compreender a diversidade acústica das aves requer uma visão integrada de como as características intrínsecas das linhagens (clados) são moduladas por filtros ambientais extrínsecos.

Ao longo da história evolutiva, os sinais acústicos se adaptaram às características ambientais, microclimáticas e da paisagem, de acordo com a Hipótese da Adaptação Acústica (AAH; Morton, 1975). Apesar de seu status fundamental, o apoio empírico à AAH permanece ambíguo, com estudos recentes sugerindo a necessidade de uma aplicação mais sutil da teoria (Boncoraglio & Saino, 2007; Pearse *et al.*, 2018; Freitas *et al*., 2024; Sagar *et al.*, 2024). Ainda assim, muito progresso foi feito na compreensão de como a estrutura do habitat afeta a propagação sonora e a detecção de espécies (Darras *et al*., 2016; Thomas *et al*., 2020), assim como como elementos bióticos e abióticos convergem para formar paisagens sonoras complexas (Gasc *et al*., 2017; Pijanowski & Farina, 2011).

Nesse âmbito, cabe pensar que a diversidade dos sinais acústicos aviários foi moldada tanto pelos requisitos funcionais da mensagem quanto pelas restrições específicas do ambiente (Brumm & Naguib, 2009). Nas aves, existe uma plasticidade comportamental para mitigar as interferências ajustando a frequência, a duração e o tempo das vocalizações afim de otimizar a relação sinal-ruído e, consequentemente, aumentar a probabilidade de entregar a mensagem ao receptor (Brumm & Naguib, 2009; Brumm & Slabbekoorn, 2005). Um caso clássico é o canto do amanhecer; de fato muitas espécies de aves estão mais ativas no começo da manhã, e, por muito tempo foi aceita a hipótese de que esse comportamento resultava da facilidade de transmissão sonora devido às características microclimáticas desse período do dia (Brown & Handford, 2003). Porém, hoje considera-se que canto do amanhecer é um comportamento complexo existindo várias hipóteses sobre a persistência desse comportamento que variam com o táxon (Aubin & Mathevon, 2020).

O papel do ambiente, fica evidente quando é observado que espécies que vivem em ambientes florestais, normalmente incorporam mais assobios, que são sons “musicais” criados ao forçar a respiração por uma pequena passagem entre os lábios que gera notas de alta frequência, em cantos do que espécies que ocorrem em ambientes abertos. Para espécies de ambientes abertos, elas tendem a ter mais trilos, que é uma série de notas agudas repetidas rapidamente, mais repetição de sinal e, em alguns casos, mais elementos

acústicos em suas vocalizações (Derryberry *et al*., 2018). As assinaturas vocais também são frequentemente sobrepostas por divergências regionais, ilustrando a natureza dinâmica da evolução da canção em escalas espaciais (Tubaro & Segura, 1994; Slabbekoorn & Smith, 2002; Henry *et al*., 2015).

O grau em que a plasticidade comportamental e o filtro ambiental impulsionam trajetórias macroevolutivas de longo prazo na diversificação acústica ainda não foi totalmente esclarecido. Em uma análise em larga escala dos tetrápodes, Chen *et al.* (2020) sugeriu que a comunicação acústica não acelera significativamente as taxas de diversificação de espécies quando analisando todo o grupo de tetrápodes, porém, é preciso analisar filogenias específicas para cada grupo, assim como o papel específico do sinal acústico. Nesse sentido, quando analisado psitaciformes, as taxas evolutivas dos parâmetros acústicos não diferiram das taxas das características morfológicas (Medina-García et al., 2015).

Para os passeriformes, a análise dos padrões evolutivos requer uma investigação mais detalhada por meio de filogenias específicas de clados, uma vez que o papel funcional da sinalização acústica pode variar substancialmente entre diferentes linhagens. Por exemplo, em passeriformes oscines[35], a sinalização acústica serve como um mediador complexo e erudito da seleção sexual (Searcy & Andersson, 1986); em aves marinhas, permite o reconhecimento individual dentro de colônias barulhentas de milhares de indivíduos (Jouventin *et al.*, 1999); nos anuros, ela previne a hibridização por meio do uso de chamadas específicas de espécie (Köhler *et al*., 2017); e em morcegos e cetáceos, sinais acústicos são amplamente usados para navegação e forrageamento (Au *et al*., 2004; Au *et al*., 2008).

Dentro dos Passeriformes, pesquisas em furnarídeos, a família a qual pertence o tão querido joão-de-barro (*Furnarius rufus*), demonstraram que a estrutura do habitat é um parâmetro decisivo na variação vocal: espécies que habitam ambientes abertos exibem um número significativamente maior de elementos acústicos (Derryberry *et al.*, 2018). Na mesma linha, Weir *et al*. (2012) observou que as aves de floresta tropical tendem a usar frequências mais altas e larguras de banda mais estreitas do que suas contrapartes em

[35] Subordem de aves da ordem Passeriformes, também conhecida como “aves canoras” (songbirds), caracterizada pelo desenvolvimento complexo do aparelho vocal (siringe) e pela capacidade de aprendizagem vocal em muitas espécies. Representam o grupo mais diverso de passeriformes, incluindo famílias como Thraupidae, Cardinalidae e Parulidae.

habitat aberto ou latitudes altas. No entanto, esses padrões não são universais; outros estudos indicam que a influência da estrutura do habitat pode ser marginal, com tais efeitos frequentemente desaparecendo após a aplicação de correções filogenéticas (Tietze *et al*., 2015). Essa discrepância sugere que, embora filtros ambientais sejam influentes, eles frequentemente interagem com, ou são ofuscados por uma história evolutiva profunda.

Essa inconsistência na literatura provavelmente reflete a complexidade multidimensional dos sinais acústicos, ressaltando a necessidade de uma abordagem macroevolutiva que leve rigorosamente em conta os sinais filogenéticos[36] (Farnsworth & Lovette, 2008; Tietze *et al.*, 2015; Yang *et al.,* 2025). Além disso, o fato de o canto ser aprendido e não inato pode acelerar a diversificação, caso conhecido para Thraupidae, onde apresentam grandes taxas de evolução do canto (Mason *et al*., 2017). Nesse contexto, como as características acústicas refletem tanto a história evolutiva quanto mediam as interações com o ambiente, sua análise detalhada torna-se essencial para entender os processos de diversificação. Apesar dos avanços nas últimas décadas na coleta e análise de dados acústicos aviários (Erbe & Thomas, 2022), o desafio prático de comparar sinais acústicos distintos adequadamente para sua incorporação em análises filogenéticas e ecológicas em escala macro persiste (Kershenbaum *et al*., 2016; Odom *et al*., 2021).

Rematar uma tese

E, de todas essas linhas emaranhadas, surge uma tese. Trata-se de um longo percurso em busca de compreender como os sons das aves evoluem no espaço e no tempo, qual o papel do ambiente nesse processo e quais mecanismos moldam essa trajetória evolutiva. Partimos da hipótese de que espécies que habitam ambientes distintos exibem padrões acústicos diferentes, impulsionados por pressões seletivas associadas à estrutura do habitat, seja ela contemporânea ou pretérita. Para investigar essas questões, organizamos a tese em quatro capítulos, cada um dedicado a responder aspectos fundamentais para a construção de um panorama mais amplo. O que começou como uma tentativa de compreender as aves do Pampa brasileiro, talvez motivada também por um

[36] Tendência de espécies evolutivamente aparentadas compartilharem características mais semelhantes entre si do que com espécies distantemente relacionadas, em razão da herança evolutiva comum. Em estudos comparativos, o sinal filogenético indica o grau em que um traço biológico (e.g., morfologia, comportamento, vocalização ou ecologia) é estruturado pelas relações de parentesco ao longo da história evolutiva.

certo apego afetivo, expandiu-se para uma escala neotropical, incorporando outras formações campestres, como o leitor poderá acompanhar nas páginas que seguem.

O primeiro capítulo, *A necessidade de compreender o som e o uso da informação acústica para a ornitologia*, surge de discussões iniciadas comigo e minha parceira de mestrado e amiga, Erika S. Petzhold, durante uma disciplina de bioacústica no PPGBAN em 2019, e ganhou andamento no XXXIX Encontro anual de Etologia de 2022, ao longo de uma coorientação de um Trabalho de Conclusão de curso em 2024, uma apresentação no Simpósio de Bioacústica do XXIX Congresso Brasileiro de Ornitologia em 2025, muitas conversas na hora do cafezinho, e culminou num capítulo para o livro Ornitologia Neotropical que está sendo incubado e em breve estará. Deixo para vocês a leitura de uma síntese do que discutimos sobre sistemas de classificação a partir de outros animais não-humanos para então pensar em como podemos dar um passo a mais na ornitologia ao nos debruçarmos sobre a estrutura sintática do som das aves, sejam cantos, chamados ou até mesmo sinais não-vocais.

Esse capítulo surge de uma necessidade operacional, a qual era olhar mais afundo a estrutura sintática do som das aves. Após um extenso diálogo com a literatura de bioacústica para outros grupos de vertebrados e propusemos uma forma objetiva e tecnicamente útil de descrever o som das aves, a partir dos elementos acústicos, sem perder a beleza e, de preferência, sem perder os risos e sorrisos que os cantos das aves frequentemente nos roubam. Nossos objetivos foram: 1) Facilitar a comunicação entre estudos, uma vez que é possível que diferentes pesquisas estejam se referindo aos mesmos sinais, mas com numerações distintas. Por exemplo, o estudo "a" pode estar tratando do sinal 1, enquanto o estudo "b" se refere ao sinal 3, que na verdade são equivalentes, mas foram numerados de forma inconsistente; 2) Oferecer pistas iniciais sobre a composição do repertório, especialmente em estudos de variação geográfica. Saber de antemão que uma sílaba composta por um conjunto de elementos acústicos específicos se mantém constante pode sugerir, de forma exploratória, as limitações do vocabulário da espécie. Isso pode ser posteriormente testado com análises específicas, mas já oferece uma pista visual relevante; e 3) Proporcionar um equilíbrio entre a análise dos parâmetros acústicos propriamente ditos, que ao delimitar intervalos, pode ser complexa devido à continuidade das medidas, e uma descrição mais técnica e informativa do que simplesmente designar os sinais como "assobio" ou "apito."

No segundo capítulo da tese, *Entre vozes suaves e notas estridentes: uma estrutura padronizada para analisar padrões acústicos de aves*, estávamos preocupadas sobre como extrair adequadamente os registros que seriam utilizados para usar nas análises macroevolutvas posteriormente. Para isso, queríamos descrever as principais variáveis acústicas da família Icteridae, levando em conta sua extensa diversidade taxonômica e ampla distribuição geográfica. Pois, com a necessidade de responder padrões ecológicos em larga-escala, as fonotecas suprem um papel essencial ao tornar acessíveis registros ao longo do globo. Porém, como mencionado, a variabilidade da coleta, implica na variabilidade dos dados. Nesse caso, é como se cada bordadeira, com diferentes níveis de experiência e tipos de linhas estivem a bordar a mesma tela.

Para atingir esse objetivo, desenvolvemos um protocolo rigoroso para extração de dados representativos e seleção de amostras. Ao estabelecer critérios padronizados e reproduzíveis, este estudo forneceu uma estrutura fundamental para análises comparativas em toda a família Icteridae, apoiando avanços em pesquisas ecológicas, evolutivas e comportamentais, o qual pode facilmente ser extrapolado para outros taxa. O que surgiu como uma necessidade de pensar na extração de dados de forma padronizada para Icteridae, se mostrou como uma possibilidade de trabalhar com bancos de dados com tamanha variabilidade e para qualquer grupo taxonômico desde que haja disponibilidade dos registros.

Esse capítulo surge de muitas conversas que tive com diversas pesquisadoras durante meu período de doutorado sanduiche no K Lisa Yang Center, no Laboratório de Ornitologia da Universidade de Cornell. Problemas esse que surgiam enquanto eu via a neve cair pela janela, enfrentava um frio histórico e principalmente, vivia o desafio de ser estrangeira. Desloquei-me do meu conforto para uma experiência muito marcante do ponto de vista acadêmico e pessoal, que resultou nesse capítulo que está sob revisão em um volume especial de bioacústica da Revista El hornero e será apresentado no simpósio de bioacústica da XXI Reunión Argentina de Ornitología em agosto deste ano.

O terceiro capítulo, *Recontando a história biogeográfica dos Emberizoidea clado na América do Sul*, nasceu de uma tentativa de responder a perguntas fundamentais para a minha tese, além de reunir dados que foram utilizados nos capítulos seguintes. Ao longo da tese, busquei compreender a evolução do sinal acústico em aves campestres e sua relação com as áreas abertas. Embora este capítulo possa parecer, à primeira vista, um pouco deslocado, ele representa um passo necessário: antes de investigar como os sinais acústicos evoluíram no tempo e no espaço, percebi que era essencial entender a relação

profunda entre as espécies e o espaço que ocupam, aqui chamado de “áreas abertas”, isto é, paisagens que incluem campos (grasslands), arbustos (shrublands), áreas montanhosas (rocky habitats), entre outras.

Durante a disciplina de Métodos em Biogeografia Histórica em 2023, oferecida na UFRGS e ministrada pelos professores que hoje são colaboradores deste capítulo, encontrei um caminho para explorar essas questões a partir de dados atuais. Nossa intenção foi preencher lacunas importantes no entendimento dos processos históricos que moldaram a diversidade das aves campestres, talvez buscar as pontas soltas e juntá-las. Para isso, utilizamos o clado *Emberizoidea*, uma das maiores radiações aviárias do Hemisfério Ocidental. Ao longo do processo, fui me familiarizando com as análises biogeográficas, um universo até então desconhecido para mim. O caminho foi longo e a curadoria dos dados, mais extensa do que imaginei, especialmente considerando os mais de 239 milhões de registros recuperados do GBIF. Após cuidadosos filtros de qualidade, reduzi esse número a um conjunto mais manejável, representando 743 espécies com uma filogenia bem estabelecida.

Para a análise, atribuímos as coordenadas geográficas a dois esquemas distintos de regionalização: um baseado em agrupamentos UPGMA derivados da similaridade filogenética para agrupar regiões biogeográficas, e outro baseado em áreas pré-estabelecidas como os domínios biogeográficos propostos por Morrone. Em seguida, testamos seis modelos biogeográficos no BioGeoBEARS (com e sem o parâmetro J, que representa eventos de dispersão fundadora ou "saltos" entre áreas), totalizando 36 modelos. O tempo de processamento foi considerável, buscamos computadores com maior capacidade para executar as análises e, ao final, obtivemos mais resultados do que conseguimos, por ora, explorar plenamente neste capítulo. Com o objetivo de reconstruir a história biogeográfica dos Emberizoidea no Neotrópico, pretendemos testar a influência de diferentes configurações de áreas biogeográficas, bem como o papel do comportamento migratório como uma característica potencialmente determinante na dinâmica de dispersão e vicariância. Para isso, formulamos as seguintes hipóteses: (1) diferentes configurações espaciais resultarão em modelos biogeográficos distintos, refletindo a sensibilidade das inferências à delimitação das áreas; e (2) o comportamento migratório influencia os processos de dispersão, afetando a dinâmica biogeográfica do grupo.

Eu tive a oportunidade de apresentar os resultados obtidos em cada etapa do processo em diferentes eventos acadêmicos como VII Congresso Uruguaio de Zoologia (CUZ) em Montevideu logo após a filtragem dos dados; e com as análises concluídas apresentei na IV Reunião da Associação Brasileira de Ecologia (RABECO) em Salvador e XX Reunião Argentina de Ornitologia (RAO) em Miramar de Ansenuza. No último, tive o prazer de receber o prêmio de melhor apresentação oral na categoria de estudante de pós-graduação. Esse capítulo foi parte de uma etapa importante da minha tese, que é o exame de qualificação e além disso, tenho dialogado sobre esse estudo com muitas pesquisadoras diferentes, olhar por outras perspectivas, aperfeiçoar o que venho fazendo, mas principalmente para tentar recontar essa história e deixar "os nós mais bem atados".

No quarto e último capítulo da tese, *Como o som molda a macroevolução dos passeriformes*, buscamos entender como a sinalização acústica evoluiu dentro dos Icteridae e investigar o papel de fatores históricos e contemporâneos na formação da estrutura e dos parâmetros dos sinais acústicos. Como podem observar, usamos os icterídeos como modelo, mas poderia se aplicar a qualquer outro grupo monofilético. Nossa vontade era aplicar a análise a toda superfamília Emberizoidea, mas fui lembrada ao longo do processo que o tempo da tese exige pragmatismo nas decisões. Mais especificamente, buscamos examinar como o tipo de habitat (*i.e*. aberto *vs.* fechado) e a história biogeográfica (*e.g*. o tempo passado em ambientes específicos) influenciam a diversificação ou conservadorismo das características acústicas. Para isso, hipotetizamos que espécies que habitam ambientes distintos exibirão padrões acústicos distintos impulsionados por pressões seletivas impostas pela estrutura do habitat. Propomos que linhagens com histórias evolutivas mais longas em ecossistemas abertos mostrarão maior diferenciação acústica do que as espécies que vivem em florestas. Especificamente, espécies de campos e savanas devem apresentar adaptações de sinal que favorecem a propagação a longas distâncias, como frequências mais baixas e duração prolongada do sinal. Para investigar essas hipóteses, combinamos dados ambientais e acústicos obtidos por meio de um protocolo sistemático de amostragem e aplicamos um conjunto de métodos filogenéticos comparativos para examinar os padrões macroevolutivos da evolução do sinal acústico nos Icteridae, uma linhagem aviária amplamente distribuída e ecologicamente diversa.

Esse capítulo começa a ganhar forma na Oficina de Macroevolução na UFRGS em 2023, depois apresento uma versão de objetivo e análise de alguns dados que

começaria a me fazer refletir sobre a qualidade dos dados no II Congresso de Ornitologia das Américas, o qual tive também a possibilidade de participar da organização. Desde então, passei a refletir sobre a necessidade de pensar na necessidade de como inserir os dados acústicos nas análises macorevolutivas, o que de fato me levou a passar uma temporada em Cornell para isso e o que podem observar agora é o resultado de um processo longo, cheio de fios desemaranhados e que foram sutilmente costurando algo.

Assim como bordar, a escrita da tese tem seu tempo e a forma foi se desenhando a medida da própria escrita. Com o começo desse processo, conseguia ter alguns vislumbres do resultado, mas agora, enxergando o todo, fico orgulhosa com a obra final, a qual sempre será inacabada. E justamente esse fato, que faz dessa tese, parte da ciência. Uma das lições mais difíceis, mas mais importante é compreender que construímos conhecimento a partir do que existe, usando a repetição da técnica apreendida, tal qual no bordado e somado a nossa criatividade, acrescentamos algo mais a essa enormidade de informações que temos hoje. Além disso, outra aprendizagem é que ciência não se faz só, ela se faz nas trocas, nos cafezinhos do laboratório, nas conversas de corredor, na sala de aula, nos congressos e nas reuniões. Ela se faz nas discussões, nas dúvidas e incertezas que nossas hipóteses permitem e necessitam. É a partir da relação com o outro que se faz ciência e foi o que fiz ao longo da tese, não só aproveitando todas as oportunidades para apresentar e discutir meu trabalho, mas convidando diferentes pesquisadoras para integrar cada um dos capítulos e reconhecer o seu papel no avanço do conhecimento da área.

Cara leitora, como podes ver, sou uma pessoa de muitas palavras, e espero que as próximas que se seguem, em cada capítulo, sejam tão satisfatórias para ti que vais ler, quanto foram para mim, que as escreveu.

Boa leitura!

Literatura citada

Alcock, J. (2016). Comportamento animal: uma abordagem evolutiva. Artmed editora.

Aleixo, A., & Rossetti, D. D. F. (2007). Avian gene trees, landscape evolution, and geology: towards a modern synthesis of Amazonian historical biogeography?. *Journal of Ornithology*, *148*(Suppl 2), 443-453.

Andrade, B. O., et al. (2023). 12,500+ and counting: biodiversity of the Brazilian Pampa. Frontiers of Biogeography, 15(2).

Aplin, L. M. (2019). Culture and cultural evolution in birds: a review of the evidence. Animal Behaviour, 147, 179-187.

Arango, A., Pinto-Ledezma, J., Rojas-Soto, O., & Villalobos, F. (2025). Broad geographic dispersal is not a diversification driver for Emberizoidea. Proceedings B, 292(2039), 20241965. https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1965

Arias-Aguilar, A., Hintze, F., Aguiar, L. M. S., Rufray, V., Bernard, E., & Pereira, M. J. R. (2018). Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. In Mammal Research (Vol. 63, Issue 3, pp. 231–253). Springer Berlin Heidelberg.

Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008a). Signal recording and data acquisition. In W. W. Au & M. C. Hastings (Eds.), Principles of marine bioacoustics (Vol. 510). New York: Springer.

Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008b). Emission of social sounds by marine animals. In W. W. Au & M. C. Hastings (Eds.), Principles of marine bioacoustics (Vol. 510). New York: Springer.

Aubin, T., & Mathevon, N. (Eds.). (2020). *Coding strategies in vertebrate acoustic communication* (Vol. 7). Springer Nature.

Azpiroz, A. B. (2012). Aves de las pampas y campos de Argentina Brasil y Uruguay: una guia de identificacion. Pressur.

Bakker, A., Withrow, K., & Thompson, N. S. (1983). Levels of organization in the song of the Bobolink (Icteridae: Dolichonyginae). Zeitschrift für Tierpsychologie, 62(2), 105-114.

Barker, K. et al. (2015). New insights into New World biogeography: An integrated view from the phylogeny of blackbirds, cardinals, sparrows, tanagers, warblers, and allies. Auk, v. 132, n. 2, p. 333–348, 1 abr. https://doi.org/10.1642/AUK-14-110.1

Barreira, A. S., & García, N. C. (2019). Visual and acoustic communication in Neotropical birds: Diversity and evolution of signals. In Behavioral ecology of Neotropical birds (pp. 155-183). Cham: Springer International Publishing.

Barros, C. M., Benedict, L., & Sanchez, K. A. (2024). A review of the literature on female birdsong function. Animal Behaviour, 216, 23-35.

Belton, W. (1982). Aves silvestres do Rio Grande do Sul (No. 6). Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

Boncoraglio, G., & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. Functional Ecology, 134-142.

Bonnevie, B. T., & Craig, A. J. F. K. (2018). A song for the South also: defining birdsong in global terms. In Ibis (Vol. 160, Issue 4, pp. 926–928). Blackwell Publishing Ltd.

Brandes, T.S. (2008). Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. Bird Conservation International, 18(S1), S163–S173.

Brown, T. J., & Handford, P. (2003). Why birds sing at dawn: the role of consistent song transmission. *Ibis*, *145*(1), 120-129.

Berwick, R. C., Okanoya, K., Beckers, G. J., & Bolhuis, J. J. (2011). Songs to syntax: the linguistics of birdsong. Trends in cognitive sciences, 15(3), 113-121.

Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. Advances in the Study of Behavior, 35, 151-209.

Brumm, H., & Naguib, M. (2009). Chapter 1 Environmental Acoustics and the Evolution of Bird Song. In Advances in the Study of Behavior (Vol. 40, pp. 1–33).

Bruno, J.H., Jarvis, E. D., Liberman, M., & Tchernichovski, O. (2021). Birdsong learning and culture: analogies with human spoken language. Annual review of linguistics, 7(1), 449-472.

Bruderer, B., & Salewski, V. (2008). *Evolution of bird migration in a biogeographical context.* Journal of biogeography, 35(11), 1951-1959. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01992.x

Catchpole, C. K., & Slater, P. J. (2003). Bird song: biological themes and variations. Cambridge university press.

Capurucho, J. M. G., Musher, L. J., Lees, A., Rego, M. A., Del-Rio, G., Aleixo, A., ... & Thom, G. (2024). Amazonian avian biogeography: Broadscale patterns, microevolutionary processes, and habitat-specific models revealed by multidisciplinary approaches. *Ornithology*, *141*(1), ukad051.

Caselli, C. B., Mennill, D. J., Bicca-Marques, J. C., & Setz, E. Z. F. (2014). Vocal behavior of black-fronted titi monkeys (Callicebus nigrifrons): Acoustic

properties and behavioral contexts of loud calls. *American Journal of Primatology, 76*, 788–800.

Caselli, C. B., Romano, V., Ruiz-Miranda, C. R., & da Cunha, R. G. T. (2018). Las voces de los primates neotropicales:¿ qué dicen. *La Primatología en Latinoamérica*, 267-281.

Chávez-Andrade, M., de la Cueva, H., Luévano-Esparza, J., & Lavín-Murcio, P. A. (2023). Contributions of bioacoustics to the scientific knowledge of marine mammals in Latin America. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, *18*(1), 96-113.

Chen, Z., & Wiens, J. J. (2020). The origins of acoustic communication in vertebrates. Nature Communications, 11(1).

Cholewiak, D. M., Sousa-Lima, R. S., & Cerchio, S. (2013). Humpback whale song hierarchical structure: Historical context and discussion of current classification issues. Marine Mammal Science, 29(3).

Cracraft, J. (1985). Historical biogeography and patterns of differentiation within the south american avifauna: areas of endemism. Ornithological Monograph 36: 49–84. Washington DC.

Darras, K., Pütz, P., Rembold, K., & Tscharntke, T. (2016). Measuring sound detection spaces for acoustic animal sampling and monitoring. Biological Conservation, 201, 29-37.

Darras, K., Batáry, P., Furnas, B. J., Grass, I., Mulyani, Y. A., & Tscharntke, T. (2019). Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. Ecological Applications, 29(6), e01954.

Da Silva, M. L., & Vielliard, J. (2011). A aprendizagem vocal em aves evidências comportamentais e neurobiológicas.

De Araújo, C. B., Lopes, L. E., Silva, J. M. C., & Villard, M.-A. (2021). The optimal listening period for an effective assessment of bird richness and composition: A case study of Neotropical forest. Journal of Ornithology, 162(1), 303–306.

Derryberry, E. P., Seddon, N., Derryberry, G. E., Claramunt, S., Seeholzer, G. F., Brumfield, R. T., & Tobias, J. A. (2018). Ecological drivers of song evolution in birds: disentangling the effects of habitat and morphology. Ecology and evolution, 8(3), 1890-1905.

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... & Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. BioScience, 67(6), 534-545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014

Diniz, D. (2024). *Carta de uma orientadora: sobre pesquisa e escrita acadêmica*. Civilização Brasileira.

Endrigo, E., & Develey, P. F. (2004). Aves da Grande São Paulo: guia de campo. Aves e Fotos. 2004.

Erbe, C., & Thomas, J. A. (Eds.). (2022). History of Sound Recording and Analysis. In G. Pavan, G. Budney, H. Klinck, H. Glotin, D. J. Clink, & J. A. Thomas (Authors), Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1. Gewerbestrasse, Switzerland: Springer Nature.

Fabricio, L. S. P. (2024). Repertório acústico da comunidade de Icteridae do bioma Pampa. Traballho de Conclusão de Curso. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Farnsworth, A., & Lovette, I. J. (2008). Phylogenetic and ecological effects on interspecific variation in structurally simple avian vocalizations. Biological Journal of the Linnean Society, 94(1), 155-173.

Ferrari, A. (2018). *Biogeographical units matter.* Australian Systematic Botany, 30(6), 391-402. https://doi.org/10.1071/SB16054

Fischer, J., Noser, R., & Hammerschmidt, K. (2013). Bioacoustic field research: A primer to acoustic analyses and playback experiments with primates. *American Journal of Primatology, 75*, 643–663.

Fraisl, D., See, L., MacFeely, S., Moorthy, I., Ulrich, G. S., Seidu, O., Grey, F., Schütz, S. & McCallum, I. (2026). Why citizen science is now essential for official statistics. *Communications Sustainability*, *1*(1), 2.

Fraser, H., Parker, T., Nakagawa, S., Barnett, A., & Fidler, F. (2018). Questionable research practices in ecology and evolution. *PloS one*, *13*(7), e0200303.

Freitas, B., D'Amelio, P. B., Milá, B., Thébaud, C., & Janicke, T. (2024). The acoustic adaptation hypothesis across terrestrial vertebrates: a meta-analysis.

Friedman, N. R., Miller, E. T., Ball, J. R., Kasuga, H., Remeš, V., & Economo, E. P. (2019). Evolution of a multifunctional trait: shared effects of foraging ecology

and thermoregulation on beak morphology, with consequences for song evolution. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 286(1917).

Garcia-R, J. C., & Matzke, N. J. (2021). *Trait-dependent dispersal in rails (Aves: Rallidae): Historical biogeography of a cosmopolitan bird clade.* Molecular Phylogenetics and Evolution, 159, 107106. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107106

Gasc, A., Francomano, D., Dunning, J. B., & Pijanowski, B. C. (2017). Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions. The Auk: Ornithological Advances, 134(1), 215-228.

Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. Methods in Ecology and Evolution, 10(2), 169–185.

Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (Eds.). (2019). Birds of the World. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology. Retrieved from https://birdsoftheworld.org/bow/home/

Gonçalves, B. C., & Ferraz, G. (2016). Is hearing believing Patterns of bird voice misidentification in an online quiz. Revista Brasileira de Ornitologia, 24(3).

Gregory, R. D., Gibbons, D. W., & Donald, P. F. (2004). Bird census and survey techniques. Bird ecology and conservation, 17-56.

Hashimoto, T., Usui, N., Taira, M., Nose, I., Haji, T., & Kojima, S. (2006). The neural mechanism associated with the processing of onomatopoeic sounds. Neuroimage, 31(4), 1762-1770.

Henry, L., Barbu, S., Lemasson, A., & Hausberger, M. (2015). Dialects in animals: evidence, development and potential functions. Animal Behavior and Cognition, 2(2), 132-155. Kershenbaum, A., Blumstein, D. T., Roch, M. A., Akçay, Ç., Backus, G., Bee, M. A., ... & Zamora-Gutierrez, V. (2016). Acoustic sequences in non-human animals: a tutorial review and prospectus. Biological Reviews, 91(1), 13-52.

Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H., Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection. Ecology Letters, 8, 23–29. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x

Jäckel, D., Mortega, K. G., Sturm, U., Brockmeyer, U., Khorramshahi, O., & Voigt-Heucke, S. L. (2021). Opportunities and limitations: A comparative analysis of citizen science and expert recordings for bioacoustic research. Plos one, 16(6), e0253763.

Janik, V. M., & Slater, P. J. B. (1998). Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. Animal Behaviour, 56(4), 829–838. https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0881

Janik, V. M. (2014). Cetacean vocal learning and communication. Current Opinion in Neurobiology, 28, 60–65.

Jarvis, A., Touval, J. L., Schmitz, M. C., Sotomayor, L., & Hyman, G. G. (2010). Assessment of threats to ecosystems in South America. *Journal for Nature Conservation*, *18*(3), 180-188.

Jouventin, P., Aubin, T., & Lengagne, T. (1999). Finding a parent in a king penguin colony: the acoustic system of individual recognition. *Animal Behaviour*, *57*(6), 1175-1183.

Kershenbaum, A., Blumstein, D. T., Roch, M. A., Akçay, Ç., Backus, G., Bee, M. A., Bohn, K., Cao, Y., Carter, G., Cäsar, C., Coen, M., Deruiter, S. L., Doyle, L., Edelman, S., Ferrer-i-Cancho, R., Freeberg, T. M., Garland, E. C., Gustison, M., Harley, H. E., … Zamora-Gutierrez, V. (2016). Acoustic sequences in non-human animals: A tutorial review and prospectus. Biological Reviews, 91(1), 13–52.

Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C. F. B., Rödel, M. O., & Vences, M. (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. In Zootaxa (Vol. 4251, Issue 1, pp. 1–124). Magnolia Press.

Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A., & Simmons, B. (2016). Assessing data quality in citizen science. Frontiers in Ecology and the Environment, 14(10), 551-560.

Kroodsma, D. E. (1974). Song Learning, Dialects, and Dispersal in the Bewick's Wren. Zeitschrift Für Tierpsychologie, 35(4), 352–380.

Laing, C. (2019). A role for onomatopoeia in early language: Evidence from phonological development. Language and Cognition, 11(2), 173–187.

Lowther, P. E. (1975). Geographic and ecological variation in the family Icteridae. The Wilson Bulletin, 87(4), 481-495.

Lundquist, E., Peterson, J., Truong, M. X., Gumucio, G., & Van Der Wal, R. (2025). Birdwatching in the digital age: how technologies shape relationships to birds. *BioScience*, *75*(7), 534-544.

Marler, P. (1969). Vocalizations of wild chimpanzees—an introduction. In *Proceedings of the 2nd International Congress of Primatology, Atlanta, 1968* (Vol. 1, pp. 94–100). Basel: Karger.

Marler, P. (1970). A comparative approach to vocal learning: song development in white-crowned sparrows. Journal of comparative and physiological psychology, 71(2p2), 1.

Mason, N. A., Burns, K. J., Tobias, J. A., Claramunt, S., Seddon, N., & Derryberry, E. P. (2017). Song evolution, speciation, and vocal learning in passerine birds. Evolution, 71(3), 786-796.

Matzke, N. J. (2013). *Probabilistic historical biogeography: new models for founder-event speciation, imperfect detection, and fossils allow improved accuracy and model-testing.* University of California, Berkeley ProQuest Dissertations & Theses, 2013. 3616487.

Matzke, N. J. (2016a). *Trait-dependent dispersal models for phylogenetic biogeography, in the R package BioGeoBEARS.* Integrative and Comparative Biology, 56, E330. Available on: https://phylo.wdfiles.com/local--files/abstracts-for-presentations-by-nicholas-j-matzke/2016-06-21_Matzke_trait-dependent_dispersal_v4.pdf

Medina-García, A., Araya-Salas, M., & Wright, T. F. (2015). Does vocal learning accelerate acoustic diversification? Evolution of contact calls in Neotropical parrots. *Journal of Evolutionary Biology*, *28*(10), 1782-1792.

Mitani, J. C., & Stuht, J. (1998). The evolution of nonhuman primate loud calls: Acoustic adaptation for long-distance transmission. *Primates, 39*, 171–182.

Morton, E. S. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. The American Naturalist, 109(965), 17-34.

Muir, J., Barnett, A., & Svensson, M. S. (2019). The Vocal Repertoire of Golden-Faced Sakis, Pithecia chrysocephala, and the Relationship Between Context and Call Structure. International Journal of Primatology, 40(6), 721–743.

Mulligan., J. (1966): Singing behavior and its development in the song sparrow, Melospiza melodia. Univ. Calif. Publ. Zool. 81, 1-76.

Naguib, M. (2006). Animal communication: overview.

Norambuena, H. V., & Van Els, P. (2021). *A general scenario to evaluate evolution of grassland birds in the Neotropics.* Ibis International Journal of Avian Science. Volume163, Issue2, 722-727. https://doi.org/10.1111/ibi.12905

Odom, K. J., Araya-Salas, M., Morano, J. L., Ligon, R. A., Leighton, G. M., Taff, C. C., Dalziell, A. H., Billings, A. C., Germain, R. R., Pardo, M., de Andrade, L. G., Hedwig, D., Keen, S. C., Shiu, Y., Charif, R. A., Webster, M. S., & Rice, A. N. (2021). Comparative bioacoustics: a roadmap for quantifying and comparing animal sounds across diverse taxa. Biological Reviews, 96(4), 1135–1159.

Oliveira, T.E., Freitas, D.S., Gianezini, M., Ruviaro, C.F., Zago, D., Mércio, T.Z., Dias, E.A., Lampert, V. do N., Barcellos, J.O.J. (2017). *Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands*. Land Use Policy, 63, 394–400. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010

Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., da Silva Menezes, L., Anand, M., Baeza, S., Carlucci, M. B., ... & Müller, S. C. (2022). *Placing Brazil's grasslands and savannas on the map of science and conservation.* Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 56, 125687. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125687

Pearse, W. D., Morales-Castilla, I., James, L. S., Farrell, M., Boivin, F., & Davies, T. J. (2018). Global macroevolution and macroecology of passerine song. *Evolution*, *72*(4), 944-960.

Penar, W., Magiera, A., & Klocek, C. (2020). Applications of bioacoustics in animal ecology. Ecological Complexity, 43.

Pijanowski, B. C., & Farina, A. (2011). Introduction to the special issue on soundscape ecology. Landscape Ecology, 26(9), 1209-1211.

Ribas, C. C., & Aleixo, A. (2019). Diversity and evolution of Amazonian birds: implications for conservation and biogeography. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *91*(suppl 3), e20190218.

Ridgely, R. S. (2015). Aves do Brasil: mata atlântica do Sudeste. Editora Horizonte.

Riede, T., Thomson, S. L., Titze, I. R., & Goller, F. (2019). The evolution of the syrinx: an acoustic theory. PLoS biology, 17(2), e2006507.

Robinson, W. D., Lees, A. C., & Blake, J. G. (2018). Surveying tropical birds is much harder than you think: A primer of best practices. Biotropica, 50(6), 846-849.

Searcy, W. A., & Andersson, M. (1986). Sexual selection and the evolution of song. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 507-533.

Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., & Marler, P. (1980). Monkey responses to three different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic communication. *Science, 210*, 801–803.

Sick, H., Haffer, J., Alvarenga, H. F., Pacheco, J. F., & Barruel, P. (1997). Ornitologia Brasileira Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro.

Skutch, A. F. (1996). Orioles, blackbirds, and their kin: a natural history. University of Arizona Press.

Sagar, H. S., Anand, A., Persche, M. E., Pidgeon, A. M., Zuckerberg, B., Şekercioğlu, Ç. H., & Buřivalová, Z. (2024). Global analysis of acoustic frequency characteristics in birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *291*(2034).

Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 357(1420), 493-503.

Soares, L., Cockle, K. L., Ruelas Inzunza, E., Ibarra, J. T., Miño, C. I., Zuluaga, S., ... & Martins, P. V. R. (2023). Neotropical ornithology: Reckoning with historical assumptions, removing systemic barriers, and reimagining the future. *Ornithological Applications*, *125*(1), duac046.

Somveille, M., Rodrigues, A. S., & Manica, A. (2015). *Why do birds migrate? A macroecological perspective.* Global Ecology and Biogeography, 24(6), 664-674. https://doi.org/10.1111/geb.12298

Stotz, D. F. (1996). Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press.

Stowell, D., Seki, H., Gill, L. F., Klinck, H., & Morfi, V. (2019). Automatic acoustic detection of birds through deep learning: The first Bird Audio Detection challenge. Methods in Ecology and Evolution, 10(3), 368–380.

Strömberg, C. A. (2011). *Evolution of grasses and grassland ecosystems.* Annual review of Earth and planetary sciences, 39(1), 517-544. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152402

Struhsaker, T. T. (1967). Auditory communication among vervet monkeys (Cercopithecus aethiops). In S. A. Altmann (Ed.), *Social communication among primates* (pp. 281–324). Chicago: University of Chicago Press.

Sugai, L. S. M., Silva, T. S. F., Ribeiro, J. W., & Llusia, D. (2020). A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 6(3), 220–235.

Tietze, D. T., Martens, J., Fischer, B. S., Sun, Y. H., Klussmann-Kolb, A., & Päckert, M. (2015). Evolution of leaf warbler songs (Aves: Phylloscopidae). Ecology and Evolution, 5(3), 781-798.

Thomas, A., Speldewinde, P., Roberts, J. D., Burbidge, A. H., & Comer, S. (2020). If a bird calls, will we detect it? Factors that can influence the detectability of calls on automated recording units in field conditions. Emu, 239–248.

Tubaro, P. L., & Segura, E. T. (1994). Dialect differences in the song of Zonotrichia capensis in the southern Pampas: a test of the acoustic adaptation hypothesis. Condor, 1084-1088.

van Els, P., Norambuena, H. V., & Etienne, R. S. (2019). *From pampa to puna: Biogeography and diversification of a group of Neotropical obligate grassland birds (Anthus: Motacillidae).* Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research, 57(3), 485-496. https://doi.org/10.1111/jzs.12278

Vella, K., Johnson, D., & Roe, P. (2021). Describing the sounds of nature: Using onomatopoeia to classify bird calls for citizen science. PLoS ONE, 16(5 May).

Vickery, P. D., Tubaro, P. L., Cardosa da Silva, J. M., Peterjohn, B. G., Herkert, J. R., & Cavalcanti, R. B. (1999). *Conservation of grassland birds in the western hemisphere*. Studies in avian biology, 19, 2-26. Available on https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1533&context=sab

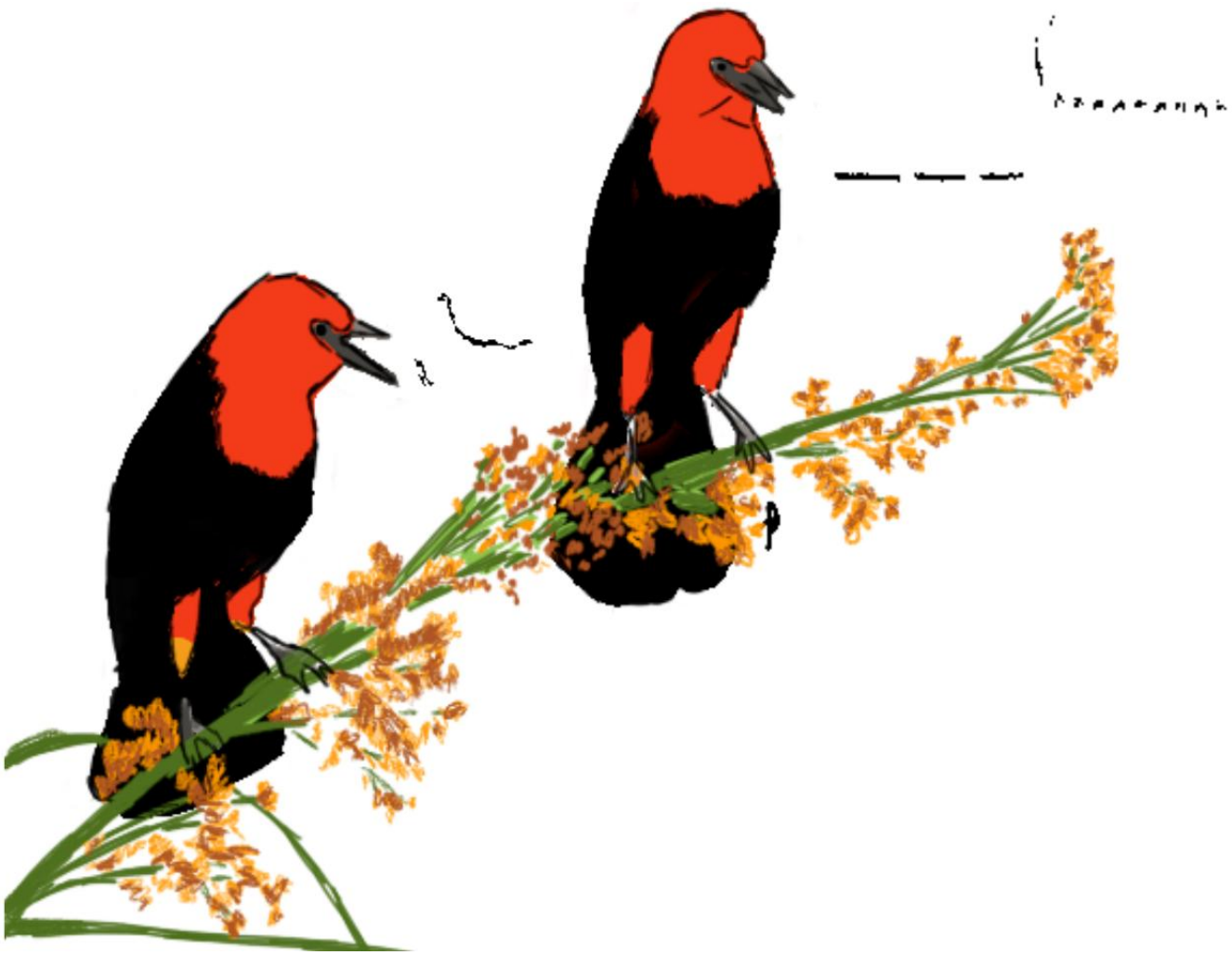
Vickery, P. D., Herkert, J. R., Knopf, F. L., Ruth, J., & Keller, C. E. (2000). *Grassland birds: An overview of threats and recommended management strategies.* Strategies for bird conservation: The Partners in Flight planning process, 1-5.

Weir, J. T., Wheatcroft, D. J., & Price, T. D. (2012). The role of ecological constraint in driving the evolution of avian song frequency across a latitudinal gradient. Evolution, 66(9), 2773-2783.

Winger, B. M., Barker, F. K., & Ree, R. H. (2014). *Temperate origins of long-distance seasonal migration in New World songbirds.* Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(33), 12115-12120. https://doi.org/10.1073/pnas.1405000111

Yang, H., Zhang, J., & Roe, P. (2013). Reputation modelling in Citizen Science for environmental acoustic data analysis. *Social Network Analysis and Mining*, *3*(3), 419-435.

Yang, J., Arvind, C., Barber, R. A., Johnson, O., O'Brien, K., Stanley, R., ... & Tobias, J. A. (2025). Song complexity in suboscine birds: evolutionary drivers and ecological constraints. bioRxiv, 2025-10.



CAPÍTULO 1

A necessidade de compreender o som e o uso da informação acústica para a ornitologia

Artigo aceito para o livro de Ornitologia na Perspectiva Neotropical

Patrícia Paludo, Luisa Simões Pires Fabricio, Erika Sant'Anna Petzhold & Maria João Ramos Pereira

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Arias-Aguilar, A. P. 2017. Morcegos insetívoros aéreos neotropicais: Identificação acústica e padrões de estruturação de assembleias. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Arias-Aguilar, A., F. Hintze, L. M. S. Aguiar, V. Rufray, E. Bernard, and M. J. R. Pereira. 2018. Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. In Mammal Research 63:231–253. Springer Berlin Heidelberg.

Au, W. W., and M. C. Hastings. 2008a. Signal recording and data acquisition. In W. W. Au and M. C. Hastings Eds., Principles of marine bioacoustics 510. New York: Springer.

Au, W. W., and M. C. Hastings. 2008b. Emission of social sounds by marine animals. In W. W. Au and M. C. Hastings Eds., Principles of marine bioacoustics 510. New York: Springer.

Azpiroz, A. B. 2012. Aves de las pampas y campos de Argentina Brasil y Uruguay: una guia de identificación. Pressur.

Belton, W. 1982. Aves silvestres do Rio Grande so Sul. Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

Billerman, S. M., B. K. Keeney, G. M. Kirwan, F. Medrano, N. D. Sly, and M. G. Smith. 2026. Birds of the World. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, USA. https://doi.org/10.2173/bow

Bonnevie, B. T., and A. J. F. K. Craig. 2018. A song for the South also: defining birdsong in global terms. In Ibis 160:926–928. Blackwell Publishing Ltd.

Brandes, T.S. 2008. Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. Bird Conservation International 18(S1):S163–S173.

Brumm, H., and M. Naguib. 2009. Chapter 1 Environmental Acoustics and the Evolution of Bird Song. In Advances in the Study of Behavior 40:1–33.

Caselli, C. B., D. J. Mennill, J. C. Bicca-Marques, and E. Z. F. Setz. 2014. Vocal behavior of black-fronted titi monkeys *Callicebus nigrifrons*: Acoustic properties and behavioral contexts of loud calls. American Journal of Primatology 76:788–800.

Caselli, C. B., Romano, V., Ruiz-Miranda, C. R., da Cunha, R. G. T. 2018. Las voces de los primates neotropicales:¿ qué dicen. La Primatología en Latinoamérica, 267-281.

Chávez-Andrade, M., de la Cueva, H., Luévano-Esparza, J., & Lavín-Murcio, P. A. 2023. Contributions of bioacoustics to the scientific knowledge of marine mammals in Latin America. Latin American Journal of Aquatic Mammals, 18(1), 96-113.

Chen, Z., and J. J. Wiens. 2020. The origins of acoustic communication in vertebrates. Nature Communications 11(1).

Cholewiak, D. M., R. S. Sousa-Lima, and S. Cerchio. 2013. Humpback whale song hierarchical structure: Historical context and discussion of current classification issues. Marine Mammal Science 29(3).

De Araújo, C. B., L. E. Lopes, J. .M.C Silva, and M. A. Villard. 2021. The optimal listening period for an effective assessment of bird richness and composition: A case study of Neotropical Forest. Journal of Ornithology 162(1):303–306.

De Gregorio, C., Carugati, F., Valente, D., Raimondi, T., Torti, V., Miaretsoa, L., Gamba, M, and Giacoma, C. 2022. Notes on a tree: reframing the relevance of primate choruses, duets, and solo songs. Ethology Ecology & Evolution, 34(3), 205-219.

Endrigo, E., and P. F. Develey. 2004. Aves da Grande São Paulo: guia de campo. Aves e Fotos Editora. São Paulo, SP, Brasil.

Erbe, C., and J. A. Thomas (Eds.). 2022. History of Sound Recording and Analysis. In G. Pavan, G. Budney, H. Klinck, H. Glotin, D. J. Clink, and J. A. Thomas (Authors), Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1. Gewerbestrasse, Switzerland: Springer Nature.

Fischer, J., Noser, R., and K. Hammerschmidt. 2013. Bioacoustic field research: A primer to acoustic analyses and playback experiments with primates. American Journal of Primatology 75:643–663.

Gibb, R., E. Browning, P. Glover-Kapfer, and K. E. Jones. 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. Methods in Ecology and Evolution 10(2):169–185.

Gonçalves, B. C., and G. Ferraz. 201). Is hearing believing Patterns of bird voice misidentification in an online quiz. Revista Brasileira de Ornitologia 24(3).

Janik, V. M., and P. J. B. Slater. 1998. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. Animal Behaviour 56(4):829–838. https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0881

Janik, V. M. 2014. Cetacean vocal learning and communication. Current Opinion in Neurobiology 28:60–65.

Kershenbaum, A., D. Blumstein, M. Roch, Ç. Akçay, G. Backus, M. Bee, K. Bohn, Y. Cao, G. Carter, C. Cäsar, M. Coen, S. DeRuiter, L. Doyle, S. Edelman, R. Ferrer-i-Cancho, T. Freeberg, E. Garland, M. Gustison, H. Harley, C. Huetz, M. Hughes, J. Hyland Bruno, A. Ilany, D. Jin, M. Johnson, C. Ju, J. Karnowski, B. Lohr, M. Manser, B. McCowan, E. Mercado III, P. Narins, A. Piel, M. Rice, R. Salmi, K. Sasahara, L. Sayigh, Y. Shiu, C. Taylor, E. Vallejo, S. Waller, and V. Zamora-Gutierrez. 2016. Acoustic sequences in non-human animals: A tutorial review and prospectus. Biological Reviews 91(1):13–52.

Kettle, R., & Vielliard, J. 1991. Documentation standards for wildlife sound recordings. *Bioacoustics*, *3*(3), 235-238.

Köhler, J., M. Jansen, A. Rodríguez, P. J. R. Kok, L. F. Toledo, M. Emmrich, F. Glaw, C. F. B. Haddad, M. O. Rödel, and M. Vences. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. Zootaxa 4251(1):1–124. Magnolia Press.

Kroodsma, D. E. 1974. Song Learning, Dialects, and Dispersal in the Bewick's Wren. Zeitschrift Für Tierpsychologie 35(4):352–380.

Kroodsma, D. E. 2005. The singing life of birds: the art and science of listening to birdsong.

Laing, C. 2019. A role for onomatopoeia in early language: Evidence from phonological development. Language and Cognition 11(2):173–187.

Magalhães, N. S. 2017. Dolphin Talk: Considerations on Bioacoustics as an Interdisciplinary Pedagogical Resource from Elementary to High School. Revista de Cultura e Extensão USP 17:101-117.

Marler, P. 1969. Vocalizations of wild chimpanzees—an introduction. In Proceedings of the 2nd International Congress of Primatology, Atlanta, 1968 1:94–100. Basel: Karger.

Marler, P. 1970. A comparative approach to vocal learning: song development in white-crowned sparrows. Journal of comparative and physiological psychology 71(2p2):1.

Mitani, J. C., and J. Stuht. 1998. The evolution of nonhuman primate loud calls: Acoustic adaptation for long-distance transmission. Primates, 39, 171–182.

Muir, J., A. Barnett, and M. S. Svensson. 2019. The Vocal Repertoire of Golden-Faced Sakis, Pithecia chrysocephala, and the Relationship Between Context and Call Structure. International Journal of Primatology 40(6):721–743.

Mulligan., J. 1966. Singing behavior and its development in the song sparrow, *Melospiza melodia*. Univ. Calif. Publ. Zool. 81:1-76.

Naguib, M. 2006. Animal communication: overview.

Odom, K. J., Benedict, L. 2018. A call to document female bird songs: Applications for diverse fields. The Auk – Ornithological advances 135:314–325.DOI: 10.1642/AUK-17-183.1Odom, K. J M. Araya-Salas, J. Morano, R. Ligon, G. Leighton, C. Taff, A. Dalziell, A. Billings, R. Germain, M. Pardo, L. Guimarães de Andrade, D. Hedwig, S. Keen, Y. Shiu, R. Charif, M. Webster, A. Rice. 2021. Comparative bioacoustics: a roadmap for quantifying and comparing animal sounds across diverse taxa. Biological Reviews 96(4):1135–1159.

Pavan, G., G. Budney, H. Klinck, H. Glotin, D. J. Clink, and J. A. Thomas. 2022. History of sound recording and analysis equipment. Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1: Methods.

Penar, W., A. Magiera, and C. Klocek. 202). Applications of bioacoustics in animal ecology. Ecological Complexity 43.

Ridgely, R. S. 2015. Aves do Brasil: mata atlântica do Sudeste. Editora Horizonte.

Robinson, W. D., A. C. Lees, and J. G. Blake. 2018. Surveying tropical birds is much harder than you think: A primer of best practices. Biotropica 50(6):846-849.

Rostirolla, T. H., F. V. Yoshida, M. C. D. M. V. Maturino, L. Vasconcelos, A. de Almeida Monte, and M. L. da Silva. 2021. A bioacústica como ferramenta interdisciplinar para aprender a ouvir: educação. Metodologias Ativas 173.

Seyfarth, R. M., D. L. Cheney, and P. Marler. 1980. Monkey responses to three different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic communication. Science 210:801–803.

Sick, H., J. Haffer, H. F. Alvarenga, J. F. Pacheco, and P. Barruel. 1997. Ornitologia Brasileira Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro.

Silva, M. L., and J. Vielliard. 2011. A aprendizagem vocal em aves evidências comportamentais e neurobiológicas.

Stowell, D., H. Seki, L. F. Gill, H. Klinck, and V. Morfi. 2019. Automatic acoustic detection of birds through deep learning: The first Bird Audio Detection challenge. Methods in Ecology and Evolution 10(3):368–380.

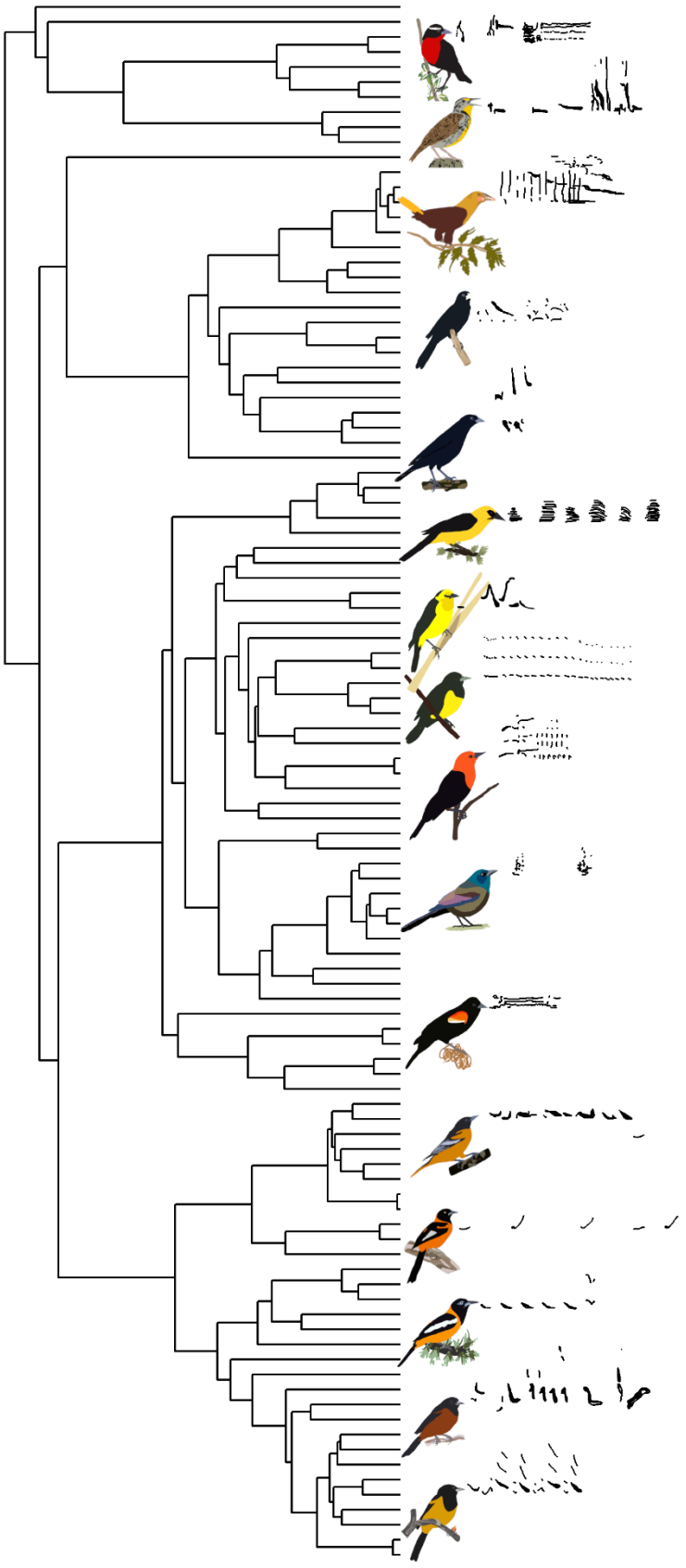
Struhsaker, T. T. 1967. Auditory communication among vervet monkeys (*Cercopithecus aethiops*). In S. A. Altmann (Ed.), Social communication among primates (pp. 281–324). Chicago: University of Chicago Press.

Sugai, L. S. M., T. S. F. Silva, J . W. Ribeiro, and D. Llusia. 2020. A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. Remote Sensing in Ecology and Conservation 6(3):220–235.

Thomas, A., P. Speldewinde, J. D. Roberts, A. H. Burbidge, and S. Comer. 2020. If a bird calls, will we detect it? Factors that can influence the detectability of calls on automated recording units in field conditions. Emu 239–248.

Vella, K., D. Johnson, and P. Roe. 2021. Describing the sounds of nature: Using onomatopoeia to classify bird calls for citizen science. PLoS ONE 16.

Vielliard, J. M. 2004. A diversidade de sinais e sistemas de comunicação sonora na fauna brasileira. *Seminário Música Ciência Tecnologia*, *1*(1).



CAPÍTULO 2

Entre vozes suaves e notas estridentes: uma estrutura padronizada para analisar os padrões acústicos em aves

Artigo submetido e sob revisão no volume especial de Bioacústica da revista *El hornero*

Patrícia Paludo, Luisa Fabricio, Larissa Sugai, Lucilene Jacoboski
& Maria João Ramos Pereira

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Araya-Salas, M., & Smith-Vidaurre, G. (2017). warbleR: an R package to streamline analysis of animal acoustic signals. Methods in Ecology and Evolution, 8(2), 184-191.

Araya-Salas, M., J. Elizondo-Calvo & A. Rico-Guevara (2025). suwo: access nature media repositories. R package version 0.1.0.

Bakker, A., Withrow, K., & Thompson, N. S. (1983). Levels of organization in the song of the Bobolink (Icteridae: Dolichonyginae). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, *62*(2), 105-114.

Bakker, J. D. (2026). Nmds. Applied Multivariate Statistics in R.

Beeker, T. A., Millenbah, K. F., Gore, M. L., & Lundrigan, B. L. (2013). Guidelines for Creating a Bat-Specific Citizen Science Acoustic Monitoring Program. *Human Dimensions of Wildlife*, *18*(1), 58–67. https://doi.org/10.1080/10871209.2012.686147

Boakes, E. H., McGowan, P. J., Fuller, R. A., Chang-qing, D., Clark, N. E., O'Connor, K., & Mace, G. M. (2010). Distorted views of biodiversity: spatial and temporal bias in species occurrence data. *PLoS biology*, *8*(6), e1000385.

Boncoraglio, G., & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, 134-142.

Brandes, T. S. (2008). Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. Bird Conservation International, 18(S1), S163-S173.

Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2017). Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF conservation technology series*, *1*(2), 1-75.

Brumm, H., & Naguib, M. (2009). Environmental acoustics and the evolution of bird song. *Advances in the Study of Behavior*, *40*, 1-33.

Charif, R. A., Waack, A. M., & Strickman, L. M. (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual (Revision 8). Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology.

Chen, Z., & Wiens, J. J. (2020). The origins of acoustic communication in vertebrates. *Nature communications*, *11*(1), 369.

Cornell Lab of Ornithology. (2026). *Macaulay Library*. Available at: https://www.macaulaylibrary.org

Darras, K., Batáry, P., Furnas, B. J., Grass, I., Mulyani, Y. A., & Tscharntke, T. (2019). Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. Ecological Applications, 29(6), e01954.

Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *41*(1), 149-172.

Dixon, P. (2003). VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of vegetation science*, *14*(6), 927-930.

Fabricio, L. S. P. (2024). Repertório acústico da comunidade de Icteridae do bioma Pampa. Traballho de Conclusão de Curso. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M., Hsing, P. Y., Danielsen, F., ... & Haklay, M. (2022). Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nature reviews methods primers*, *2*(1), 64.

Fraisl, D., See, L., MacFeely, S., Moorthy, I., Ulrich, G. S., Seidu, O., Grey, F., Schütz, S. & McCallum, I. (2026). Why citizen science is now essential for official statistics. *Communications Sustainability*, *1*(1), 2.

Gregory, R. D., Gibbons, D. W., & Donald, P. F. (2004). Bird census and survey techniques. Bird ecology and conservation, 17-56.

Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (Eds.). (2019). *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. https://birdsoftheworld.org

Gotelli, N. J., & Gillman, M. (1996). A primer of ecology. Trends in Ecology and Evolution, 11(6), 265.

Jäckel, D., Mortega, K. G., Sturm, U., Brockmeyer, U., Khorramshahi, O., & Voigt-Heucke, S. L. (2021). Opportunities and limitations: A comparative analysis of

citizen science and expert recordings for bioacoustic research. *Plos one*, *16*(6), e0253763.

D. Kahle and H. Wickham (2013). ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. The R Journal, 5(1), 144-161. http://journal.r-project.org/archive/2013-1/kahle-wickham.pdf

Ey, E., & Fischer, J. (2009). The "acoustic adaptation hypothesis"—a review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics*, *19*(1-2), 21-48.

Kershenbaum, A., Blumstein, D. T., Roch, M. A., Akçay, Ç., Backus, G., Bee, M. A., Bohn, K., Cao, Y., Carter, G., Cäsar, C., Coen, M., Deruiter, S. L., Doyle, L., Edelman, S., Ferrer-i-Cancho, R., Freeberg, T. M., Garland, E. C., Gustison, M., Harley, H. E., … Zamora-Gutierrez, V. (2016). Acoustic sequences in non-human animals: A tutorial review and prospectus. Biological Reviews, 91(1), 13–52.

Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A., & Simmons, B. (2016). Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *14*(10), 551-560.

Kroodsma, D. E. (1974). Song Learning, Dialects, and Dispersal in the Bewick's Wren. Zeitschrift Für Tierpsychologie, 35(4), 352–380.

Kroodsma, D. E. (2005). The singing life of birds: the art and science of listening to birdsong. Hpughton Mifflin books, New York, New York.

Lowther, P. E. (1975). Geographic and ecological variation in the family Icteridae. The Wilson Bulletin, 87(4), 481-495.

Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, *31*(19), R1174-R1177.

Marler, P. (1970). A comparative approach to vocal learning: song development in white-crowned sparrows. Journal of comparative and physiological psychology, 71(2p2), 1.

Marquardt, D. W. (1970). Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. Technometrics, 12(3), 591-612.

Morrone, J. J., Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Carmona, A., Arana, M., & Mercado-Gómez, J. D. (2022). Biogeographic regionalization of the Neotropical region:

New map and shapefile. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 94, e20211167. https://doi.org/10.1590/0001-3765202220211167

Mulligan., J. (1966): Singing behavior and its development in the song sparrow, Melospiza melodia. Univ. Calif. Publ. Zool. 81, 1-76.

Mumelaš, D., Matijević, I., & Ivanjko, T. (2025). Citizen science in libraries worldwide: A systematic review. *Journal of librarianship and information science*, 09610006251342825.

Odom, K. J., Araya-Salas, M., Morano, J. L., Ligon, R. A., Leighton, G. M., Taff, C. C., Dalziell, A. H., Billings, A. C., Germain, R. R., Pardo, M., de Andrade, L. G., Hedwig, D., Keen, S. C., Shiu, Y., Charif, R. A., Webster, M. S., & Rice, A. N. (2021). Comparative bioacoustics: a roadmap for quantifying and comparing animal sounds across diverse taxa. Biological Reviews, 96(4), 1135–1159.

Oksanen, J. (2015). Vegan: an introduction to ordination. URL http://cran. r-project. org/web/packages/vegan/vignettes/introvegan. pdf, 8, 19.

Oswald, J. N., Van Cise, A. M., Dassow, A., Elliott, T., Johnson, M. T., Ravignani, A., & Podos, J. (2022). A collection of best practices for the collection and analysis of bioacoustic data. Applied Sciences, 12(23), 12046.

Penar, W., Magiera, A., & Klocek, C. (2020). Applications of bioacoustics in animal ecology. Ecological Complexity, 43.

Planqué, B., & Vellinga, W. P. (2008). Xeno-canto: a 21st century way to appreciate Neotropical bird song. *Neotropical Birding*, *3*, 17-23.

R Core Team (2026). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available from https://www.R-project.org

Rutt, C. L., Miller, E. T., Berryman, A. J., Safford, R. J., Biggs, C., & Mittermeier, J. C. (2024). Global gaps in citizen-science data reveal the world's "lost" birds. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *22*(7), e2778.

Sagar, H. S., Anand, A., Persche, M. E., Pidgeon, A. M., Zuckerberg, B., Şekercioğlu, Ç. H., & Buřivalová, Z. (2024). Global analysis of acoustic frequency characteristics in birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *291*(2024).

Skutch, A. F. (1996). Orioles, blackbirds, and their kin: a natural history. University of Arizona Press.

Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 357(1420), 493-503.

Slabbekoorn, H. (2013). Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour*, *85*(5), 1089-1099.

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things, oamerican J. Psychol.

Sugai, L. S. M., Silva, T. S. F., Ribeiro Jr, J. W., & Llusia, D. (2019). Terrestrial passive acoustic monitoring: review and perspectives. BioScience, 69(1), 15-25.

Sugai, L. S. M., Desjonquères, C., Silva, T. S. F., & Llusia, D. (2020). A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *6*(3), 220-235.

Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., ... & Kelling, S. (2014). The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological conservation*, *169*, 31-40.

Thomas, A., Speldewinde, P., Roberts, J. D., Burbidge, A. H., & Comer, S. (2020). If a bird calls, will we detect it? Factors that can influence the detectability of calls on automated recording units in field conditions. Emu - Austral Ornithology, 120(3), 239–248. https://doi.org/10.1080/01584197.2020.1787848

Töpel, M., Zizka, A., Calió, M. F., Scharn, R., Silvestro, D., & Antonelli, A. (2017). SpeciesGeoCoder: Fast categorization of species occurrences for analyses of biodiversity, biogeography, ecology, and evolution. Systematic Biology, 66(2), 145-151. https://doi.org/10.1093/sysbio/syw064

WikiAves. (2026). *A Enciclopédia das Aves do Brasil*. Available at: https://www.wikiaves.com.br

Xeno-canto Foundation. (2026), Xeno-canto: Sharing bird sounds from around the world. Available at: https://www.xeno-canto.org

Yang, H., Zhang, J., & Roe, P. (2013). Reputation modelling in Citizen Science for environmental acoustic data analysis. Social Network Analysis and Mining, 3(3), 419-435.

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., ... & Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. Methods in Ecology and Evolution, 10(5), 744-751. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13152



CAPÍTULO 3

Recontando a história biogeográfica do clado Emberizoidea na América do Sul

O artigo será submetido à revista *Frontiers of Biogeography*.

Patrícia Paludo, Augusto Ferrari, José Ricardo Ribeiro & Maria João Ramos Pereira

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Aleixo, A., & Rossetti, D. D. F. (2007). Avian gene trees, landscape evolution, and geology: towards a modern synthesis of Amazonian historical biogeography?. *Journal of Ornithology*, *148*(Suppl 2), 443-453.

Arango, A., Pinto-Ledezma, J., Rojas-Soto, O., Lindsay, A. M., Mendenhall, C. D., & Villalobos, F. (2022). *Hand-Wing Index as a surrogate for dispersal ability: the case of the Emberizoidea (Aves: Passeriformes) radiation*. Biological Journal of the Linnean Society, 137(1), 137-144. https://doi.org/10.1093/biolinnean/blac071

Arango, A., Pinto-Ledezma, J., Rojas-Soto, O., & Villalobos, F. (2025). Broad geographic dispersal is not a diversification driver for Emberizoidea. Proceedings B, 292(2039), 20241965. https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1965

Birds of the World (2026). Edited by S. M. Billerman, B. K. Keeney, G. M. Kirwan, F. Medrano, N. D. Sly, and M. G. Smith. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, USA. https://doi.org/10.2173/bow

Barker, K. et al. (2015). New insights into New World biogeography: An integrated view from the phylogeny of blackbirds, cardinals, sparrows, tanagers, warblers, and allies. Auk, v. 132, n. 2, p. 333–348, 1 abr. https://doi.org/10.1642/AUK-14-110.1

Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical ecology with R* (Vol. 2, p. 688). New York: springer.

Bruderer, B., & Salewski, V. (2008). *Evolution of bird migration in a biogeographical context.* Journal of biogeography, 35(11), 1951-1959. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01992.x

Capurucho, J. M. G., Musher, L. J., Lees, A., Rego, M. A., Del-Rio, G., Aleixo, A., ... & Thom, G. (2024). Amazonian avian biogeography: Broadscale patterns, microevolutionary processes, and habitat-specific models revealed by multidisciplinary approaches. *Ornithology*, *141*(1), ukad051.

Clements J. F., J. F., Schulenberg T. S., T. S., Iliff M. J., M. J., Fredericks T. A., T. A., Gerbracht J. A., J. A., Sullivan B. L., B. L., & Wood C. L., C. L. (2024). *The eBird/Clements checklist of birds of the world: v2024*. Cornell Lab of Ornithology. https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/

Cracraft, J. (1985). Historical biogeography and patterns of differentiation within the south american avifauna: areas of endemism. Ornithological Monograph 36: 49–84. Washington DC.

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... & Saleem, M. (2017). *An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm.* BioScience, 67(6), 534-545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014

Ferrari, A. (2018). *Biogeographical units matter.* Australian Systematic Botany, 30(6), 391-402. https://doi.org/10.1071/SB16054

Garcia-R, J. C., & Matzke, N. J. (2021). *Trait-dependent dispersal in rails (Aves: Rallidae): Historical biogeography of a cosmopolitan bird clade.* Molecular Phylogenetics and Evolution, 159, 107106. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107106

Gill, F., Donsker, D., & Rasmussen, P. (Eds.). (2019). *Birds of the World*. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology. Retrieved from https://birdsoftheworld.org/bow/home/

GBIF.org. (2023). *Global Biodiversity Information Facility*. https://www.gbif.org

Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H., Roberts, C. (2005). *Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection.* Ecology Letters, 8, 23–29. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x

International Union for Conservation of Nature. (2026). *The IUCN Red List of Threatened Species*. https://www.iucnredlist.org/

Jarvis, A., Touval, J. L., Schmitz, M. C., Sotomayor, L., & Hyman, G. G. (2010). Assessment of threats to ecosystems in South America. *Journal for Nature Conservation*, *18*(3), 180-188.

Klaus, K. V., & Matzke, N. J. (2020). Statistical comparison of trait-dependent biogeographical models indicates that Podocarpaceae dispersal is influenced by both seed cone traits and geographical distance. *Systematic Biology*, *69*(1), 61-75.Kreft, H., & Jetz, W. (2010). A framework for delineating biogeographical

regions based on species distributions. Journal of Biogeography, 37(11), 2029-2053. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02375.x

Landis, M. J., Matzke, N. J., Moore, B. R., & Huelsenbeck, J. P. (2013). *Bayesian analysis of biogeography when the number of areas is large*. Systematic biology, 62(6), 789-804. https://doi.org/10.1093/sysbio/syt040

Matzke, N. J. (2013). *Probabilistic historical biogeography: new models for founder-event speciation, imperfect detection, and fossils allow improved accuracy and model-testing.* University of California, Berkeley ProQuest Dissertations & Theses, 2013. 3616487.

Matzke, N. J. (2016a). *Trait-dependent dispersal models for phylogenetic biogeography, in the R package BioGeoBEARS.* Integrative and Comparative Biology, 56, E330. Available on: https://phylo.wdfiles.com/local--files/abstracts-for-presentations-by-nicholas-j-matzke/2016-06-21_Matzke_trait-dependent_dispersal_v4.pdf

Matzke, Nicholas J. (2016b). "Stochastic mapping under biogeographical models." PhyloWiki BioGeoBEARS website, 2016,

http://phylo.wikidot.com/biogeobears#stochastic_mapping.

Matzke, N. J. (2018). Nmatzke/biogeobears: biogeobears: biogeography with Bayesian (and likelihood) evolutionary analysis with R scripts. Zenodo. 10.5281/zenodo.1463216

Morrone, J. J., Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Carmona, A., Arana, M., & Mercado-Gómez, J. D. (2022). *Biogeographic regionalization of the Neotropical region: New map and shapefile.* Anais da Academia Brasileira de Ciências, 94, e20211167. https://doi.org/10.1590/0001-3765202220211167

Norambuena, H. V., & Van Els, P. (2021). *A general scenario to evaluate evolution of grassland birds in the Neotropics.* Ibis International Journal of Avian Science. Volume163, Issue2, 722-727. https://doi.org/10.1111/ibi.12905

Oliveira, T.E., Freitas, D.S., Gianezini, M., Ruviaro, C.F., Zago, D., Mércio, T.Z., Dias, E.A., Lampert, V. do N., Barcellos, J.O.J. (2017). *Agricultural land use change*

in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. Land Use Policy, 63, 394–400. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010

Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., da Silva Menezes, L., Anand, M., Baeza, S., Carlucci, M. B., ... & Müller, S. C. (2022). *Placing Brazil's grasslands and savannas on the map of science and conservation.* Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 56, 125687. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125687

R Core Team (2026). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available from https://www.R-project.org.

Ree, R. H., & Smith, S. A. (2008). *Maximum likelihood inference of geographic range evolution by dispersal, local extinction, and cladogenesis.* Systematic biology, 57(1), 4-14. https://doi.org/10.1080/10635150701883881

Ribas, C. C., & Aleixo, A. (2019). Diversity and evolution of Amazonian birds: implications for conservation and biogeography. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *91*(suppl 3), e20190218.

Ronquist, F. (1997). *Dispersal-vicariance analysis: a new approach to the quantification of historical biogeography.* Systematic biology, 46(1), 195-203. https://doi.org/10.1093/sysbio/46.1.195

Schlägel, U. E., Grimm, V., Blaum, N., Colangeli, P., Dammhahn, M., Eccard, J. A., ... & Jeltsch, F. (2020). *Movement-mediated community assembly and coexistence*. Biological Reviews, 95(4), 1073-1096. https://doi.org/10.1111/brv.12600

Schüle, W. (1990*). Landscapes and climate in prehistory: interactions of wildlife, man, and fire. In Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges* (pp. 273-318). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Sedano, R. E., & Burns, K. J. (2010). Are the Northern Andes a species pump for Neotropical birds? Phylogenetics and biogeography of a clade of Neotropical tanagers (Aves: Thraupini). Journal of Biogeography, 37(2), 325-343.

Somveille, M., Rodrigues, A. S., & Manica, A. (2015). *Why do birds migrate? A macroecological perspective.* Global Ecology and Biogeography, 24(6), 664-674. https://doi.org/10.1111/geb.12298

Stotz, D. F. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press.

Strömberg, C. A. (2011). *Evolution of grasses and grassland ecosystems.* Annual review of Earth and planetary sciences, 39(1), 517-544. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152402

Töpel, M., Zizka, A., Calió, M. F., Scharn, R., Silvestro, D., & Antonelli, A. (2017). *SpeciesGeoCoder: Fast categorization of species occurrences for analyses of biodiversity, biogeography, ecology, and evolution*. Systematic Biology, 66(2), 145-151. https://doi.org/10.1093/sysbio/syw064

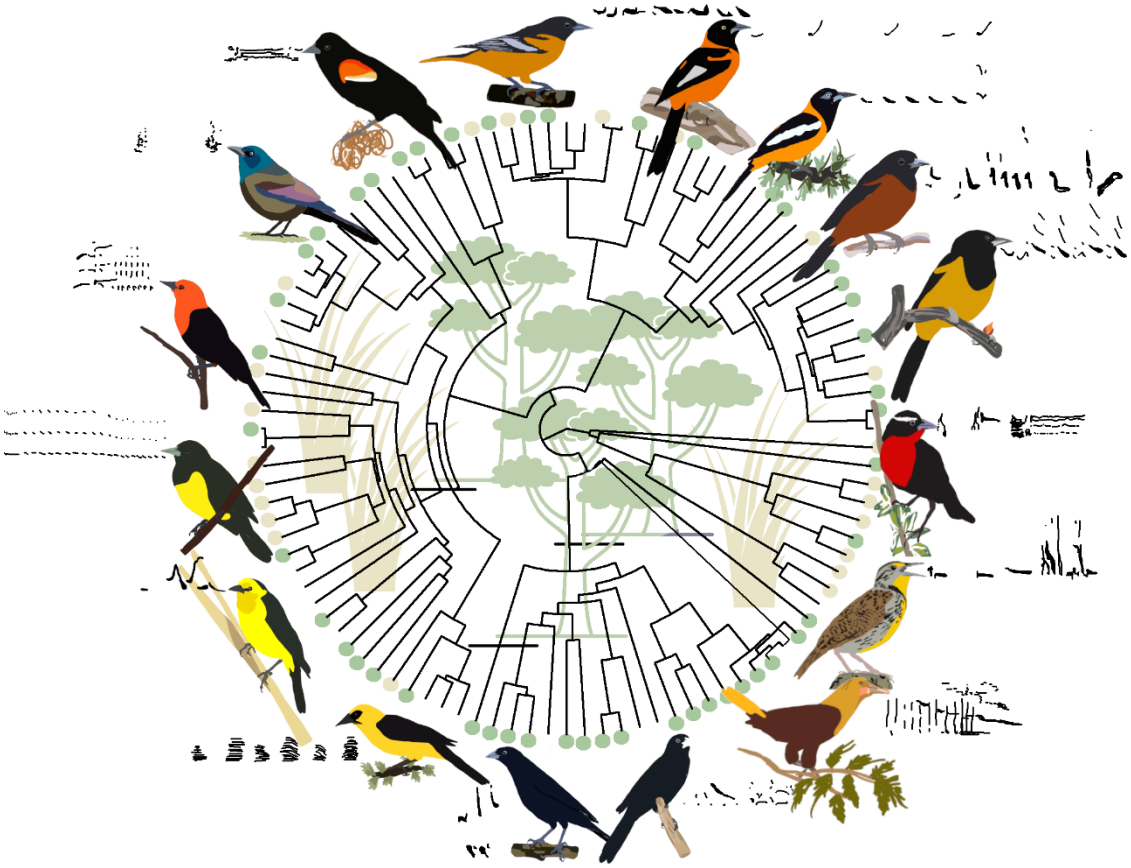
van Els, P., Norambuena, H. V., & Etienne, R. S. (2019). *From pampa to puna: Biogeography and diversification of a group of Neotropical obligate grassland birds (Anthus: Motacillidae).* Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research, 57(3), 485-496. https://doi.org/10.1111/jzs.12278

Vickery, P. D., Tubaro, P. L., Cardosa da Silva, J. M., Peterjohn, B. G., Herkert, J. R., & Cavalcanti, R. B. (1999). *Conservation of grassland birds in the western hemisphere*. Studies in avian biology, 19, 2-26. Available on https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1533&context=sab

Vickery, P. D., Herkert, J. R., Knopf, F. L., Ruth, J., & Keller, C. E. (2000). *Grassland birds: An overview of threats and recommended management strategies.* Strategies for bird conservation: The Partners in Flight planning process, 1-5.

Winger, B. M., Barker, F. K., & Ree, R. H. (2014). *Temperate origins of long-distance seasonal migration in New World songbirds.* Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(33), 12115-12120. https://doi.org/10.1073/pnas.1405000111

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., ... & Antonelli, A. (2019). C*oordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases.* Methods in Ecology and Evolution, 10(5), 744-751. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13152



CAPÍTULO 4

Como o som molda a macroevolução dos passeriformes

O artigo será submetido à revista *Ecology letters.*

Patrícia Paludo, Carolina Prauchner, Luisa Pires Fabricio, Larissa Sugai, Holger Klicnk, Renan Maestri & Maria João Ramos Pereira[5]

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. Psychometrika, 52(3), 317-332.

Andrade, B. O., Dröse, W., Aguiar, C. A. D., Aires, E. T., Alvares, D. J., Barbieri, R. L., ... & Mendonça Junior, M. D. S. (2023). 12,500+ and counting: biodiversity of the Brazilian Pampa. Frontiers of Biogeography, 15(2).

Au, W. W. L. (2004). Echolocation signals of wild dolphins. *Acoustical Physics*, *50*(4), 454-462.

Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008). Emission of social sounds by marine animals. In W. W. Au & M. C. Hastings (Eds.), Principles of marine bioacoustics (Vol. 510). New York: Springer.

Azpiroz, A. B., Isacch, J. P., Dias, R. A., Di Giacomo, A. S., Fontana, C. S., & Palarea, C. M. (2012). Ecology and conservation of grassland birds in southeastern South America: a review. *Journal of Field Ornithology*, *83*(3), 217-246.

Barker, F. K., Burns, K. J., Klicka, J., Lanyon, S. M., & Lovette, I. J. (2015). New insights into New World biogeography: An integrated view from the phylogeny of blackbirds, cardinals, sparrows, tanagers, warblers, and allies. The Auk: Ornithological Advances, 132(2), 333-348.

Barreira, A. S., & García, N. C. (2019). Visual and acoustic communication in Neotropical birds: Diversity and evolution of signals. In Behavioral ecology of Neotropical birds (pp. 155-183). Cham: Springer International Publishing.

Barros, C. M., Benedict, L., & Sanchez, K. A. (2024). A review of the literature on female birdsong function. Animal Behaviour, 216, 23-35.

Bioacoustics research program. (2021) Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Versão 1.6). Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology.

Birds of the World (2026). Edited by S. M. Billerman, B. K. Keeney, G. M. Kirwan, F. Medrano, N. D. Sly, and M. G. Smith. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, USA. https://doi.org/10.2173/bow

Blomberg, S. P., Garland Jr, T., & Ives, A. R. (2003). Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile. Evolution, 57(4), 717-745.

Boncoraglio, G., & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. Functional Ecology, 134-142.

Bonnevie, B. T., & Craig, A. J. (2018). A song for the South also: defining birdsong in global terms. Ibis, 160(4).

Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. Advances in the Study of Behavior, 35, 151-209.

Brumm, H., & Naguib, M. (2009). Environmental acoustics and the evolution of bird song. Advances in the Study of Behavior, 40, 1-33.

Catchpole, C. K., & Slater, P. J. (2003). Bird song: biological themes and variations. Cambridge university press.

Charif, R. A., Waack, A. M., & Strickman, L. M. (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual (Revision 8). Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology.

Chen, Z., & Wiens, J. J. (2020). The origins of acoustic communication in vertebrates. Nature communications, 11(1), 369.

Darras, K., Pütz, P., Rembold, K., & Tscharntke, T. (2016). Measuring sound detection spaces for acoustic animal sampling and monitoring. Biological Conservation, 201, 29-37.

Derryberry, E. P., Seddon, N., Derryberry, G. E., Claramunt, S., Seeholzer, G. F., Brumfield, R. T., & Tobias, J. A. (2018). Ecological drivers of song evolution in birds: disentangling the effects of habitat and morphology. Ecology and evolution, 8(3), 1890-1905.

Dixon, P. (2003). VEGAN, a package of R functions for community ecology. Journal of vegetation science, 14(6), 927-930.

Erbe, J. A. T. C., & Thomas, J. A. (2022). Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1. Springer International Publishing.

Farnsworth, A., & Lovette, I. J. (2008). Phylogenetic and ecological effects on interspecific variation in structurally simple avian vocalizations. Biological Journal of the Linnean Society, 94(1), 155-173.

Fisher, J. A., Frank, K. T., & Leggett, W. C. (2010). Dynamic macroecology on ecological time-scales. *Global Ecology and Biogeography*, *19*(1), 1-15.

Fraga, R. M. (2008). Phylogeny and behavioral evolution in the family Icteridae.

Freitas, B., D'Amelio, P. B., Milá, B., Thébaud, C., & Janicke, T. (2024). The acoustic adaptation hypothesis across terrestrial vertebrates: a meta-analysis.

Friedman, N. R., Miller, E. T., Ball, J. R., Kasuga, H., Remeš, V., & Economo, E. P. (2019). Evolution of a multifunctional trait: shared effects of foraging ecology and thermoregulation on beak morphology, with consequences for song evolution. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 286(1917).

Gasc, A., Francomano, D., Dunning, J. B., & Pijanowski, B. C. (2017). Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions. The Auk: Ornithological Advances, 134(1), 215-228.

Henry, L., Barbu, S., Lemasson, A., & Hausberger, M. (2015). Dialects in animals: evidence, development and potential functions. Animal Behavior and Cognition, 2(2), 132-155. Kershenbaum, A., Blumstein, D. T., Roch, M. A., Akçay, Ç., Backus, G., Bee, M. A., ... & Zamora-Gutierrez, V. (2016). Acoustic sequences in non-human animals: a tutorial review and prospectus. Biological Reviews, 91(1), 13-52.

Jouventin, P., Aubin, T., & Lengagne, T. (1999). Finding a parent in a king penguin colony: the acoustic system of individual recognition. *Animal Behaviour*, *57*(6), 1175-1183.

Kershenbaum, A. (2014). Entropy rate as a measure of animal vocal complexity. Bioacoustics, 23(3), 195-208.

Kershenbaum, A., Blumstein, D. T., Roch, M. A., Akçay, Ç., Backus, G., Bee, M. A., ... & Zamora-Gutierrez, V. (2016). Acoustic sequences in non-human animals: a tutorial review and prospectus. *Biological Reviews*, *91*(1), 13-52.

Klein Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J., & Stehfest, E. (2017). Anthropogenic land use estimates for the Holocene–HYDE 3.2. Earth System Science Data, 9(2), 927-953.

Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C. F. B., Rödel, M. O., & Vences, M. (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. In Zootaxa (Vol. 4251, Issue 1, pp. 1–124). Magnolia Press.

Kroodsma, D. E., & Miller, E. H. (Eds.). (2020). Ecology and evolution of acoustic communication in birds. Cornell University Press.

Landis, M. J., Matzke, N. J., Moore, B. R., & Huelsenbeck, J. P. (2013). Bayesian analysis of biogeography when the number of areas is large. Systematic biology, 62(6), 789-804. https://doi.org/10.1093/sysbio/syt040

Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P., & Herve, M. (2019). Package 'emmeans'. R package version, 1(3.2).

Lowther, P. E. (1975). Geographic and ecological variation in the family Icteridae. The Wilson Bulletin, 87(4), 481-495.

Matzke, N. J. (2018). Nmatzke/biogeobears: biogeobears: biogeography with Bayesian (and likelihood) evolutionary analysis with R scripts. Zenodo. 10.5281/zenodo.1463216

Mason, N. A., Burns, K. J., Tobias, J. A., Claramunt, S., Seddon, N., & Derryberry, E. P. (2017). Song evolution, speciation, and vocal learning in passerine birds. Evolution, 71(3), 786-796.

Mikula, P., Valcu, M., Brumm, H., Bulla, M., Forstmeier, W., Petrusková, T., ... & Albrecht, T. (2021). A global analysis of song frequency in passerines provides no support for the acoustic adaptation hypothesis but suggests a role for sexual selection. *Ecology Letters*, *24*(3), 477-486.

Morton, E. S. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. The American Naturalist, 109(965), 17-34.

Norambuena, H. V., & Van Els, P. (2021). A general scenario to evaluate evolution of grassland birds in the Neotropics.

Odom, K. J., Araya-Salas, M., Morano, J. L., Ligon, R. A., Leighton, G. M., Taff, C. C., ... & Rice, A. N. (2021). Comparative bioacoustics: a roadmap for quantifying and

comparing animal sounds across diverse taxa. *Biological Reviews*, *96*(4), 1135-1159.

Pearse, W. D., Morales-Castilla, I., James, L. S., Farrell, M., Boivin, F., & Davies, T. J. (2018). Global macroevolution and macroecology of passerine song. *Evolution*, *72*(4), 944-960.

Pijanowski, B. C., & Farina, A. (2011). Introduction to the special issue on soundscape ecology. Landscape Ecology, 26(9), 1209-1211.

Podos, J., & Webster, M. S. (2022). Ecology and evolution of bird sounds. Current Biology, 32(20), R1100-R1104.

Ree, R. H., & Smith, S. A. (2008). Maximum likelihood inference of geographic range evolution by dispersal, local extinction, and cladogenesis. Systematic biology, 57(1), 4-14. https://doi.org/10.1080/10635150701883881

Revell, L. J., & Harmon, L. J. (2022). Phylogenetic comparative methods in R. Princeton University Press.

Revell, L. J. (2024). phytools 2.0: an updated R ecosystem for phylogenetic comparative methods (and other things). PeerJ, 12, e16505.

Riede, T., Thomson, S. L., Titze, I. R., & Goller, F. (2019). The evolution of the syrinx: an acoustic theory. PLoS biology, 17(2), e2006507.

Rivera-Gutierrez, H. F., Gomez-Gomez, O. A., Montoya-Jaramillo, V., Toro-Cardona, F. A., & Pinzon-Cardenas, P. (2026). Disentangling the Evolutionary Cause–Effect Relationships of Environment, Sexual Selection, and Body Size With Birdsong Frequency. *Ecology and Evolution*, *16*(4), e73351.

Ronquist, F. (1997). Dispersal-vicariance analysis: a new approach to the quantification of historical biogeography. Systematic biology, 46(1), 195-203. https://doi.org/10.1093/sysbio/46.1.195

Sagar, H. S., Anand, A., Persche, M. E., Pidgeon, A. M., Zuckerberg, B., Şekercioğlu, Ç. H., & Buřivalová, Z. (2024). Global analysis of acoustic frequency characteristics in birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *291*(2034).

Searcy, W. A., & Andersson, M. (1986). Sexual selection and the evolution of song. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 507-533.

Skutch, A. F. (1996). Orioles, blackbirds, and their kin: a natural history. University of Arizona Press.

Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 357(1420), 493-503.

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things, oamerican J. Psychol.

Symonds, M. R., & Blomberg, S. P. (2014). A primer on phylogenetic generalised least squares. Modern phylogenetic comparative methods and their application in evolutionary biology. Spring-Verlag, Berlin.

Tietze, D. T., Martens, J., Fischer, B. S., Sun, Y. H., Klussmann-Kolb, A., & Päckert, M. (2015). Evolution of leaf warbler songs (Aves: Phylloscopidae). Ecology and Evolution, 5(3), 781-798.

Thomas, A., Speldewinde, P., Roberts, J. D., Burbidge, A. H., & Comer, S. (2020). If a bird calls, will we detect it? Factors that can influence the detectability of calls on automated recording units in field conditions. Emu-Austral Ornithology, 120(3), 239-248.

Tobias, J. A., Cornwallis, C. K., Derryberry, E. P., Claramunt, S., Brumfield, R. T., & Seddon, N. (2014). Species coexistence and the dynamics of phenotypic evolution in adaptive radiation. *Nature*, *506*(7488), 359-363.

Tubaro, P. L., & Segura, E. T. (1994). Dialect differences in the song of Zonotrichia capensis in the southern Pampas: a test of the acoustic adaptation hypothesis. Condor, 1084-1088.

Weir, J. T., Wheatcroft, D. J., & Price, T. D. (2012). The role of ecological constraint in driving the evolution of avian song frequency across a latitudinal gradient. Evolution, 66(9), 2773-2783.

Xeno-canto Foundation. (2025), Xeno-canto: Sharing bird sounds from around the world. Available at: https://www.xeno-canto.org

Yang, J., Arvind, C., Barber, R. A., Johnson, O., O'Brien, K., Stanley, R., ... & Tobias, J. A. (2025). Song complexity in suboscine birds: evolutionary drivers and ecological constraints. bioRxiv, 2025-10.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos assobios à paisagem

Depois desse longo percurso em busca de compreender como os sons das aves evoluem no espaço e no tempo e qual é o papel do ambiente nesse processo, chegamos ao fim desta tese. Ao longo dos quatro capítulos centrais, passamos por temas da bioacústica, da coleta de dados padronizada, da biogeografia e da macroevolução, com os quais esperamos ter contribuído para o avanço de aspectos teóricos e metodológicos.

No primeiro capítulo, conseguimos avançar na compreensão da estrutura sintática dos sons das aves, criando um sistema de classificação alfa-numérico para cada elemento acústico que compõe um canto, chamado e até mesmo sinais não vocais. Esperamos, com isso, ter desemaranhado um pouco esse campo tão cheio de possibilidades e, ao mesmo tempo, ainda subexplorado pela ornitologia. Pois, apesar de existirem tentativas de descrever a estrutura sintática desde os anos 1960, ainda há pouca informação sobre o repertório acústico de diversas espécies e pouca atenção dedicada à estrutura sintática.

No segundo capítulo da tese, ainda dentro do campo dos métodos e da bioacústica, usamos a família Icteridae como modelo para propor um protocolo sistematizado de extração de dados acústicos de fonotecas, haja vista o grande volume de dados existentes e a necessidade de sua padronização para responder a padrões ecológicos em larga escala. Para isso, desenvolvemos um protocolo rigoroso de extração de dados representativos e seleção de amostras, aplicável a diversos grupos taxonômicos.

No terceiro capítulo, partimos em busca da história biogeográfica das aves do neotropicais, a fim de responder a perguntas fundamentais para esta tese. Para isso, adentrei o mundo da macroecologia, isto é, um olhar voltado para grandes escalas, seja no espaço, seja no tempo. Nessa etapa, testamos modelos e reconstruímos a história biogeográfica da superfamília Embirizoidea, com foco no Neotrópico, a partir de diferentes esquemas de áreas. Adicionamos mais informação aos ranges ancestrais e ao papel da migração no processo de dispersão, atuando como facilitadora.

Ainda dentro do mundo da macroecologia e da macroevolução, no quarto capítulo, buscamos entender como a sinalização acústica evoluiu dentro dos Icteridae e investigar o papel de fatores históricos e contemporâneos na formação da estrutura e dos parâmetros dos sinais acústicos. Aqui, combinamos informações acústicas com

informações geográficas presentes e pretéritas para compreender o processo evolutivo e o papel do ambiente. Ao final da investigação, conseguimos complexificar um pouco mais a hipótese da adaptação acústica ao adicionar, como preditores das variáveis acústicas, não apenas o ambiente, mas também o tempo evolutivo.

Perspectivas futuras

À luz dos resultados obtidos, muitas perguntas foram sendo desdobradas. Algumas conseguimos responder, enquanto tantas outras surgiram no próprio processo da pesquisa. Posso dizer com segurança que avançamos em diferentes aspectos do conhecimento em ornitologia e bioacústica. Para abordar questões macroevolutivas, foi necessário integrar elementos de diferentes campos, desde a bioacústica (capítulos 1 e 2) até a biogeografia (capítulo 3), o que nos permitiu, ao final, contribuir para um tema amplamente debatido na literatura: a Hipótese da Adaptação Acústica (AAH; capítulo 4). Nossos resultados indicam que características temporais e espectrais das vocalizações podem convergir em função do ambiente em que as aves estão inseridas, considerando as grandes categorias utilizadas neste trabalho, como áreas abertas (*e.g.*, campos) e fechadas (*e.g.*, florestas).

Complementarmente, encontramos indícios de maior complexidade dos sinais em aves associadas a ambientes abertos, a partir das medidas de entropia máxima. Embora estejamos trabalhando aqui com uma inferência indireta e não com uma medida direta de complexidade, esse resultado pode representar um caminho promissor para pesquisas futuras. Para avançar nessa direção, será necessário investigar com maior profundidade a estrutura sintática das vocalizações, algo que começamos a explorar ao propor um sistema de classificação alfa-numérico no capítulo 1. Trata-se de um esforço ainda em construção, mas que poderá, progressivamente, refinar nossa compreensão da estrutura sintática dos sons das aves e permitir que perguntas deixem de se concentrar apenas em quais parâmetros acústicos variam, passando também a investigar quais elementos acústicos são modificados entre ambientes para maximizar a propagação sonora.

Sob uma perspectiva histórica, fizemos uma imersão para compreender a relação histórica das linhagens com os ambientes, algo que nos parecia essencial para construir uma interpretação mais consistente da relação entre som e ambiente. A profundidade dessa história evolutiva nos levou a testar diferentes configurações de áreas biogeográficas na tentativa de reconstruir distribuições ancestrais de forma mais refinada.

Em ambas as configurações avaliadas, o modelo melhor ajustado foi aquele que favorece mudanças de distribuição associadas principalmente à expansão e contração de áreas ao longo do tempo, com forte papel da dispersão e suporte à especiação por efeito fundador, em vez de cenários centrados predominantemente na vicariância.

Ainda nesse âmbito, conseguimos representar o Neotrópico em uma escala mais detalhada, a partir da divisão em sete áreas biogeográficas, contrastando com abordagens anteriores que frequentemente tratavam toda a região como uma única unidade. Esse refinamento permitiu explorar padrões espaciais mais complexos e, sobretudo, trazer novos elementos ao debate sobre o papel do comportamento migratório como potencial facilitador da dispersão entre regiões. Ao mesmo tempo, abriu espaço para uma compreensão mais refinada dos processos que moldam essa região tão vasta e complexa sob os pontos de vista biológico, geológico e climatológico, reconhecendo que tamanha diversidade dificilmente pode ser adequadamente representada por um único esquema de áreas.

Não obstante os avanços, também nos deparamos com limitações relacionadas à obtenção de dados acústicos. Embora exista um vasto volume de registros disponíveis em bibliotecas acústicas, nem todas permitem acesso facilitado aos dados e metadados, além de apresentarem qualidade bastante heterogênea. Realizamos uma triagem exaustiva dos registros a fim de obter um conjunto suficientemente robusto para responder às nossas perguntas de pesquisa, um esforço que constantemente parecia demandar ainda mais dados. Durante esse processo, tornou-se evidente a alta variabilidade dos registros analisados. Além disso, emergiu a necessidade de observar a estrutura sintática dos sons, compreender e nomear seus elementos acústicos para, então, começar a identificar padrões e, em certa medida, ouvir o que esses sons têm a nos dizer.

Para além da tese

Ao longo desses anos, entre uma análise de som e um modelo biogeográfico, tive a oportunidade de participar de diversos eventos regionais, nacionais e internacionais, praticar outras línguas por meio das vivências acadêmicas e conhecer outras paisagens. Tive a possibilidade de ampliar minha visão do globo para poder compreender melhor esses seres, que tanto me fizeram refletir ao longo desses anos. Por vezes, me deixei apenas ouvir e desfrutar de seus cantos, pois, apesar do trabalho, há também um deleite nisso.

No âmbito acadêmico, além de participar de eventos (Congresso Uruguaio de Zoologia, Congresso Brasileiro de Ornitologia, Reunião Argentina de Ornitologia, Encontro Anual de Etologia, Reunião Brasileira de Ecologia), também organizei o I, II e III Simpósio de Aves Migratórias da UFRGS, os Cursos de Biologia Evolutiva da UFRGS e o II Congresso Interamericano de Ornitologia; ministrei cursos de bioacústica em diversas oportunidades; participei de bancas de trabalhos de conclusão e de salões de iniciação científica da UFRGS; coorientei trabalhos de conclusão; participei de outras pesquisas que não referentes à minha tese; e fui a campo.

Sempre ouvi que a escrita da tese é um processo solitário, o que, de certa forma, concordo. Porém, o processo da tese não o é. Ao longo desses quatro anos, fiz diversas parcerias e colaborações para deixar cada capítulo da tese mais qualificado, para que me ajudassem a ver e pensar para além do que eu estava fazendo. Uma ideia só se desenvolve a partir da cooperação, e isso foi algo que tive a oportunidade de viver ao longo desses anos. As pessoas, bem como as instituições, especialmente, estão na seção de agradecimentos, mas aqui não é sobre agradecer; é sobre chamar a tua atenção, leitora, para o fazer ciência. Que é esse processo em que temos ideias tomando um cafezinho ou, aqui no sul do país, tomando um chimarrão, mas que então podem virar uma pesquisa. É no diálogo com o outro que aprendemos e construímos. Sei que essas palavras podem parecer vagas, mas, para quem já leu Paulo Freire, acredito que farão sentido.

Deixo meu chamado a ti, leitora, para construirmos ciência através da colaboração, do afeto, da empatia, do rigor científico e também dos erros, pois nem sempre nossas premissas e nossos métodos são adequados, mas fazemos o melhor possível com o que temos. Há uma frase célebre de George Box que diz que "todos os modelos estão errados, mas alguns são úteis", com a qual concordo e que serve de estímulo para continuar tentando responder nossas dúvidas por meio de respostas úteis e, adiciono aqui, criativas.

Em Payada Das Primaveras, Jayme Caetano Braun declama: "*Há tanta autenticidade, nas vozes da natureza, 1ue resumem a beleza, da própria simplicidade*". Ao longo dessa tese, algo que de fato percebemos é que natureza é complexa, e por enquanto, ficamos com alguns modelos uteis para tentar explicá-la, até então, encontrarmos melhores.

Anexo I

Declaração de Não Aplicabilidade

Resolução Nº 40/2021 PPGBAN/UFRGS

Declaro, para os devidos fins de instrução e homologação da versão final da Tese de Doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (PPGBAN/UFRGS), que o projeto de pesquisa intitulado "Entre assobios e paisagens: o ambiente na compreensão da evolução do canto em passeriformes", desenvolvido pela discente Patrícia Paludo sob minha orientação, não se enquadra nas obrigatoriedades de registro ou autorização previstas na Resolução Nº 40/2021 deste programa.

A não aplicabilidade fundamenta-se nos seguintes pontos:

- Quanto ao SISBIO (Item 2): As atividades de pesquisa realizadas no âmbito deste projeto não envolveram coleta de material biológico, captura ou marcação de animais silvestres *in situ*, manutenção temporária de espécimes em cativeiro, transporte de material biológico ou atividades em unidades de conservação/cavidades naturais.
- Quanto ao SISGEN (Item 3): O projeto não realizou atividades caracterizadas como acesso, envio ou remessa de patrimônio genético nacional (Lei nº 13.123/15).
- Quanto à CEUA (Item 4): A pesquisa não utilizou animais vertebrados ou outros grupos de organismos previstos na Lei nº 11.794/08, tampouco demandou experimentação ou manejo animal.

Por ser a expressão da verdade, firmo a presente declaração para que produza seus efeitos legais e administrativos.

Porto Alegre, 15 de maio de 2026

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA JOAO VELOSO DA COSTA RAMOS PEREII
Data: 15/05/2026 12:00:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Maria João Ramos Pereira