

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de **21/08/2027**.

CAMILA MIRANDA MOREIRA

EVOLUÇÃO DE CARACTERES ACÚSTICOS NO GÊNERO
APLASTODISCUS LUTZ 1950 (ANURA, HYLIDAE): TESTANDO
A HIPÓTESE DE ADAPTAÇÃO ACÚSTICA E MORFOLÓGICA

SÃO VICENTE – SP

2025

CAMILA MIRANDA MOREIRA

EVOLUÇÃO DE CARACTERES ACÚSTICOS NO GÊNERO
APLASTODISCUS LUTZ 1950 (ANURA, HYLIDAE): TESTANDO
A HIPÓTESE DE ADAPTAÇÃO ACÚSTICA E MORFOLÓGICA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista para obtenção do título de Mestra em Ciências.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Ivan Sergio Nunes Silva Filho

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Hepp Silva Fernandes dos Santos

SÃO VICENTE – SP

2025

M838e Moreira, Camila Miranda

 Evolução de caracteres acústicos no gênero *Aplastodiscus* Lutz
 1950 (Anura, Hylidae): testando a hipótese de adaptação acústica e
 morfológica / Camila Miranda Moreira. -- São Vicente, 2025
 45 p.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
 Instituto de Biociências, São Vicente
 Orientador: Ivan Sergio Nunes Silva Filho
 Coorientador: Fábio Hepp Silva Fernandes dos Santos

 1. Evolução acústica. 2. Comunicação. 3. Anuros. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CAMILA MIRANDA MOREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.

Aos 21 dias do mês de agosto do ano de 2025, às 15h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CAMILA MIRANDA MOREIRA, intitulada ***Evolução de caracteres acústicos no gênero *Aplastodiscus* Lutz 1950 (Anura, Hylidae): testando a Hipótese de Adaptação Acústica e Morfológica.*** A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. IVAN SERGIO NUNES SILVA FILHO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP, Prof. Dr. MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR (Participação Virtual) do(a) Ocean Science Consulting Limited, Dr. MOISÉS DAVID ESCALONA SULBARÁN (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Santa Maria. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: **Aprovada**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. IVAN SERGIO NUNES SILVA FILHO



Documento assinado digitalmente
IVAN SERGIO NUNES SILVA FILHO
Data: 26/08/2025 16:04:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de toda força e esperança, que me guiou e sustentou ao longo desta jornada, iluminando meu caminho mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus amados pais, que, com amor, paciência e dedicação, sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando. Vocês foram minha base, minha inspiração e minha maior força nos momentos de dificuldade e de conquista. Sem o apoio, amor e confiança de vocês, eu não teria chegado até aqui. Agradeço também aos meus irmãos, que mesmo indiretamente, sempre torceram pelo meu sucesso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivan Nunes, agradeço por toda contribuição, por me aceitar como orientanda e pela confiança depositada em mim ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Fábio Hepp, por ter aceitado meu convite para participar deste projeto. Fiquei muito feliz com sua contribuição, que foi essencial para a concretização deste trabalho. Agradeço imensamente pelas dicas e ensinamentos, não apenas em bioacústica, mas também nas análises estatísticas.

Agradeço a todos que contribuíram enviando gravações sonoras das espécies: Prof. Dr. Ariovaldo Giaretta (Universidade Federal de Uberlândia), ao meu coorientador, que também disponibilizou registros, e à Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV), que gentilmente forneceu material essencial para esta pesquisa.

Aos estimados membros da banca examinadora, expresso minha sincera gratidão pelas valiosas contribuições, críticas construtivas e pelo tempo dedicado à minuciosa avaliação deste trabalho. As recomendações recebidas serão fundamentais para enriquecer e aprimorar esta pesquisa.

Aos queridos amigos, de longa data e aos que a vida me presenteou durante esta etapa, pela presença constante, pelas conversas que aqueceram o coração, pelas risadas compartilhadas e pelo companheirismo nos momentos bons e difíceis. Vocês transformaram esta jornada em algo mais leve e especial.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos, fundamental para a continuidade e conclusão desta pesquisa.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros, pela oportunidade de realizar este mestrado, pela infraestrutura oferecida e pelo suporte técnico e administrativo que possibilitaram a execução deste trabalho.

"Nada na biologia faz sentido exceto à luz da evolução."

— Theodosíus Dobzhansky

SUMÁRIO

Resumo	8
Abstract	9
Introdução	10
Objetivos	13
Material e métodos	14
Resultados	20
Discussão	32
Conclusão	35
Referências bibliográficas	36
Material suplementar	44

Resumo

A comunicação desempenha um papel crucial na vida e adaptação dos animais, sendo responsável por ativar uma diversidade de respostas comportamentais. Nos anuros, os sinais acústicos representam a principal forma de interação, com destaque para o canto de anúncio, emitido principalmente por machos durante o período reprodutivo. Os caracteres acústicos do canto enfrentam restrições morfológicas e ambientais, exigindo otimização na transmissão do sinal para manter a qualidade da informação. As Hipóteses de Adaptação Morfológica (HAM) e Adaptação Acústica (HAA) têm sido propostas para explicar a evolução desse tipo de sinal. Ademais, traços morfológicos e acústicos também podem refletir padrões evolutivos, sendo conservados entre espécies aparentadas. Dessa forma, a partir de 42 gravações analisadas, investigou-se, por meio de análises filogenéticas comparativas, se a estrutura dos cantos de anúncio em *Aplastodiscus* é explicada por fatores adaptativos, como porte corporal (HAM) e microhabitat (HAA), ou se reflete principalmente a história evolutiva compartilhada entre as espécies (inércia filogenética). Não foram encontradas correlações significativas ($p > 0.05$) que sustentem a HAM e HAA. Contudo, a análise de correlação filogenética indicou associação entre microhabitats e as frequências 25% e central, com efeito significativo nos habitats de dossel e subterrâneo, respectivamente. As variáveis largura de banda 90%, duração do canto e o traço “*envelope*” apresentaram sinal filogenético, com o padrão “exponencial” identificado como ancestral e amplamente conservado entre os grupos. Recomenda-se que estudos futuros adotem uma abordagem evolutiva ao investigar a HAM e HAA, explorando as categorias de microhabitat utilizadas, uma vez que o impacto desses ambientes nos cantos ainda é pouco compreendido nesse contexto. Além disso, é importante incorporar um conjunto mais abrangente de parâmetros acústicos, como percentis de frequência e características estruturais do canto, como o “*envelope*”, que podem revelar padrões significativos na evolução vocal entre diferentes linhagens.

Palavras-chave: anuros, comunicação, canto de anúncio, sinal filogenético, padrões evolutivos.

Abstract

Communication is fundamental to animal survival and adaptation, inducing a diversity of behavioral responses. Among anurans, acoustic signals represent the primary form of interaction, with emphasis on advertisement calls, which are primarily emitted by males during the reproductive period. The acoustic characters of calls face morphological and environmental constraints, requiring signal transmission optimization to preserve information quality. The Morphological Adaptation Hypothesis (MAH) and Acoustic Adaptation Hypothesis (AAH) have been proposed to explain the evolution of this type of signal. Furthermore, morphological and acoustic traits may also reflect evolutionary patterns, being conserved among related species. Thus, based on 42 recordings analyzed, we investigated, through comparative phylogenetic analyses, whether the structure of advertisement calls in *Aplastodiscus* is explained by adaptive factors, such as body size (MAH) and microhabitat (AAH), or whether it primarily reflects the shared evolutionary history between the species (phylogenetic inertia). No significant correlations ($p > 0.05$) supporting MAH and AAH were found. However, phylogenetic correlation analysis indicated an association between microhabitats and the 25% and central frequencies, with a significant effect on canopy and subterranean habitats, respectively. The variables 90% bandwidth, call duration, and the “*envelope*” trait exhibited phylogenetic signal, with an “exponential” pattern identified as ancestral and broadly conserved across clades. It is important that future studies adopt an evolutionary framework when examining MAH and AAH, incorporating the microhabitat categories identified here, as the impact of these environments on anuran calls remains poorly understood in this context. Moreover, we recommend incorporating additional acoustic parameters, including frequency percentiles and structural call features (e.g., envelope), as these may reveal significant patterns in vocal evolution across lineages.

Keywords: anurans, acoustic communication, advertisement calls, phylogenetic signal, evolutionary patterns.

Introdução

A comunicação exerce um papel fundamental na vida e sobrevivência dos animais, sendo responsável por desencadear uma ampla variedade de comportamentos (Schaefer, 2010). Assim como em qualquer sistema de transmissão de informações, a comunicação animal envolve não apenas um emissor e um receptor, mas também um sinal capaz de transmitir a mensagem de forma eficaz (Vielliard, 2004). Esse sinal pode ser transmitido por diferentes modalidades, como estímulos visuais, comuns em interações sociais (Furtado *et al.*, 2019), táteis, observados em espécies com contato físico direto (Zornosa-Torres; Toledo, 2019), químicos, amplamente utilizados por anfíbios na marcação de território (Starnberger *et al.*, 2013), sísmicos, como em aranhas e outras espécies que percebem vibrações (Caldwell *et al.*, 2010), e acústicos, um meio essencial na comunicação de muitos vertebrados (Pombal-Júnior; Bastos; Haddad, 1995).

Os sinais acústicos são amplamente utilizados por anuros (sapos, rãs e pererecas), pois o canto representa seu principal meio de interação (Gerhardt; Huber, 2002). Dentre os diferentes tipos de vocalizações, o canto de anúncio é o mais frequentemente emitido por machos durante o período reprodutivo (Toledo *et al.*, 2014), sendo essencial no reconhecimento da espécie, na escolha de parceiros e na defesa territorial (Duellman; Trueb, 1994). Por ser espécie-específico, atua como mecanismo pré-zigótico de isolamento reprodutivo, contribuindo para a manutenção da identidade reprodutiva (Martins; Jim, 2003).

Embora as vocalizações desempenhem múltiplas funções, elas são relativamente fixas e não há evidências de que sejam aprendidas, sendo geralmente controladas por fatores genéticos (Gerhardt, 1994). Em geral, a estrutura do canto de anúncio tende a ser bastante padronizada dentro de cada espécie. Com base nisso, Blair (1958) propôs a hipótese de que espécies mais próximas filogeneticamente tendem a ter vocalizações mais semelhantes, enquanto espécies mais distantes apresentam, em média, cantos mais distintos.

Ainda que padronizados, os cantos de anúncio apresentam organização acústica complexa, geralmente analisados a partir de aspectos espectrais e temporais (Duellman; Trueb, 1994). As propriedades espectrais incluem medidas como frequências, largura de banda e entropia, por exemplo. Já os aspectos temporais englobam parâmetros como a duração do canto (do início ao final do canto), o número de notas, taxa de repetição, entre outros (Köhler *et al.*, 2017). Além disso, essas propriedades acústicas estão sujeitas à influência de fatores intrínsecos, como a restrição morfológica e energética do animal (Martin, 1971), e extrínsecos, como as condições do ambiente de emissão, tornando esse sinal vocal um recurso biologicamente custoso (Wiley; Richards, 1978).

Diante disso, é provável que ao longo da evolução, os cantos tenham sido otimizados por meio de adaptações morfológicas e comportamentais (Farina, 2014). Duas hipóteses auxiliam na compreensão desse processo. A Hipótese de Adaptação Morfológica (HAM) propõe que o tamanho corporal impõe limitações biológicas aos órgãos vocais, influenciando diretamente o desempenho acústico (Fletcher, 2004; Boeckle; Preininger; Hödl, 2009); e a Hipótese de Adaptação Acústica (HAA) que sugere que as espécies ajustam seus parâmetros sonoros conforme as restrições ambientais para melhorar a transmissão do som (Morton, 1975).

Do ponto de vista morfológico, os mecanismos físicos da comunicação acústica estão diretamente associados à estrutura do indivíduo emissor (Bradbury; Vehrencamp, 2011). Há uma relação bem estabelecida entre o tamanho corporal e a massa das cordas vocais nas espécies de anuros (Martin, 1971): indivíduos maiores tendem a possuir aparelhos vocais mais desenvolvidos, sendo capazes de emitir sons com frequências mais baixas (sons graves), enquanto indivíduos menores produzem sons com frequências mais altas (sons agudos) devido à menor massa do aparelho vocal (Wells, 2007; Farina, 2014).

Da mesma forma, a escolha do microhabitat pelo emissor impõe pressões seletivas sobre as propriedades acústicas dos cantos (Morton, 1975; Röhr; Juncá, 2013), uma vez que os sons sofrem maior atenuação quando emitidos ao nível do solo do que em posições mais elevadas (Richards; Wiley, 1980; Forrest, 1994). Sons de baixa frequência são menos atenuados quando emitidos a mais de 1 metro de altura, mas sofrem maior atenuação quando transmitidos próximos ao solo, entre o nível do chão e 1 metro de altura (Kime; Turner; Ryan, 2000). Em contraste, espécies que vocalizam posicionadas sobre a vegetação podem se beneficiar da amplificação sonora proporcionada pelas folhas, especialmente quando a frequência do canto coincide com a frequência de ressonância dessas estruturas (Wells; Schwartz, 1982).

Além dos fatores já mencionados, aspectos estruturais do canto, como o *envelope*, que descreve a variação da amplitude (intensidade) do som ao longo do tempo, definindo o contorno da forma de onda (Köhler *et al.*, 2017), podem refletir uma história evolutiva compartilhada, ou seja, podem ser conservados ao longo da evolução por herança de um ancestral comum, processo conhecido como inércia filogenética, cuja presença pode ser quantificada estatisticamente por meio do sinal filogenético (Blomberg; Garland, 2002; Blomberg; Garland; Ives, 2003; Pagel, 1999). Por essa razão, estudos evolutivos mais recentes têm adotado uma perspectiva filogenética em suas análises (Pagel, 1999). Essa abordagem tem sido amplamente

aplicada em pesquisas com anuros (Goicoechea; De La Riva; Padial, 2010; Gingras *et al.*, 2013; Escalona *et al.*, 2019), tradicionalmente utilizados como modelos clássicos em estudos sobre comunicação.

Considerando a importância dos anuros como modelos para esse tipo de investigação, vale destacar que, com 7.873 espécies descritas, eles formam a ordem mais diversa da classe Amphibia, representando uma parcela significativa da diversidade de vertebrados (Frost, 2025). Estão amplamente distribuídos, ocorrendo em todos os continentes, exceto na Antártida (Wells, 2007). O Brasil abriga a maior riqueza de anfíbios anuros, com 1.144 espécies distribuídas em 20 famílias e 107 gêneros (Segalla *et al.*, 2021). No entanto, devido a fatores como destruição de habitats e mudanças climáticas (Cushman, 2006; Costa; Carnaval; Toledo, 2012), mais de 40% dos anfíbios do mundo encontram-se ameaçados de extinção (IUCN, 2025).

Dentre os táxons que compõem essa diversidade, destaca-se o gênero *Aplastodiscus* Lutz, 1950, pertencente à família Hylidae e subfamília Hylinae (Frost, 2025). Atualmente o grupo reúne 17 espécies nominais organizadas em quatro linhagens monofiléticas: 1) grupo *Aplastodiscus albosignatus* Lutz e Lutz, 1938; 2) grupo *Aplastodiscus albofrenatus* Lutz, 1924; 3) grupo *Aplastodiscus sibilatus* Cruz; Pimenta; Silvano, 2003 e 4) grupo *Aplastodiscus perviridis* Lutz, 1950 (Berneck *et al.*, 2016; Frost, 2025).

Popularmente conhecidas como pererecas-verdes, essas espécies ocorrem amplamente no Sudeste e Sul do Brasil, principalmente na Mata Atlântica (Frost, 2025), apenas *A. lutzorum* é endêmico do bioma Cerrado (Berneck *et al.*, 2017). As espécies de *Aplastodiscus* apresentam canto simples, composto por uma ou várias notas do mesmo tipo, com estrutura harmônica não pulsionada (Berneck, 2008), exceto *A. heterophonicus*, que apresenta notas parcialmente pulsadas (Pinheiro *et al.*, 2021). A frequência dominante, isto é, a faixa de maior intensidade sonora, pode ficar situada em uma ou mais bandas (ver Abrunhosa *et al.*, 2005; Conte; Lingnau; Kwet, 2005; Orrico; Carvalho-e-Silva; Carvalho-e-Silva, 2006).

As espécies deste gênero ocupam uma variedade de microhabitats, incluindo dossel, arbustos, serrapilheira e tocas subterrâneas (ver Garcia; Caramaschi; Kwet, 2001; Cruz; Pimenta; Silvano, 2003; Pinheiro *et al.*, 2021; Abrunhosa *et al.*, 2005). Também exibem ampla variação corporal, com representantes de pequeno, médio e grande porte (ver Abrunhosa *et al.*, 2005). Esse conjunto de informações sobre a história natural, aliado à extensa disponibilidade de dados acústicos, torna *Aplastodiscus* um modelo ideal para estudos sobre evolução da comunicação acústica, bem como para inferir padrões de adaptação ou conservação de traços ao longo da história evolutiva do grupo. Além de ser estratégico para o direcionamento de ações conservacionistas (Alford; Richards, 1999; Guerra *et al.*, 2018).

Objetivo

Objetivo geral:

Buscou-se investigar, sob uma perspectiva evolutiva, se fatores morfológicos, ambientais e filogenéticos influenciaram a estrutura dos cantos de anúncio em espécies do gênero *Aplastodiscus*.

Objetivos específicos:

- 1) Avaliar se espécies de maior porte corporal (CRC) produzem vocalizações mais graves (menor frequência dominante) em comparação às espécies de menor porte, que tendem a emitir sons mais agudos (maior frequência dominante) (HAM);
- 2) Analisar se diferentes microhabitats estão associados a variações nos parâmetros dos cantos (HAA);
- 3) Verificar se há presença de sinal filogenético nas características morfológicas e acústicas das espécies;
- 4) Investigar se o envelope do canto de anúncio exhibe sinal filogenético entre as diferentes linhagens, a fim de avaliar se sua distribuição reflete a história evolutiva do grupo.

Conclusão

Até o momento, este é o primeiro estudo a testar hipóteses evolutivas no gênero *Aplastodiscus* aplicando as variáveis aqui utilizadas, destacando a importância de ampliar as investigações e incluir uma gama mais diversa de parâmetros espectrais, bem como estes microhabitats acústicos. Essas abordagens podem revelar pressões seletivas relevantes na evolução das vocalizações e, assim, aprofundar a compreensão da HAA em anuros.

Recomenda-se que estudos futuros considerem a influência da filogenia e incluam o envelope do canto em suas análises. Apesar de seu papel funcional ao longo da história evolutiva, essa estrutura ainda é pouco explorada. Este é o primeiro trabalho a aplicar tal variável no contexto evolutivo de *Aplastodiscus*, evidenciando seu potencial para revelar padrões filogenéticos robustos. Dessa forma, por basear-se em características acústicas amplamente presentes na maioria das vocalizações animais, a abordagem aqui empregada apresenta potencial para aplicação proveitosa em outros táxons vocais.

Referências bibliográficas

- Abhijith, A. V. *et al.* Contrasting morphological and acoustic trait spaces suggest distinct participant benefits in mixed-species bird flocks. **Animal Behaviour**, v. 221, p. 1-11, 2024.
- Abrunhosa, P. A. *et al.* Advertisement calls of species of the *Hyla albosignata* group (Amphibia, Anura, Hylidae). **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 2, p. 275-282, 2005.
- Alford, R. A.; Richards, S. J. Global Amphibian Declines: A Problem in Applied Ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 30, n. 1, p. 133-165, 1999.
- Audacity Team. **Audacity(R)**: Free Audio Editor and Recorder. Computer program. Version 3.6.4. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Bailey, W. J.; Roberts, J. D. The bioacoustics of the burrowing frog *Heleioporus* (Leptodactylidae). **Journal of Natural History**, v. 15, p. 693-702, 1981.
- Bennet-Clark, H. C. The tuned singing burrow of mole crickets. **Journal of Experimental Biology**, v. 128, p. 383-409, 1987.
- Bennet-Clark, H. C. The mechanism and efficiency of sound production in mole crickets. **Journal of Experimental Biology**, v. 52, p. 619-652, 1970.
- Berneck, B. V. M. **Análise filogenética de *Aplastodiscus* (Amphibia, Anura, Hylidae) sensu Faivovich *et al.* (2005), com ênfase no grupo *albosignatus***. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, p. 70, 2008.
- Berneck, B. V. M. *et al.* The first species of *Aplastodiscus* endemic to the Brazilian Cerrado (Anura, Hylidae). **Zookeys**, v. 642, p. 115-130, 2017.
- Berneck, B. V. M. *et al.* The Green Clade grows: A phylogenetic analysis of *Aplastodiscus* (Anura; Hylidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 97, p. 213-223, 2016.
- Bezerra, A. M.; Carvalho-e-Silva, S. P.; Gonzaga, L. P. Evolution of acoustic signals in Neotropical leaf frogs. **Animal Behaviour**, v. 181, p. 41-49, 2021.
- Bezerra, A. M. *et al.* A Missing Piece of the Puzzle: Re-encounter of *Aplastodiscus musicus*, Its Call, and Phylogenetic Placement (Anura: Hylidae: Cophomantini). **Herpetologica**, v. 76, n. 1, p. 74-82, 2020.
- Blair, W. F. Mating call in the speciation of anuran amphibians. **The American Naturalist**, v. 92, n. 862, p. 27-51, 1958.
- Blomberg, S. P.; Garland, T. Jr. Tempo and mode in evolution: Phylogenetic inertia, adaptation and comparative methods. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 15, p. 899-910, 2002.

Blomberg, S. P.; Garland, T. Jr.; Ives, A. R. Testing for phylogenetic signal in comparative data: Behavioural traits are more labile. **Evolution**, v. 57, n. 4, p. 717-745, 2003

Blumstein, D. T.; Turner, A. C. Can the acoustic adaptation hypothesis predict the structure of Australian birdsong? **Acta Ethologica**, v. 8, p. 35-44, 2005.

Boeckle, M.; Preininger, D.; Hodl, W. Communication in Noisy Environments i: Acoustic Signals of *Staurois latopalmatus* Boulenger 188. **Herpetologica**, v. 65, n. 2, p. 154-165, 2009.

Boncoraglio, G.; Saino, N. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. **Functional Ecology**, v. 21, p. 134-142, 2007.

Bradbury, J. W.; Vehrencamp, S. L. **Principles of Animal Communication**. 2. ed. Sunderland: Oxford University, 2011.

Caldwell, M. S. *et al.* Vibrational signaling in the agonistic interactions of red-eyed tree frogs. **Current Biology**, v. 20, p. 1012-1017, 2010.

Campitelli, E. **ggnewscale: Multiple Fill and Colour Scales in 'ggplot2'**. R package version 0.5.2, 2025. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggnewscale>.

Charif, R. A.; Waack, A. M.; Strickman, L. M. **Raven Pro 1.4 User's Manual**. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, 2010.

Chitnis, S. S. *et al.* Sympatric wren-warblers partition acoustic signal space and song perch height. **Behavioral Ecology**, v. 20, p. 1-9, 2020.

CIPRES Science Gateway: Cyberinfrastructure for Phylogenetic. Disponível em: <http://www.phylo.org/portal2>. Acesso em: 10 set. 2024.

Cocroft, R. B.; Ryan, M. J. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. **Animal Behaviour**, v. 49, p. 283-303, 1995.

Conte, C. E.; Lingnau, R.; Kwet, A. Description of the advertisement call of *Hyla ehrhardti* MÜLLER, 1924 and new distribution records (Anura: Hylidae). **Salamandra**, v. 41, p. 147-151, 2005.

Costa, T. R. N.; Carnaval, A. C. O. Q.; Toledo, L. F. Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. **Revista da Biologia**, v. 8, p. 33-37, 2012.

Cruz, C. A. G.; Pimenta, B.V. S.; Silvano, D. L. Duas novas espécies pertencentes ao complexo de *Hyla albosignata* Lutz & Lutz, 1938 do leste do Brasil (Amphibia, Anura, Hylidae). **Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Zoologia**, Rio de Janeiro, v. 503, p. 1-13, 2003.

Cushman, S. A. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. **Biological Conservation**, v. 128, p. 231-240, 2006.

Daws, A. G.; Bennet-Clark, H. C.; Fletcher, N. H. The mechanism of tuning of the molecricket singing burrow. **Bioacoustics**, v. 7, n. 2, p. 81-117, 1996.

Diniz-Filho, J. A. F *et al.* A comparison of metrics for estimating phylogenetic signal under alternative evolutionary models. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 3, p. 673-679, 2012.

Duellman, W. E, Trueb, L. **Biology of Amphibians**. 2. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1994.

Escalona, M. D.; Castroviejo-Fisher, S.; Simões, P. I. Frog call transmission in forestry monocultures: Are there drawbacks? **Biotropica**, v. 55, n. 5, p. 1006-1018, 2023.

Escalona, M. D. *et al.* Neotropical frogs and mating songs: The evolution of advertisement calls in glassfrogs. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 32, n. 2, p. 163-176, 2019.

Farina, A. **Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

Fletcher, N. H. A simple frequency-scaling rule for animal communication. **Acoustical Society of America**, v. 115, n. 5, p. 2334-2338, 2004.

Forrest, T. G. From Sender to Receiver: Propagation and Environmental Effects on Acoustic Signals. **American Zoologist**, v. 34, n. 6, p. 644-654, 1994.

Freckleton R. P.; Harvey P. H.; Pagel, M. Phylogenetic analysis and comparative data: a test and review of evidence. **The American Naturalist**, v. 160, n. 6, p. 712-726, 2002.

Fritz, S. A.; Purvis, A. Selectivity in mammalian extinction risk and threat types: a new measure of phylogenetic signal strength in binary traits. **Conservation Biology**, v. 24, n. 4, p. 1042-1051, 2010.

Frost, D. R. **Amphibian species of the world: an online reference**. Version 6.1. Electronic Database. American Museum of Natural History, New York, 2023. Disponível em: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. Acesso em: 01 out. 2025.

Furtado, S. *et al.* Neotropical dancing frog: the rich repertoire of visual displays in a hylodine species. **Journal of Ethology**, v. 37, n. 1, p. 291-300, 2019.

Garamszegi, L. Z. **Modern phylogenetic comparative methods and their application in evolutionary biology: Concepts and practice**. Berlin, Germany: Springer, 2014.

Garcia, P. C. A.; Caramaschi, U.; Kwet, A. O status taxonômico de *Hyla cochranae* Mertens e recaracterização de *Aplastodiscus* A. Lutz (Anura, Hylidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 4, p. 1197-1218, 2001.

Gerhardt, H. C. The Evolution of Vocalization in Frogs and Toads. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 25, p. 293-324, 1994.

Gerhardt, H. C.; Davis, M. S. Variation in the coding of species identity in the advertisement calls of *Litoria verreauxi* (Anura: Hylidae). **Evolution**, v. 42, n. 3, p. 556-565, 1988.

Gerhardt, H. C.; Huber, F. **Acoustic Communication in Insects and Anurans**: common problems and diverse solutions. Chicago and London: University of Chicago Press, 2002.

Gerhardt, H. C.; Schwartz, J. J. Auditory tuning and frequency preferences in anurans. **Hearing Research**, v. 54, p. 81-92, 1991.

Gillard, G. L.; Rowley, J. J. L. Assessment of the acoustic adaptation hypothesis in frogs using large-scale citizen science data. **Journal of Zoology**, v. 320, n. 4, p. 249-321, 2023.

Gingras, B. *et al.* Phylogenetic signal in the acoustic parameters of the advertisement calls of four clades of anurans. **BMC Evolutionary Biology**, v. 13, n. 134, p. 2-12, 2013.

Goicoechea, N.; De La Riva, I.; Padial, J. M. Recovering phylogenetic signal from frog mating calls. **Zoologica Scripta**, v. 39, p. 411-154, 2010.

Gomes, L. *et al.* Environmental factors influencing call propagation in *Pithecopus nordestinus*: testing the acoustic adaptation hypothesis. **Bioacoustics**, v. 31, p. 696-709, 2022.

Goutte, S. *et al.* Environmental constraints and call evolution in torrent-dwelling frogs. **Evolution**, v. 70, p. 811-826, 2016.

Goutte, S. *et al.* How the environment shapes animal signals: a test of the acoustic adaptation hypothesis in frogs. **Journal of Evolutionary Biology**, n. 31, v. 1, p. 148-158, 2018.

Guerra, V. *et al.* The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. **Plos One**, v. 13, n. 1, p. 1-22, 2018.

Hepp, F.; Pombal Jr. J. P. Review of bioacoustical traits in the genus *Physalaemus* Fitzinger, 1826 (Anura: Leptodactylidae: Leiuperinae). **Zootaxa**, v. 4725, n. 4, p. 1-106, 2020.

Hopp, S. L.; Owren, M. J.; Evans, C. S. **Animal Acoustic Communication**: sound analysis and research methods. Springer Berlin: Heidelberg, 1998.

Huelsenbeck, J. P. *et al.* Bayesian inference of phylogeny and its impact on evolutionary biology. **Science**, v. 294, p. 2310-2314, 2001.

Huelsenbeck, J. P.; Ronquist, F. MrBayes: Bayesian inference of phylogenetic trees. **Bioinformatics**, v. 17, n. 8, p. 754-755, 2001.

IUCN. **The IUCN Red List of threatened Species**. Version 2022.2. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 30 abr. 2025.

Katoh, K.; Standley, D. M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. **Molecular Biology and Evolution**, v. 30, n. 4, p. 772-780, 2013.

K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics. **K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics**. Cornell Lab of Ornithology, 2025. Disponível em: <https://www.birds.cornell.edu/ccb/>. Acesso: 15 abr. 2025.

Kime, N. M.; Turner, W. R.; Ryan, M. J. The transmission of advertisement calls in Central American frogs. **Behavioral Ecology**, v. 11, p. 71-83, 2000.

Köhler, J. *et al.* The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. **Zootaxa**, v. 4251, n. 1, p. 001-124, 2017.

Kumar, S. *et al.* MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. **Molecular Biology and Evolution**, v. 35, n. 6, p. 1547-1549, 2018.

Lahiri, S. *et al.* Convergent acoustic community structure in South Asian dry and wet grassland birds. **Biology Open**, v. 10, p. 1-10, 2021.

Lardner, B.; bin Lakim, M. Tree-hole frogs exploit resonance effects. **Nature**, v. 420, p. 475, 2002.

Letunic, I.; Bork, P. Interactive Tree Of Life (iTOL) v6: an online tool for phylogenetic tree display and annotation. **Nucleic Acids Research**, v. 49, n. 1, p. 293-296, 2021. Disponível em: <https://itol.embl.de/>. Acesso em: 03 out. 2024.

Marinho, P. *et al.* A New Species of the *Aplastodiscus albosignatus* Group (Hylinae: Cophomantini) from the Northern Mantiqueira Mountain Range. **Herpetologica**, v. 80, n. 1, p. 51-66, 2024.

Marten, K.; Marler, P. Sound transmission and its significance for animal vocalization. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 2, p. 271-290, 1977.

Martin, W. F. Mechanics of sound production in toads of the genus *Bufo*: Passive elements. **Journal of Experimental Zoology**, v. 176, p. 273-293, 1971.

Martins, I. A.; Jim, J. Bioacoustic Analysis of Advertisement Call in *Hyla nana* and *Hyla sanborni* (Anura, Hylidae) in Botucatu, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 3, p. 507-516, 2003.

Morton, E. S. Ecological Sources of Selection on Avian Sounds. **The American Naturalist**, v. 109, n. 965, p. 17-34, 1975.

Mundry, R. Statistical issues and assumptions of phylogenetic generalized least squares. In: Garamszegi, L. Z. (org.). **Modern phylogenetic comparative methods and their application in evolutionary biology**. Berlin: Springer, p. 131-153, 2014.

Nakamura, D. Y. M.; Escalona, M; Pinheiro, P. D. P. Body size, habitat, and sexual selection affect call evolution in Cophomantini tree frogs (Anura: Hylidae: Hylinae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 20, p. 1-18, 2024.

Odom, K. J. *et al.* Comparative bioacoustics: a roadmap for quantifying and comparing animal sounds across diverse taxa. **Biological Reviews**, v. 96, n. 4, p. 1135-1159, 2021.

Orrico, V. G. D.; Carvalho-e-Silva, A. M. P. T.; Carvalho-e-Silva, S. P. Redescription of the advertisement call of *Aplastodiscus arildae* (Cruz & Peixoto) and description of the call of *Aplastodiscus weygoldti* (Cruz & Peixoto) with general notes about the genus in Southeastern Brazil (Anura, Hylidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 4, p. 994-1001, 2006.

Orme, C. D. L. *et al.* **caper**: Comparative Analyses of Phylogenetics and Evolution in R. R package version 1.0.3, 2023. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=caper>>. Acesso em: 20 abr. 2025.

Pagel, M. Inferring the historical patterns of biological evolution. **Nature**, v. 401, p. 877-884, 1999.

Paradis, E.; Schliep, K. ape 5.0: An environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. **Bioinformatics**, v. 35, n. 3, p. 526-528, 2019.

Pedersen, T. **ggforce: Accelerating 'ggplot2'**. R package version 0.5.0, 2025. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggforce>.

Pennell, M. W *et al.* geiger v2.0: an expanded suite of methods for fitting macroevolutionary models to phylogenetic trees. **Bioinformatics**, v. 30, p. 2216-2218, 2014.

Peters, G.; Peters, M. K. Long-distance call evolution in the Felidae: effects of body weight, habitat, and phylogeny. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 101, p. 487-500, 2010.

Pinheiro, P. D. P. *et al.* A new cryptic species of the *Aplastodiscus albosignatus* group (Anura: Hylidae). **Salamandra**, v. 57, n. 1, p. 27-43, 2021.

Pombal-Júnior, J. P.; Bastos, R. P.; Haddad, C. F. B. Vocalizações de algumas espécies do gênero *Scinax* (Anura, Hylidae) do sudeste do Brasil e comentários taxonômicos. **Naturalia**, v. 20, p. 213-225, 1995.

Rambaut, A. **FigTree, a graphical viewer of phylogenetic trees** (versão 1.4.4), 2018. Disponível em: <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>. Acesso em: 03 out. 2024.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Version 4.5.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025.

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

Revell, L. J. Size-correction and principal components for interspecific comparative studies. **Evolution**, v. 63, n. 12, p. 3258-3268, 2009.

Richards, D. G.; Wiley, R. H. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication. **The American Naturalist**, v. 115, n. 3, p. 381-399, 1980.

Rodríguez, C. *et al.* Calling amplitude flexibility and acoustic spacing in the territorial frog *Allobates femoralis*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 74, n. 76, p. 1-10, 2020.

Röhr, D. L.; Juncá, F. A. Micro-Habitat Influence on the Advertisement Call Structure and Sound Propagation Efficiency of *Hypsiboas crepitans* (Anura: Hylidae). **Journal of Herpetology**, v. 47, n. 4, p. 549-554, 2013.

Ryan, M. J. Factors influencing the evolution of acoustic communication: biological constraints. **Brain Behavior and Evolution**, v. 28, p. 70-82, 1986.

Ryan, M. J.; Brenowitz, E. A. The Role of Body Size, Phylogeny, and Ambient Noise in the Evolution of Bird Song. **The American Naturalist**, v. 126, n. 1, p. 87-100, 1985.

Ryan, M. J.; Perrill, S. A.; Wilczynski, W. Auditory tuning and call frequency predict population-based preferences in the cricket frog, *Acris crepitans*. **The American Naturalist**, v. 139, n. 6, p. 1370-1383, 1992.

Schaefer, H. Visual communication: evolution, ecology, and functional mechanisms. In: Kappeler, P. (ed.). **Animal Behaviour: Evolution and Mechanisms**. Berlin: Springer, 2010. p. 3-28.

Schwartz, J. J. *et al.* Calling site choice and its impact on call degradation and call attractiveness in the gray treefrog, *Hyla versicolor*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 70, p. 1-19, 2015.

Segalla, M. V. *et al.* List of brazilian amphibians. **Herpetologia Brasileira**, v. 10, n. 1, p.121-216, 2021.

Slowikowski, K. **ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'**. R package version 0.9.6, 2024. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel>.

Starnberger, I. *et al.* Take time to smell the frogs: vocal sac glands of reed frogs (Anura: Hyperoliidae) contain species-specific chemical cocktails. **Biological Journal, of the Linnean Society**, v. 110, p. 828-838, 2013.

Toledo, L. F. *et al.* The anuran calling repertoire in the light of social context. **Acta Ethologica**, v.18, p. 87-99, 2014.

Tonini, J. R. F *et al.* Allometric escape from acoustic constraints is rare for frog calls. **Ecology and Evolution**, v.10, p. 3686-3695, 2020.

Vielliard, J. M. **A diversidade de sinais e sistemas de comunicação sonora na fauna brasileira**. I Seminário Música Ciência Tecnologia: Acústica Musical, p. 145-152, 2004.

Wells, K. D. **The ecology and behavior of amphibians**. Chicago: University of Chicago Press, 2007.

Wells, K. D.; Schwartz, J. J. The effect of vegetation on the propagation of calls in the neotropical frog *Centrolenella fleischmanni*. **Herpetologica**, v. 38, p. 449-455, 1982.

Wickham, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.

Wickham, H.; Pedersen, T.; Seidel, D. **scales: Scale Functions for Visualization**. R package version 1.3.0, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=scales>.

Wiley, R. H.; Richards, D. G. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalizations. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 3, p. 69-94, 1978.

Zhao, L. *et al.* Noise constrains the evolution of call frequency contours in flowing water frogs: a comparative analysis in two clades. **Frontiers in Zoology**, v. 18, n. 37, p. 18-37, 2021.

Zornosa-Torres, C.; Toledo, L. F. Courtship behavior and advertisement call geographic variation of *Bokermannohyla luctuosa* (Pombal Jr. And Haddad, 1993) (Hylidae, Cophomantini). **South American Journal of Herpetology**, v. 14, n. 1, p. 71-79, 2019.