



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

GABRIELA SALES DOS SANTOS

**Communication breakdown! Como a perda
de informação afeta o resultado de
interações comportamentais em *Sporophila
maximiliani***

Goiânia, GO
JULHO/2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Gabriela Sales dos Santos

3. Título do trabalho

Communication breakdown! Como a perda de informação afeta o resultado de interações comportamentais em *Sporophila maximiliani*

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;

- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriela Sales Dos Santos, Usuário Externo**, em 21/07/2023, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Nomura, Professor do Magistério Superior**, em 21/07/2023, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3908211** e o código CRC **93E2B52E**.

Referência: Processo nº 23070.032450/2023-38

SEI nº 3908211

GABRIELA SALES DOS SANTOS



**Communication breakdown! Como a perda
de informação afeta o resultado de
interações comportamentais em *Sporophila
maximiliani***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ecologia e Evolução da Universidade Federal de
Goiás (UFG) como requisito para obtenção do título de
Mestre em Ecologia e Evolução.

Área de Concentração: Ecologia e Evolução

Linha de Pesquisa: Biodiversidade, Conservação e Serviços Ecossistêmicos

Orientador: Prof. Dr. Fausto Nomura

Goiânia, GO

JULHO/2023

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

Santos, Gabriela Sales dos

Communication breakdown! Como a perda de informação afeta o resultado de interações comportamentais em *Sporophila maximiliani* [manuscrito] / Gabriela Sales dos Santos. - 2023.

80 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Nomura.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

Inclui fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Comunicação animal. 2. Qualidade do sinal. 3. Atividade deslocada. 4. Alterações comportamentais. 5. Bicudo. I. Nomura, Fausto, orient. II. Título.

CDU 574



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 197 da sessão de Defesa de Dissertação de **Gabriela Sales dos Santos**, que confere o título de Mestra em **Ecologia e Evolução**, na área de concentração em **Ecologia e Evolução**.

Ao/s quatorze dias do mês de julho de dois mil e vinte e três (14/07/2023), a partir das 14h00 min, por videoconferência, seguindo Resolução CONSUNI/UFG N° 141 de 13 de maio de 2022 e orientações do Ofício Circular no. 34/2022/PRPG/UFG (SEI 23070.030951/2022-07), realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**Communication breakdown! Como a perda de informação afeta o resultado de interações comportamentais em *Sporophila maximiliani***”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Prof. Dr. Fausto Nomura (DECOL/ICB/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Prof. Dr. Cristiano Schetini de Azevedo (DEBIO/UFOP)**, membro titular externo; e **Prof. Dr. Rogério Pereira Bastos (DECOL/ICB/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo **Prof. Dr. Fausto Nomura**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) **quatorze dias do mês de julho de dois mil e vinte e três (14/07/2023)**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Documento assinado eletronicamente por **Fausto Nomura, Professor do Magistério Superior**, em 18/07/2023, às 12:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Schetini de Azevedo, Usuário Externo**, em 18/07/2023, às 12:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Pereira Bastos, Professor do Magistério Superior**, em 21/07/2023, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3894390** e o código CRC **1C81BD25**.

Referência: Processo nº 23070.032450/2023-38

SEI nº 3894390

*Dedico este trabalho ao meu pai, Donizete, e à minha mãe, Fátima,
que sempre me dão suporte para realizar meus sonhos.*

Agradecimentos

Ao final de mais um ciclo não poderia deixar de agradecer àqueles que estiveram comigo durante todo o trajeto ou que cruzaram comigo no caminho e tornaram esse mais agradável e possível. A todos vocês, deixo minha sincera gratidão, pelo apoio, pela confiança e pelo afeto, obrigada!

Especialmente, agradeço à minha família. Aos meus pais, que estiveram sempre ao meu lado e que, por mais relutantes quando a distância aperta o peito, me acompanharam para que eu estivesse aqui. Ao meu irmão Rodrigo, que, mesmo longe, sempre esteve presente, interessado na minha pesquisa, na minha rotina e nas minhas conquistas. E à minha cunhada Isabela, por toda energia boa que transmite e que me incentiva a continuar caminhando.

Agradeço também às minhas amigas, pois sem elas eu não teria coragem para estar aqui. À Alessandra, Beatriz, Allana e Ana, amigas do ensino médio e da graduação, obrigada por toda escuta, pelos choros e risos juntas e por acreditarem em mim, vocês me dão muita força! À Amanda, minha amiga de início de jornada, que me incentivou a ingressar nesse novo ciclo e que me recebeu tão bem em Goiânia, obrigada por tornar o desconhecido amigável. À Jéssica, que, além de amiga, é uma profissional incrível que acompanhou as dificuldades durante a trajetória, estando à disposição para ajudar no que fosse possível. E à minha amiga Lara, “companheira de bicudos”, que esteve comigo desde o início como colega de trabalho e que hoje se tornou uma grande amiga, que me ajuda nas dificuldades fora de campo.

Agradeço, em especial, à minha namorada Isadora, pelo companheirismo, pelo carinho e pelos sonhos e lutas que temos compartilhado. Meu amor, você me ensinou que com afeto tudo fica melhor. Obrigada por me ouvir falar tanto sobre bicudos, por passarinho comigo e mostrar o quanto está interessada no meu trabalho. Obrigada por demonstrar tanto orgulho de mim e das minhas pequenas conquistas. Seu amor me dá forças!

Também agradeço ao meu orientador, professor Fausto, que sempre foi muito acessível e esteve à disposição para auxiliar em todas as etapas deste trabalho. Você foi muito importante na minha jornada. Obrigada por topar entrar no mundo das aves comigo!

Por fim, agradeço às instituições que tornam este trabalho possível: ao Projeto Bicudos do Cerrado, ao Centro de Triagem e Reabilitação de Animais Silvestres (CETAS-GO), à Universidade Federal de Goiás (UFG) e ao Associação Floresta Cheia Instituto de Conservação Ambiental, ONG à qual me associei e que foi um grande braço de apoio na minha jornada em Goiás. Por fim, também agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo financiamento, sem a qual não poderia estar aqui hoje.

“Eu fui aparelhado para gostar de passarinhos.

Tenho abundância de ser feliz por isso.

Meu quintal é maior do que o mundo.”

(Manoel de Barros)

Sumário

Lista de figuras.....	12
Lista de tabelas.....	14
Resumo.....	15
Abstract.....	16
Introdução geral.....	17
Capítulo I: Histórico, tendências e desafios no campo da comunicação animal: um enfoque na integridade da informação.	22
<i>Resumo</i>	22
<i>Introdução</i>	23
<i>Metodologia</i>	25
<i>Resultados</i>	29
<i>Discussão</i>	43
Capítulo II: Como a perda de informação altera o resultado de interações comportamentais em <i>sporophila maximiliani</i> (aves: passeriformes)?	52
<i>Resumo</i>	52
<i>Introdução</i>	53
<i>Metodologia</i>	58
<i>Resultados</i>	67
<i>Discussão</i>	74
Conclusões gerais	79
Referências.....	80

Lista de figuras

- Figura 1. Protocolo de inclusão e exclusão de artigos para a revisão sistemática seguindo o protocolo PRISMA (disponível em <http://www.prisma-statement.org>). 27
- Figura 2. Fórmula para o cálculo da taxa de crescimento anual médio do número de publicações, em que “F” é o número de publicações no último ano analisado, “i” é o valor no primeiro ano e “a” é o número de anos. 29
- Figura 3. Número de publicações por ano de todos os trabalhos amostrados (F= 52.94,24, p<0.01) e dos trabalhos que abordam a qualidade do sinal (F= 28.85 3,25, p<0.01), desde 1992, primeiro ano de publicação sobre o tema. A linha vermelha mostra a tendência ao longo dos anos e o ponto de quebra, quando essa tendência muda e se torna de queda. 30
- Figura 4. Número total de publicações por ano existentes na base de dados da Web of Science, sem restrições de palavras-chave. A linha vermelha mostra a tendência de crescimento dos dados. 31
- Figura 5. Número de citações das publicações de trabalhos experimentais em comunicação animal (azul) e em qualidade do sinal (laranja), ponderado pelo número de anos após a publicação até 2022. 32
- Figura 6. Número de autores sênior com participação em uma, duas, três ou quatro publicações. 33
- Figura 7. Distribuição global das publicações revisadas. Em branco encontram-se os países sem artigos produzidos. 34
- Figura 8. Número de publicações das revistas mais recorrentes em comunicação animal geral (azul) e em qualidade do sinal (laranja). 34
- Figura 9. Distribuição de espécies em classes taxonômicas utilizadas em publicações que testaram experimentalmente o efeito do contexto ecológico e da qualidade do sinal. 37
- Figura 10. Número de publicações que estudam cada uma das modalidades de sinal. Em azul é uma análise de toda a amostra e em laranja somente os artigos sobre qualidade do sinal. 42
- Figura 11. Espectrograma do canto de *Sporophila maximiliani* utilizado como modelo de vocalização para execução dos playbacks. 61
- Figura 12. Arena experimental, com câmera e gravador digital posicionados para registro do indivíduo na gaiola. A - experimento sonoro; B - experimento visual. 62
- Figura 13. Análise de componentes principais dos comportamentos de manutenção em diferentes níveis de degradação da informação sonora (Tratamento_0 = sem sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_50 = 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e Tratamento_100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco). Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação sonora, e as setas representam os comportamentos de manutenção que mais explicam a variabilidade de cada eixo. 68
- Figura 14. Análise de componentes principais dos parâmetros acústicos em diferentes níveis de degradação da informação sonora (Tratamento_0 = sem sobreposição do sinal acústico

com ruído branco, Tratamento_10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_50 = 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e Tratamento_100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco). As setas representam o padrão do efeito dos parâmetros acústicos - frequência dominante, frequência 25% e frequência 75% - sobre os dois principais componentes de variabilidade dos dados. 69

Figura 15. Análise de componentes principais dos parâmetros acústicos em diferentes níveis de informação sonora agrupados por sexo (M = machos e F = fêmeas). As setas representam o padrão do efeito dos parâmetros acústicos - frequência dominante, frequência 25% e frequência 75% - sobre os dois principais componentes de variabilidade dos dados. 70

Figura 16. Porcentagem de vocalizações em cada um dos tratamentos de experimento sonoro (0 = sem sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 50 = 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e 100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco). 70

Figura 17. Análise de componentes principais dos comportamentos de alerta em diferentes níveis de degradação da informação visual (Tratamento_0 = espelho descoberto, Tratamento_50 = 50% de obstrução do espelho e Tratamento_100 = 100% do espelho coberto). Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação visual, e as setas representam os comportamentos de alerta que mais explicam a variabilidade de cada eixo. 72

Figura 18. Análise de componentes principais dos comportamentos de alerta em cada um dos sexos (M = machos e F = fêmeas). Os pontos representam cada indivíduo, de vermelho os machos e de preto as fêmeas, e as setas representam os comportamentos de alerta que mais explicam a variabilidade de cada eixo. 72

Figura 19. Análise de componentes principais dos comportamentos de manutenção em contexto de interação comportamental visual. Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação visual, e as setas representam os comportamentos de manutenção que mais explicam a variabilidade de cada eixo. 73

Lista de tabelas

- Tabela 1. Números de trabalhos realizados por autores homens e mulheres dentro dos grupos de pesquisa com mais publicações, de acordo com a universidade a qual o autor principal era associado. 33
- Tabela 2. Temas das pesquisas analisadas (Tema) e número de estudos em que eles aparecem (N) em ordem decrescente de frequência. 35
- Tabela 3. Lista de espécies utilizadas nos estudos e que estão classificadas em alguma das categorias de ameaça de extinção da IUCN. 37
- Tabela 4. Frequência de estudos com cada classe animal que utilizam os métodos de pesquisa: experimento em campo, experimento controlado (Laboratório/cativeiro), experimento em campo e controlado e experimento e observação descritiva. 40
- Tabela 5. Etograma para a espécie *Sporophila maximiliani* contendo a categoria e descrição dos comportamentos exibidos pela espécie. 64

Resumo

A comunicação faz parte de diversas interações sociais dos animais, sendo que a transmissão da informação e a decodificação pelo receptor dependem da qualidade do sinal emitido, que pode ser sonoro, visual e/ou químico. A degradação desses sinais pode gerar perda de informação e acarretar danos a processos vitais dos animais. Considerando que a ansiedade prepara o indivíduo para situações de imprevisibilidade, a perda de informação tem potencial para causar estresse e conflito motivacional nos organismos, resultando em comportamentos alterados, como já foi demonstrado para espécies de anuros. Neste projeto buscamos compreender, por meio de uma revisão sistemática, as tendências, avanços e lacunas dos estudos experimentais em comunicação animal, com enfoque em trabalhos que investigam o efeito de alterações do sinal na comunicação e interações. Também buscamos entender se a perda de informação altera interações comportamentais em aves, utilizando como modelo a espécie *Sporophila maximiliani*. Para tal, realizamos dois experimentos: i) um experimento de playback, para simular o sinal sonoro e ii) uma modelo com espelho, para simular o sinal visual. Identificamos que o número de publicações em comunicação animal com abordagem experimental, que trabalham interações sociais e/ou alterações comportamentais, é crescente desde a década de 90. Contudo, o impacto desses trabalhos na comunidade científica não acompanha esse crescimento, com poucas publicações recebendo maior destaque. Notamos, ainda, que o número de pesquisas que utilizam espécies ameaçadas de extinção ainda é baixo, mostrando uma carência de estudos com esses animais que já apresentam maior vulnerabilidade. Também são poucos os trabalhos experimentais com qualidade do sinal em relação ao número total de publicações em comunicação animal, apesar dos trabalhos que abordam alterações no sinal mostrarem que danos ao sinal causam impacto sobre os indivíduos e as interações que realizam. Em nossos experimentos, também identificamos que o comportamento de *Sporophila maximiliani* é afetado pela perda de informação durante a comunicação, gerando estresse e medo nos indivíduos. Contudo esse efeito foi dependente da modalidade do sinal, de modo que para sinais visuais a perda de informação não provoca esse efeito. Assim, a alteração dos sinais na comunicação tem efeito direto sobre os indivíduos, sendo de extrema importância o fomento de estudo que busquem compreender como cada grupo de organismos responde a essas modificações.

Palavras-chave: comunicação animal; qualidade do sinal; conflito motivacional; atividade deslocada; ansiedade; alterações comportamentais; bicudo.

Abstract

Communication is part of several social interactions of animals and the transmission of information and decoding by the receiver depend on the quality of the emitted signal, which can be acoustic, visual and/or chemical. The degradation of these signals can generate loss of information and cause damage to the animals' vital processes. Considering that anxiety prepares the individual for unpredictable situations, the loss of information has the potential to cause stress and motivational conflict in organisms, resulting in altered behavior, as has already been demonstrated for anuran species. In this project, we seek to understand, through a systematic review, trends, advances and gaps in experimental studies on animal communication, with a focus on studies that investigate the effect of signal quality changes on communication and interactions. We also aimed to understand whether the loss of information alters behavioral interactions in birds, using the species *Sporophila maximiliani* as a model. For this, we performed two experiments: i) a playback experiment, to simulate the acoustic signal and ii) a mirror model, to simulate the visual signal. We identified that the number of publications on animal communication with an experimental approach, which investigate social interactions and/or behavioral changes, has been increasing since the 90s. However, the impact of these studies on the scientific community does not follow this growth, with few publications receiving greater attention. We also note that the number of studies using endangered species is still low, showing a lack of studies with more vulnerable animals. There are also few experimental studies with signal quality in relation to the total number of publications in animal communication, despite the results of studies that address changes in the signal showing that damage to the signal has an impact on individuals and the interactions they carry out. In our experiments, we also identified that the behavior of *Sporophila maximiliani* is affected by the loss of information during communication, generating stress and fear in the individuals. However, this effect was dependent on the signal modality, so that for visual signals the loss of information does not cause this effect. Thus, changes in signals in communication had a direct effect on individuals and it is extremely important to promote studies that seek to understand how each group of organisms responds to these changes.

Key-words: animal communication; signal quality; motivational conflict; displacement behavior; anxiety; behavioral change; Great-Billed Seed-Finch.

Introdução geral

A comunicação pode ser definida como a troca de informação entre um indivíduo emissor e outro receptor (Sebeok 1968) e, para que ela ocorra, a informação emitida deve se propagar através do meio e ser recebida pelo indivíduo receptor, que deve ser capaz de decodificar essa informação e emitir uma resposta (Vieliard & Silva 2010; Maynard-Smith & Harper 2003). A emissão da informação pode ser feita por sinais acústicos, visuais, químicos (Marques 2008) ou envolver duas ou mais dessas modalidades, quando são chamados de sinais multimodais (Smith 1977). Tanto o tipo quanto as características desses sinais podem ser afetados pelo ambiente e pelo contexto social (Velásquez *et al.* 2018; Smith *et al.* 2011; Morton 1977). Trata-se, portanto, de um processo coevolutivo, em que parâmetros da sinalização devem ser conservados para que a informação possa ser compreendida pelo receptor que irá responder ao estímulo (Seyfarth *et al.* 2010; Font & Carazo 2010).

Assim, fatores ambientais e contextuais atuam como fontes de pressão evolutiva para a adaptação dos sinais, de modo que a integridade da informação seja mantida (Morton 1977). O uso de sinais multimodais, por exemplo, pode ser uma adaptação que possibilitou a emissão de uma informação por duas vias distintas, como uma forma de *backup*, que reduziria a chance de a informação ser perdida (Hipótese de *backup* do sinal, Møller & Pomiankowski 1993), e já foi registrada para diversos grupos como aves (Smith *et al.*, 2011), primatas (Frohlich *et al.* 2019) e anfíbios (Caldart 2015). Outra estratégia possível para evitar a perda de informação é a plasticidade do sinal, que permite a sua alteração de acordo com as condições do meio externo, a fim de adequar a emissão do sinal ao contexto social e ambiental e minimizar a interferência de ruídos e outros aspectos do meio externo na transmissão do sinal (Cynx *et al.* 1998; Warren *et al.* 2006).

Contudo, o que ocorre quando a perda de informação durante a comunicação não pode ser evitada? Um experimento conduzido em um contexto de defesa territorial demonstrou que os machos de anuros residentes poderiam ajustar suas emissões de sinais acústicos agressivos com base na imagem de machos intrusos, mas o aumento na disposição agressiva foi maior quando a visão da imagem foi parcialmente obstruída (Furtado & Nomura 2014). A falha no processo de comunicação pode prejudicar a avaliação de riscos e a tomada de decisão, gerando um estado de conflito motivacional, isto é, uma situação na qual o indivíduo não tem informações suficientes sobre o contexto, causando hesitação quanto a melhor estratégia comportamental a ser exibida (Santarém & Silva 1999; Benus *et al.* 1991). Nesse estado, a incerteza da informação pode levar ao aumento dos níveis de ansiedade, e, conseqüentemente, aumento dos níveis de estresse no organismo (Choi *et al.* 2022).

A ansiedade, por sua vez, é definida como "*um estado psicológico, fisiológico e comportamental induzido em animais e seres humanos por uma ameaça ao bem-estar ou sobrevivência, real ou potencial*" (Steimer 2002), tendo como finalidade preparar o indivíduo para uma situação de imprevisibilidade. Como resultado, pode levar a emissão de atividades deslocadas (*displacement activities*), que são comportamentos reflexivos e não intencionais, cuja funcionalidade não se relaciona ao contexto em que o comportamento é emitido. Isso geralmente ocorre em contextos de conflito motivacional, situações em que há dificuldade de codificar a sinalização recebida, de modo que um estímulo acaba por ativar simultaneamente respostas antagônicas, o que gera uma hesitação quanto a via comportamental a ser ativada (Santarém & Silva 1999; Falk 1977). Nesse estado, a incapacidade de expressar dois comportamentos incompatíveis ao mesmo tempo resulta em liberação de energia por um comportamento irrelevante para o contexto (Zeigler 1964). As atividades deslocadas são, assim, um bom indicador dos níveis de ansiedade (Maestriperi *et al.* 1992) e tendem a ser exibidas em contexto de conflito motivacional. Em consequência, muitos comportamentos

interpretados como sinalização, como os movimentos de elevação do corpo ou dos membros por anuros durante encontro entre machos, dentre outros sinais visuais (por exemplo, Hartmann *et al.* 2005; Giasson & Haddad 2006) poderiam ser uma resposta reflexiva derivada de um aumento da ansiedade devido à dificuldade do receptor para "ler" a mensagem do emissor (Nomura *et al.* 2013). No entanto, os comportamentos associados às atividades deslocadas poderiam evoluir para se tornar sinais verdadeiros a fim de reduzir as fontes de conflito motivacional, por exemplo, através da ritualização dos padrões motores reflexivos exibidos, o que aumenta em longo prazo a diferença entre os comportamentos não intencionais e os sinais verdadeiros (Tinbergen 1952; Krebs & Davies 1993). Alguns exemplos muito consolidados são o comportamento de limpeza das penas durante a corte em algumas espécies de patos e o comportamento de ciscar por galos durante lutas com um competidor da mesma espécie (Dawkins *et al.* 1991).

Por outro lado, a ansiedade, como estado de preparação do indivíduo para o enfrentamento de situações imprevisíveis, também gera a exibição de comportamentos úteis para o enfrentamento da situação estressora (Steimer 2002). Desse modo, o repertório animal deve incluir comportamentos que são exibidos para reduzir a ansiedade, escapando do conflito motivacional quando possível, o que é chamado de estratégia de enfrentamento ativa (*active coping strategy*), como comportamentos de expressão de territorialidade ou fuga, ou comportamentos que normalmente são provocados quando a fuga ou resposta mais ativa não é possível, o que é chamado de estratégia de enfrentamento passiva (*passive coping strategy*), como imobilidade e expressão de medo (Benus *et al.* 1991; Koolhaas *et al.* 1999). Tais estratégias de enfrentamento são controladas por circuitos cerebrais distintos e podem ser provocadas por diferentes estressores (Keay & Bandler 2001; Bandler *et al.* 2000).

Assim, essas estratégias são moduladas pelo processo cognitivo, exigindo uma

avaliação de risco para selecionar a estratégia com a melhor chance de sucesso, de acordo com o contexto, o ambiente e a fonte de estresse (Panksepp 1990; Nomura *et al.* 2013; Costa & Nomura 2014). Portanto, situações de grande incerteza, em que a avaliação de risco é prejudicada, também podem provocar maior exibição de comportamentos agressivos, especialmente para animais territorialistas, dada a situação de possível risco e alto nível de estresse, em que a possibilidade de perder um território representa um alto custo (Steimer 2002; Maestripieri *et al.* 1992). Nesse contexto, a agressividade é um padrão comportamental que tem sido ligado à maior probabilidade de associação a estratégias de enfrentamento ativas, sendo que indivíduos mais agressivos frequentemente acionam estratégias de enfrentamento ativo quando em uma situação de conflito motivacional (Bolhuis *et al.* 2005; Furtado & Nomura 2014).

Portanto, compreender as estratégias comportamentais em diferentes contextos, como situações de perda de informação, contribui para o entendimento da evolução do comportamento animal e amplia o conhecimento sobre as interações sociais (Hausberger 1993). Assim, é possível elucidar os processos cognitivos através dos comportamentos exibidos e identificar as diferentes estratégias de escape e o processo de avaliação de risco na tomada de decisão com maior chance de sucesso (Shuhama *et al.* 2006; Radner 1999).

Compreender as alterações comportamentais em contextos de conflito motivacional pela degradação da qualidade do sinal pode, ainda, auxiliar no entendimento dos efeitos antrópicos sobre a fauna e as interações sociais (Laiolo 2010). Tendo em vista o crescente impacto humano na vida silvestre através da fragmentação de habitat, urbanização, poluição química, visual e sonora, as sinalizações acústica e visual podem ser comprometidas em diferentes níveis, gerando alterações comportamentais em processos vitais (Goodwin & Shriver 2010; Hennigar *et al.* 2019). Portanto, o entendimento de tais alterações

comportamentais é de extrema importância para a conservação da biodiversidade, especialmente para espécies ameaçadas de extinção que são foco de projetos de reabilitação para a reintrodução na natureza (Shier *et al.* 2012).

Desse modo, este trabalho buscou contribuir para avançar nos conhecimentos sobre o papel da integridade do sinal na comunicação animal e, para tal, foi dividido em dois capítulos. O primeiro se intitula “Histórico, tendências e desafios no campo da comunicação animal: um enfoque na integridade da informação” e consiste em uma revisão sistemática da literatura, a fim de levantar dados já existentes acerca do tema, suas contribuições e lacunas. O segundo capítulo chama-se “Como a perda de informação altera o resultado de interações comportamentais em *Sporophila maximiliani* (Aves: Passeriformes)?”. Neste capítulo, usamos uma abordagem experimental para compreender o papel da degradação do sinal em aves. Nessa pesquisa, utilizamos como modelo a espécie *Sporophila maximiliani* (Bicudo), cuja capacidade de elaboração do canto e aprendizado, bem como o comportamento territorialista, tornam-na uma boa espécie modelo para o tema investigado. Além disso, por se tratar de uma espécie criticamente em perigo de extinção (ICMBio 2022) e que carece de informações comportamentais e ecológicas publicadas, buscamos contribuir para ampliar o conhecimento sobre a espécie e entender possíveis desafios para o restabelecimento da espécie na natureza.

CAPÍTULO I: Histórico, tendências e desafios no campo da comunicação animal: um enfoque na integridade da informação.

Resumo

A comunicação é um processo que tem papel central nas interações dos animais entre si e com o ambiente e, por tal motivo, tem sido muito estudada. Assim, realizamos uma revisão sistemática da literatura a fim de identificar os avanços, tendências e lacunas ainda existentes em estudos experimentais sobre comunicação animal, com enfoque em trabalhos que abordam a qualidade do sinal. As publicações na área aumentaram em volume desde o primeiro ano de publicação, em 1992, assim como publicações que investigam os efeitos da qualidade do sinal na comunicação animal, desde 1997. Porém, os trabalhos mais recentes parecem ter o mesmo nível de impacto que os mais antigos. Além disso, não encontramos forte influência de muitos grupos de pesquisa, de modo que poucas universidades e autores possuem mais de duas publicações sobre o tema. Contudo, há uma discrepância entre regiões no volume de publicações, com grande superioridade de instituições do hemisfério norte. Em relação à experimentação, notamos uma preferência por uma abordagem controlada, em detrimento de experimentos em campo, em que o controle de outras variáveis pode ser menor. Também identificamos que as classes de aves, mamíferos, peixes e insetos são as mais estudadas, ocorrendo também uma tendência de uso de espécies domésticas e com ampla distribuição, inclusive em áreas urbanas, em contraposição ao baixo número de espécies ameaçadas de extinção estudadas. Nos trabalhos focados na qualidade do sinal, a sinalização sonora é a mais estudada, com grande enfoque em avaliar o efeito de ruídos sobre a comunicação, de modo que todos esses trabalhos obtiveram como resultados alterações comportamentais no animal avaliado. De qualquer maneira, a utilização de experimentos para investigação da sinalização e sua qualidade ainda representa uma pequena parcela em relação aos estudos em comunicação animal, com um déficit nessa área de estudo. Assim, sugerimos que estudos futuros sejam desenvolvidos também no hemisfério sul, sobre espécies locais, abrangendo espécies ameaçadas de extinção e outros parâmetros de interferência da sinalização além de ruídos.

Palavras-chave: comunicação animal; informação; qualidade do sinal; tendências; revisão.

Introdução

A comunicação é um processo fundamental para as interações animais, mediando diversos tipos de relações intra e interespecíficas, com sua funcionalidade definida pelo contexto na qual a interação é realizada (Hebets *et al.* 2016). Dada sua relevância e complexidade, diversos estudos têm buscado compreender a comunicação animal sob seus diferentes aspectos, como o contexto em que se manifesta, os sinais utilizados e como ocorre sua produção, a informação que carrega e o efeito produzido no receptor (Seyfarth *et al.* 2010; Marques 2009; Radner, 1999).

No entanto, o tema ainda apresenta lacunas de conhecimento, em especial acerca da evolução e dos sistemas de produção e percepção desses sinais usados na comunicação (Hebets *et al.* 2016; Wiley 2006). A sinalização emitida durante a comunicação possui papel central no processo de transmissão da informação e, assim, entender o processo de consolidação dos sinais pode dar pistas importantes acerca de sua funcionalidade (Seyfarth *et al.* 2010). Além disso, os sinais, assim como a compreensão da percepção do sinal pelo receptor e os comportamentos elicitados a partir do estímulo da sinalização, podem ser indicativos das estratégias comportamentais utilizadas por cada espécie (Radner 1999; Samia *et al.* 2013).

Dado o papel crucial da informação na comunicação animal e a diversidade de comportamentos que pode provocar em seu receptor, muitos estudos buscam compreender a mensagem transmitida através da manipulação do sinal e da comparação dos comportamentos provocados pelo sinal inalterado, pelo modificado e pela ausência de sinal (Slaughter *et al.* 2013). Estudos assim permitem compreender se a mensagem emitida possui uma estrutura sintática, se é restrita a uma espécie, se carrega uma ou mais informações ao mesmo tempo, dentre outros aspectos da comunicação e da interação social associada

(Okanoya & Dooling 1991; Vicario *et al.* 2001).

De maneira semelhante, compreender o que ocorre em contextos em que a informação é transmitida, porém não é percebida pelo receptor, ou pelo menos não completamente, também pode ser um importante material de estudo do papel da comunicação na interação social em que se dá (Hausberger 1993). Assim, alguns estudos têm buscado analisar como alterações no sinal ou problemas na recepção da informação devido a fatores externos que interferem na transmissão do sinal, podem provocar mudanças comportamentais ou falhas na comunicação, e, conseqüentemente, alterar o resultado da interação social (Furtado & Nomura 2014; Grade & Sieving 2016)

Desse modo, a comunicação animal é uma área ampla, que permite uma variedade de abordagens de estudos e elucida diversas perguntas acerca das espécies e suas interações (Hebets *et al.* 2016; Green & Marler 1979), assim como os estudos focados na qualidade do sinal e na imprevisibilidade dos contextos em que a comunicação se dá (Wiley 2006). Considerando a relevância da área e a riqueza de materiais já publicados, analisar as características das pesquisas em comunicação animal e a evolução do foco das pesquisas ao longo dos anos é uma etapa importante para levantar temáticas que já foram muito estudadas e os avanços no conhecimento do tema até o momento (Hebets *et al.* 2016; Laiolo 2010; Samia *et al.* 2013).

Assim, este estudo teve como objetivo delinear como a abordagem experimental em estudos que investigam a resposta comportamental do animal a interferências no sinal utilizado na comunicação se desenvolveu ao longo do tempo e identificar lacunas de conhecimento que ainda existam, especialmente no que se refere a trabalhos que abordam a qualidade do sinal. Também visamos identificar a existência de tendências associadas a grupos de pesquisa mais influentes no assunto. Ainda, buscamos levantar quais os critérios utilizados na escolha das

espécies modelos de estudos que investigam a resposta comportamental do animal a interferências na comunicação e se essa escolha está associada à modalidade do sinal avaliado, além de identificar quais os fatores usados como fonte de ruído nos experimentos. Desse modo, para contribuir com os conhecimentos acerca do tema e destacar pontos importantes a serem analisados por pesquisas futuras, realizamos uma revisão sistemática de trabalhos que investigam a comunicação animal.

Metodologia

Levantamento bibliográfico

Realizamos uma revisão sistemática da literatura de estudos experimentais, que avaliaram o efeito de alterações na transmissão da informação ou alterações contextuais sobre a resposta comportamental dos indivíduos durante a comunicação. Tivemos um interesse particular em estudos que investigaram como a degradação da qualidade do sinal promove alterações comportamentais.

Para selecionar artigos na temática estudada, utilizamos como banco de dados a plataforma Clarivate Analysis Web of Science, a qual é a plataforma de busca bibliográfica científica mais bem consolidada, representando com maior abrangência artigos mais antigos, anteriores a 1990, e abarca dados de diversas bibliotecas (Gavel & Iselid 2007; Chadegani *et al.* 2013). Nós realizamos algumas buscas prévias com diferentes conjuntos de palavras-chaves para avaliar se o conjunto de artigos recuperados eram especificamente estudos experimentais sobre o efeito da degradação de sinais na comunicação animal. Desta maneira, o conjunto de artigos que avaliamos é o resultado de uma busca, com o seguinte conjunto de palavras-chave e operadores booleanos: “information\$ transm*” or “signal* degrad*” or “signal* qualit*” or communication or “animal\$ communicat*” or “context dependent” or “communication

disrupt*” or “communication interfer*” AND “behav* change\$” or “behav* evolution” or “behav* interaction\$” or “behav* response\$” or “social interaction\$” or “anxiet* response\$” or “stress* respons*” or “aggres* response\$” or “active coping strateg*” or “displacement* activit*” or “derived activit*” or ambivalen* or “ambivalent behav*” or “motivation* state” or “motivacion* change\$” or “risk assessment” AND experiment* or "sample design" or “lab* experiment\$” or “playback test\$” or “playback experiment\$”. Por fim, incluímos um conjunto de palavras-chave que não poderiam estar presentes nos artigos: "gene regulation\$" or autism or pharmaceutical or plant\$ or people or person or participant\$ or patient\$ or user\$ or virtual or internet or therapeutic* or cell\$ or hippocampu\$ or personalit* or telephon* or “artificial intelligence” or robot or business or cyber or speech\$ or “social media” or “video games” or privacy or child* or adolescent*. A inclusão dessas palavras-chaves de exclusão foi realizada a fim de minimizar o aparecimento de estudos que fogem da área de interesse, como aqueles em comunicação humana, tecnologia ou de diversas outras áreas, visto que a presente revisão tem como foco a comunicação animal em estudos experimentais.

A busca foi realizada em 12 de novembro de 2021 e abrangeu apenas trabalhos publicados em inglês, entre 1945 (ano a partir do qual tem trabalhos na *Web of Science*) e 2021, totalizando 1098 artigos (figura 1). Utilizamos o conjunto de condutas do protocolo PRISMA para triagem e verificação da adequação dos trabalhos (Page *et al.* 2021). Assim, começamos removendo todos os artigos que se tratavam de revisões bibliográficas, editoriais ou correções, o que resultou em 946 publicações (figura 1). Em seguida, iniciamos uma segunda filtragem, a partir da leitura do título, palavras-chaves e resumo dos artigos resultantes da busca inicial, para verificar a aderência dos artigos à área de comunicação animal, resultando em uma seleção de 340 artigos (figura 1). Estudos sobre o comportamento animal e interações sociais que não abordavam a comunicação ou a sinalização foram excluídos nesse filtro. Por fim, os trabalhos foram lidos integralmente para verificar a adequação aos objetivos desta revisão. Excluímos

todos aqueles trabalhos que não foram realizados com animais e que não utilizaram uma abordagem experimental, totalizando 320 incluídos nas análises do estudo (figura 1).

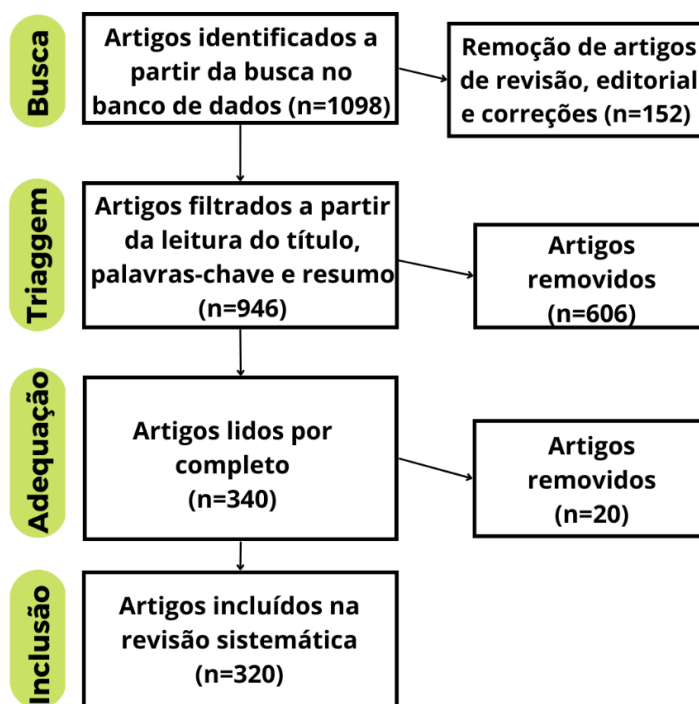


Figura 1. Protocolo de inclusão e exclusão de artigos para a revisão sistemática seguindo o protocolo PRISMA (disponível em <http://www.prisma-statement.org>).

Coleta dos dados

Após a seleção dos artigos, obtivemos as seguintes informações de interesse: nome, gênero e afiliação do autor principal, grupo de pesquisa, título, resumo, palavras-chave e ano de publicação. Em alguns trabalhos não conseguimos identificar o sexo do autor e por isso eles não entraram nessa avaliação de gênero. A partir desses dados buscamos compreender as tendências de foco das pesquisas na área e os avanços ao longo do tempo, em relação a número de publicações, impacto e metodologia, bem como analisar a influência de grupos de pesquisa. Posteriormente, realizamos a leitura dos artigos e os classificamos quanto à temática do estudo. Em seguida, identificamos informações sobre a espécie utilizada no estudo, como local de ocorrência e grau de ameaça. Também obtivemos informações acerca da metodologia aplicada,

como o tamanho amostral, o uso de um desenho experimental com ou sem medidas repetidas e a modalidade do sinal estudado, a fim de elucidar quais são as práticas comuns na área e há relação de interação entre as variáveis metodológicas. Além disso, extraímos também informações sobre o tipo de experimento realizado, classificando-os em experimento controlado, quando realizado em cativeiro ou laboratório, e experimento em campo, quando realizado em área aberta sem a captura de indivíduos. Por fim, identificamos os artigos que trabalharam com a qualidade do sinal e, para esses, extraímos dados sobre objetivo e hipótese desses trabalhos, modalidade do sinal estudado, uso ou não de fatores de interferências na sinalização e, em caso afirmativo, para os artigos com comunicação acústica, o fator utilizado como ruído e a conclusão dos trabalhos. Consideramos que os artigos abordavam qualidade do sinal quando utilizavam ruídos no experimento ou promoviam manipulação do sinal original, seja pela adição de componentes, remoção de partes ou alteração da ordem de exibição.

Análise dos dados

Os dados gerais foram analisados de maneira descritiva e quantitativa por meio de comparativo de número/porcentagem de ocorrência. O crescimento médio anual das publicações amostradas, bem como do total de publicações da base de dados sem restrição de tema (*Web of Science*), foram calculados seguindo a fórmula apresentada na figura 2. Para os dados de número de publicações por ano, também fizemos um Modelo Linear Generalizado (GLM) com distribuição Poisson para identificar se havia relação entre o ano e o número de publicações. Em seguida, fizemos um modelo linear por partes (Resende *et al.* 2020), utilizando a função “Piecewise” do pacote “Segmented” (Muggeo 2008) no software R, a fim de identificar alterações nas tendências de volume de publicações ao longo do tempo. Para os dados de distribuição geográfica dos artigos, utilizamos o software R para a construção de um mapa com o número de publicações em cada país. Além disso, com os dados de tamanho amostral realizamos análises de variância não paramétricas (Wilcoxon e Kruskal-Wallis) para

comparar os tamanhos amostrais entre diferentes grupos e metodologias de estudo.

$$\left(\left(\frac{f}{i} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \right) \cdot 100$$

Figura 2. Fórmula para o cálculo da taxa de crescimento anual médio do número de publicações, em que “f” é o número de publicações no último ano analisado, “i” é o valor no primeiro ano e “a” é o número de anos.

Resultados

Análise cienciométrica

Dos 320 artigos recuperados que testam de forma experimental o efeito de alterações na transmissão da informação ou alterações contextuais sobre a resposta comportamental dos indivíduos durante a comunicação animal, 54 (16.9%) são pesquisas que investigaram a qualidade do sinal e seu efeito na comunicação e nas interações sociais.

Em nosso levantamento, o trabalho mais antigo em comunicação animal que aborda de forma experimental a variação no sinal em diferentes contextos, e suas consequências para as interações sociais ou aspectos comportamentais relacionados, foi publicado em 1992, havendo publicações em todos os anos a partir desta data, exceto 1994. O número de publicações apresentou relação com o ano (GLM: $X^2=130.63$, $p<0.01$), de modo que as publicações com esse tema aumentaram desde o primeiro ano de publicação, havendo um incremento médio de 15.4% ao ano no número de pesquisas até 2015, ano em que se inicia um decréscimo significativo de publicações (figura 3). Já quando consideramos estudos que investigam a qualidade do sinal, a primeira publicação ocorreu no ano de 1997, havendo maior incremento de publicações a partir de 2002, com aumento médio de 9.9% ao ano até 2020, seguido uma queda significativa de publicações no ano seguinte (figura 3). Ambos os crescimentos são superiores à taxa de crescimento médio anual do total de publicações durante o mesmo período,

que foi de 3.9% ao ano (*Web of Science*, figura 4).

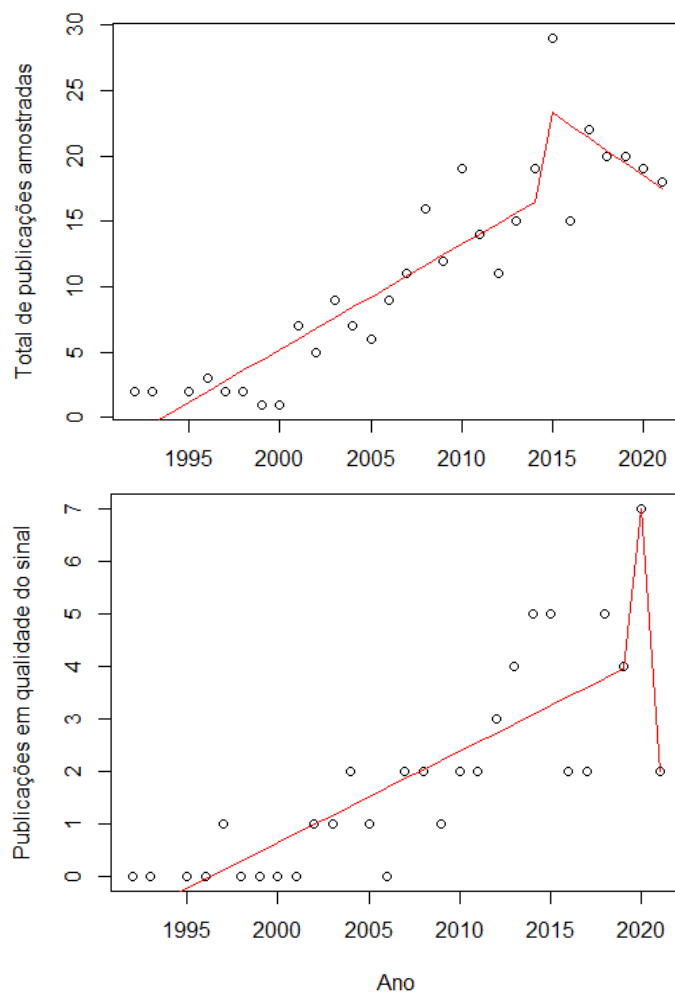


Figura 3. Número de publicações por ano de todos os trabalhos amostrados ($F_{4,24} = 52.9$, $p < 0.01$) e dos trabalhos que abordam a qualidade do sinal ($F_{3,25} = 28.85$, $p < 0.01$), desde 1992, primeiro ano de publicação sobre o tema. A linha vermelha mostra a tendência ao longo dos anos e o ponto de quebra, quando essa tendência muda e se torna de queda.

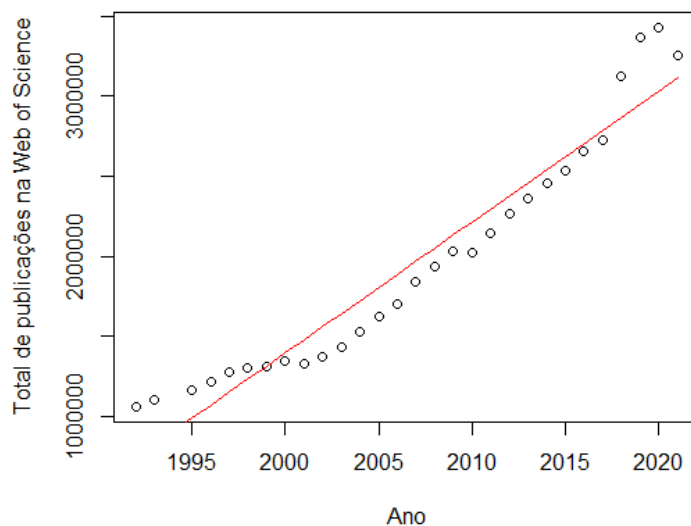


Figura 4. Número total de publicações por ano existentes na base de dados da Web of Science, sem restrições de palavras-chave. A linha vermelha mostra a tendência de crescimento dos dados.

Por outro lado, apesar do crescimento do volume de publicações ao longo dos anos, o impacto desses trabalhos não acompanhou essa tendência (figura 5). Apesar dos momentos de alta e baixa alternados em alguns anos, ocorreu uma certa constância no número de citações ao longo do período analisado, com uma média em torno de duas citações por ano. Além disso, notamos que não há discrepâncias em termos de citações entre os trabalhos experimentais sobre comunicação animal e os trabalhos que avaliam os efeitos da qualidade do sinal durante a comunicação (figura 5).

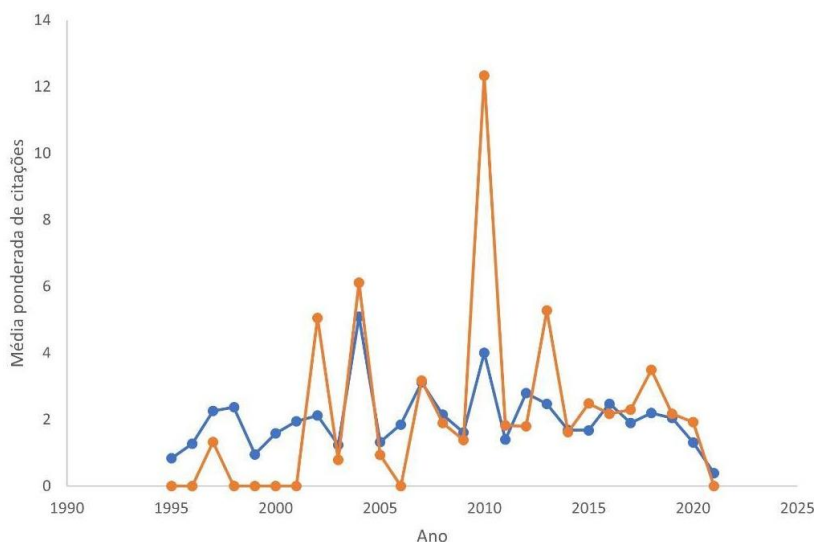


Figura 5. Número de citações das publicações de trabalhos experimentais em comunicação animal (azul) e em qualidade do sinal (laranja), ponderado pelo número de anos após a publicação até 2022.

Aproximadamente 51.8% dos artigos foram liderados por mulheres e 48.2% por homens. Vale ressaltar que, dentro dos grupos de pesquisa com maior frequência de publicações, tendo como base a universidade à qual o autor principal estava associado, essa igualdade entre os sexos se mantém (tabela 1). As instituições Cornell University, University of Bristol, University of California e University of Sussex representam os grupos com o maior número de publicações com experimentos sobre comunicação animal ou qualidade do sinal, com cinco a seis publicações cada. Já em relação ao pesquisador sênior participante do trabalho, apenas H. Carl Gerhardt apresenta número de publicações igual a quatro, o maior número por autor. A maioria dos autores (85.1%) possui participação em apenas uma publicação, não havendo uma forte tendência de publicação por pesquisador sênior (figura 6). Do total de artigos incluídos em nossa amostra, 269 (84.6%) foram realizados por instituições localizadas no hemisfério norte, com grande destaque para os Estados Unidos da América, responsável por 106 (33.5%) publicações, enquanto apenas 48 (15.4%) são do hemisfério sul, no qual os países com maior número de publicações são o Brasil, com 22 (6.9%) trabalhos, e Austrália, com 18 (6%) (figura 7).

Tabela 1. Números de trabalhos realizados por autores homens e mulheres dentro dos grupos de pesquisa com mais publicações, de acordo com a universidade a qual o autor principal era associado.

Grupo de pesquisa	Sexo do autor	
	Homem	Mulher
Cornell University	3	3
University of Bristol	3	3
University of California	3	3
University of Sussex	2	3

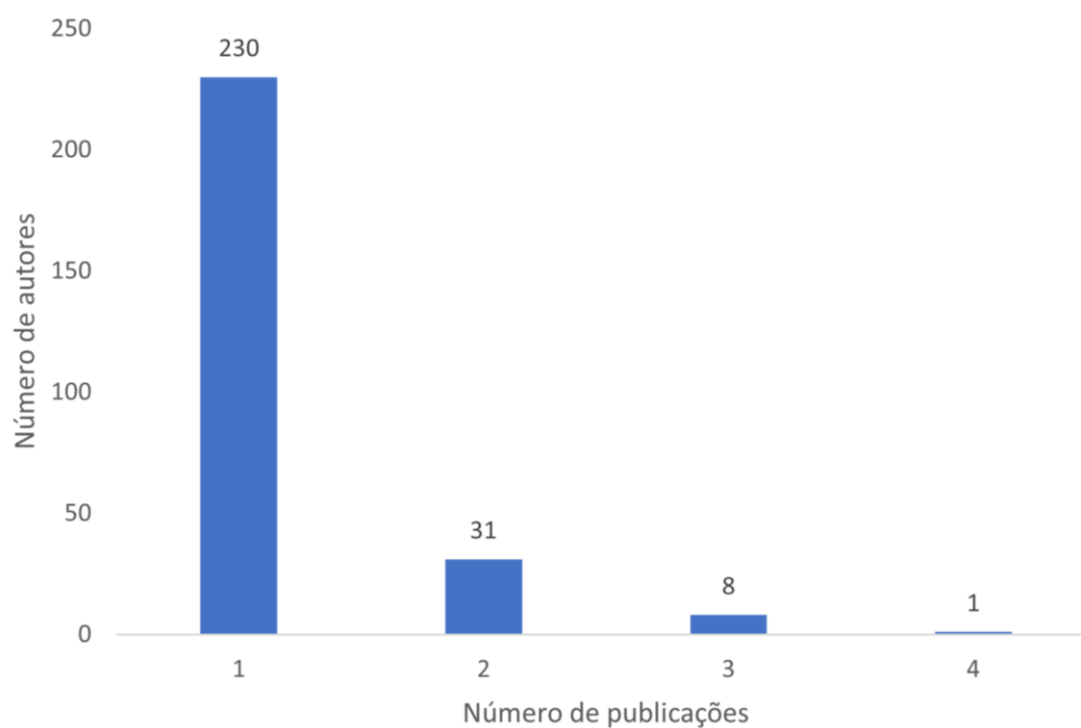


Figura 6. Número de autores sênior com participação em uma, duas, três ou quatro publicações.



Figura 7. Distribuição global das publicações revisadas. Em branco encontram-se os países sem artigos produzidos.

Também identificamos que revistas que publicam com mais frequência trabalhos experimentais sobre comunicação animal, não necessariamente publicam a maior quantidade de artigos sobre a qualidade do sinal (figura 8). Apesar de 103 revistas diferentes já terem publicado sobre o tema, 12 (12.6%) revistas concentram 178 (55.6%) publicações, enquanto 60 (58.3%) revistas só apresentam um trabalho publicado. Em qualidade do sinal, também ocorre essa tendência de publicações por um grupo pequeno de revistas, de modo que 36 revistas já publicaram sobre o tema, porém só 10 (27.8%) delas concentram 27 (50%) publicações, enquanto as demais revistas possuem apenas uma publicação.

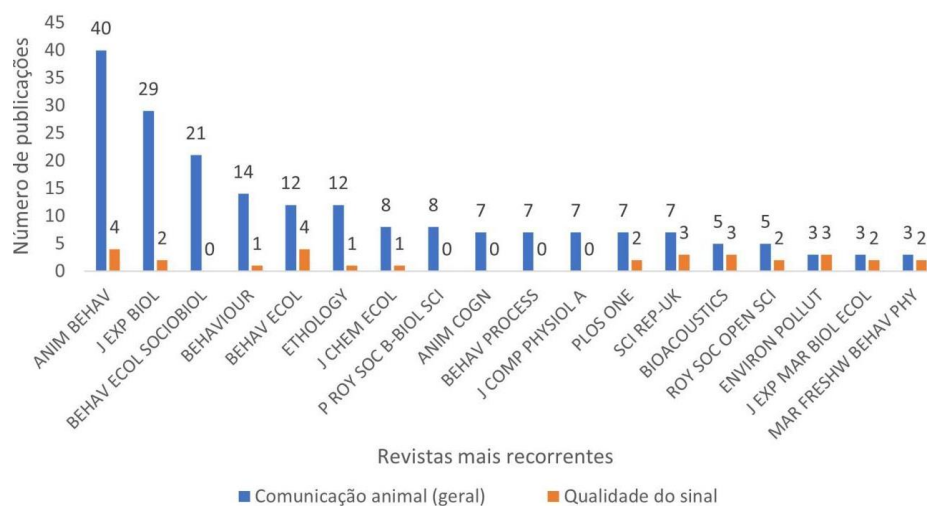


Figura 8. Número de publicações das revistas mais recorrentes em comunicação animal geral (azul) e em qualidade do sinal (laranja).

Temáticas

Encontramos 33 temáticas de estudos experimentais em comunicação animal e qualidade do sinal, sendo a mais recorrente a investigação da função de um sinal conhecido na interação social (12.5%, 40 estudos). Em seguida, os temas mais abordados foram a capacidade de discriminação entre co-específicos (12.2%, 39 estudos), contexto ecológico de predação (11.3%, 36 estudos) e o efeito antrópico na comunicação e comportamento animal (10.3%, 33 estudos). As demais temáticas apresentaram frequência menor que 10% nos estudos (tabela 2).

Considerando as temáticas estudadas, para aves e mamíferos os temas que se destacaram foram “discriminação entre co-específicos”, “contexto ecológico de predação” e “função do sinal na interação”, nessa ordem. Já para insetos, os temas que se destacaram foram sobre “contexto social de acasalamento”, a “função do sinal na interação” e “o papel da estrutura do sinal”, enquanto peixes ósseos são usados como modelo para se testar o efeito de “ruído antrópico na comunicação” e anfíbios são usados com mais frequência para se estudar o “contexto social (competição)”.

Tabela 2. Temas das pesquisas analisadas (Tema) e número de estudos em que eles aparecem (N) em ordem decrescente de frequência.

Tema	N	Tema	N
Discriminação entre indivíduos	41	Desenvolvimento de metodologia	5
Função do sinal na interação	40	Alterações no comportamento contexto-dependente	4
Contexto ecológico (predação)	37	Contexto ecológico (competição)	4
Efeito antrópico na comunicação e comportamento	33	Contexto social (expressão emocional)	4
Contexto social (interações de grupo)	20	Comunicação cruzada entre espécies	3
Evolução dos sinais	16	Contexto social (performance vocal)	3
Contexto social (acasalamento e reprodução)	15	Repertório vocal	3
Papel da estrutura do sinal na interação ou comunicação	15	Influência do habitat na propagação do sinal	2

Contexto social (competição)	14	Aprendizado social	1
Alterações na comunicação contexto-dependente	12	Aprendizado vocal	1
Sistema de percepção do sinal	12	Contexto social (estado motivacional)	1
Contexto ecológico (forrageamento)	11	Contexto social (honestidade de sinal)	1
Familiaridade	8	Cultura	1
Variabilidade do sinal	6	Espaço ativo	1
Comunicação parental	5	Regulação do sinal	1

Espécies utilizadas

Apesar da grande diversidade de classes estudadas, alguns grupos animais recebem maior enfoque. Dos trabalhos levantados, 23.1% (74) foram realizados com mamíferos, 22.5% (72) com aves, 15.3% (49) com insetos, 15% (48) com peixes ósseos e 9.1% (29) com anfíbios. Os demais 15% ficaram distribuídos entre répteis, crustáceos, aracnídeos, condrictes, moluscos, platelmintos e nematoides (figura 9). Por outro lado, em uma análise restrita aos estudos com degradação do sinal, o grupo com mais estudos passa a ser o dos peixes ósseos (14, 26%), seguido por aves (13, 24.1%), insetos (7, 13%) e mamíferos (6, 11.1%). O restante dos estudos fica distribuído entre répteis, anfíbios, crustáceos, aracnídeos e condrictes (figura 9).

De um total de 311 espécies, as mais utilizadas foram aquelas de grande distribuição e presente em áreas urbanas, como o Twister (*Rattus norvegicus domestica*) (7), Mandarin (*Taeniopygia guttata*) (6), Toninha-comum (*Phocoena phocoena*) (4), Cachorro (*Canis lupus familiaris*) (4), Camundongo (*Mus musculus*) (4), Abelha-europeia (*Apis mellifera*) (4) e Perereca-verde-americana (*Hyla cinerea*) (4). Além disso, 164 (51%) trabalhos utilizaram como animal de estudo uma espécie com ocorrência exclusiva no hemisfério norte, 65 (20.2%) trabalharam com espécies do hemisfério sul, 54 (16.8%) com espécies que ocorrem em ambos os hemisférios e 47 (14.6%) estudaram espécies com distribuição global. Vinte e cinco

trabalhos utilizaram outras espécies domesticadas, como Galinha-doméstica (*Gallus gallus domesticus*), Ovelha (*Ovis aries*) e Porco-doméstico (*Sus scrofa*). Dos 228 estudos para os quais essa informação está disponível, 81.6% utilizaram espécies categorizadas como pouco preocupantes (LC), enquanto somente 14.5% trabalharam com espécies ameaçadas de extinção (VU, EN e CR), segundo a lista vermelha da IUCN (Tabela 3). A maior parte dos trabalhos que utilizaram como animal modelo espécies sobre as quais não há informações sobre o estado de ameaça de extinção foram feitos com artrópodes.

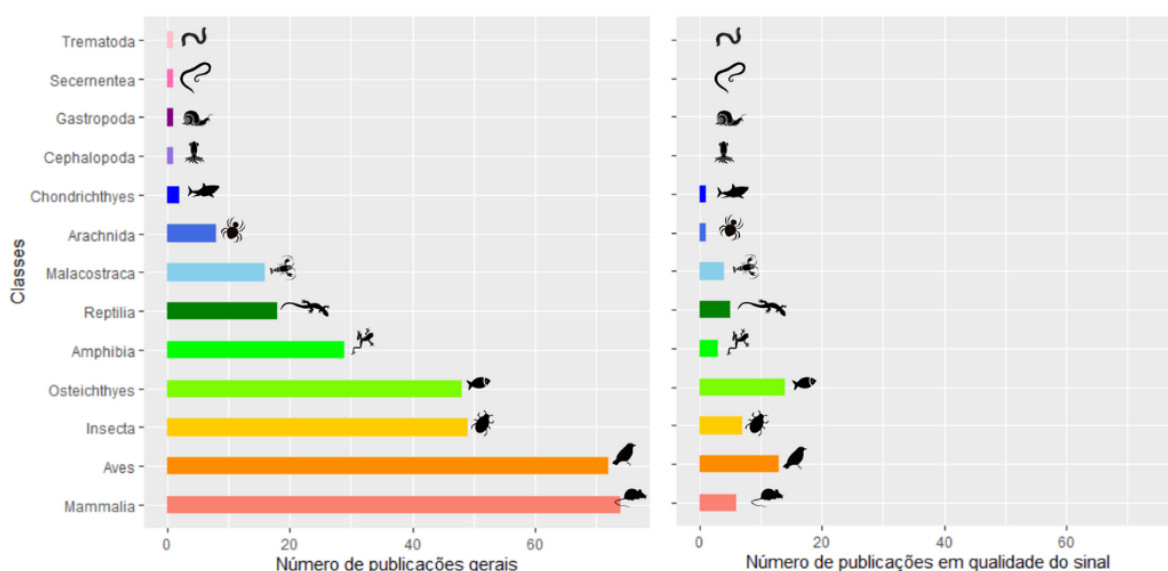


Figura 9. Distribuição de espécies em classes taxonômicas utilizadas em publicações que testaram experimentalmente o efeito do contexto ecológico e da qualidade do sinal.

Tabela 3. Lista de espécies utilizadas nos estudos e que estão classificadas em alguma das categorias de ameaça de extinção da IUCN (CR - criticamente em perigo de extinção, EN - em perigo de extinção e VU - vulnerável).

Categoria	Espécie (Ordem)	Nome popular
CR	<i>Atelopus zeteki</i> (Anura)	Sapo-dourado-do-panamá
	<i>Lepilemur ruficaudatus</i> (Primates)	Lêmure-saltador-de-cauda-vermelha
	<i>Macaca nigra</i> (Primates)	Macaco-negro
	<i>Oophaga histrionica</i> (Anura)	Rã-dardo-venenosa

	<i>Saguinus oedipus</i> (Primates)	Sagui-cabeça-de-algodão
	<i>Propithecus coquereli</i> (Primates)	Sifaka-de-coquerel
EN	<i>Asellus aquaticus</i> (Isopoda)	Piolho-de-água
	<i>Ateles belzebuth</i> (Primates)	Macaco-aranha
	<i>Emydoidea blandingii</i> (Testudines)	Tartaruga-de-Blanding
	<i>Hyperolius puncticulatus</i> (Anura)	Lagarto-de-rocha-de-cyren
	<i>Iberolacerta cyreni</i> (Squamata)	Cobra-de-cinco-dedos
	<i>Lycaon pictus</i> (Carnivora)	Mabeco
	<i>Negaprion acutidens</i> (Carcharhiniformes)	Tubarão-limão
	<i>Neophoca cinerea</i> (Carnivora)	Leão-marinho-australiano
	<i>Pan troglodytes</i> (Primates)	Chimpanzé
	<i>Sapajus flavius</i> (Primates)	Macaco-prego-dourado
	<i>Trinomys yonenagae</i> (Rodentia)	Rato-do-espinho
VU	<i>Ailuropoda melanoleuca</i> (Carnivora)	Panda-gigante
	<i>Eupsittula canicularis</i> (Psittaciformes)	Periquito-de-testa-laranja
	<i>Cebus capucinus</i> (Primates)	Macaco-prego-de-cara-branca
	<i>Cherax destructor</i> (Decapoda)	Yabby
	<i>Chlamydotis undulata</i> (Otidiformes)	Houbara
	<i>Dipodomys stephensi</i> (Rodentia)	Rato-canguru
	<i>Eulemur fulvus</i> (Primates)	Lêmure-castanho
	<i>Iberolacerta monticola</i> (Squamata)	Lagartixa-da-montanha
	<i>Litoria aurea</i> (Anura)	Rã-de-sino-verde-e-dourado
	<i>Mesocricetus auratus</i> (Rodentia)	Hamster-sírio

<i>Microcebus lehilahytsara</i> (Primates)	Lêmure-rato-de-goodman
<i>Oreochromis mossambicus</i> (Perciformes)	Tilápia-de-moçambique
<i>Panthera leo</i> (Carnivora)	Leão
<i>Phascolarctos cinereus</i> (Diprodontia)	Coala
<i>Rissa tridactyla</i> (Charadriiformes)	Gaivota-tridáctila
<i>Troglodytes tanneri</i> (Passeriformes)	Carriça-clarión

Métodos

A abordagem experimental mais utilizada nesses estudos foi a comparação com um grupo controle em situação de laboratório/cativeiro, presente em 199 publicações (61.9%), em oposição à experimentação em campo, utilizada apenas em 88 trabalhos (27.5%) (Tabela 4). Dez artigos reportaram os resultados de experimentos realizados em laboratório/cativeiro e em campo (3.1%) e 23 reportaram os resultados de abordagens experimentais associadas a abordagens descritivas/correlacionais (observações em campo sem manipulação; 7.2%) (Tabela 4). Esse padrão foi independente da temática, de modo que apenas para os temas “discriminação entre co-específicos” e “efeito antrópico na comunicação e comportamento” apresentam equilíbrio entre o uso de uma abordagem controlada ou em campo. Além disso, dentre as classes estudadas, quase todas apresentaram como metodologia mais recorrente a abordagem experimental controlada (em laboratório ou área de cativeiro), exceto as aves e chondrichthyes, grupos cujo método de estudo mais frequente foi a experimentação em campo (60% ou 39 estudos com aves e 100% ou 2 estudos com chondrichthyes) (Tabela 4).

Tabela 4. Frequência de estudos com cada classe animal que utilizam os métodos de pesquisa: experimento em campo, experimento controlado (Laboratório/cativeiro), experimento em campo e controlado e experimento e observação descritiva.

Classe	Método de estudo			
	Experimento em campo	Experimento controlado	Experimento em campo e controlado	Experimento e observação descritiva
Amphibia	13	16	0	0
Arachnida	0	8	0	0
Aves	39	26	2	5
Cephalopoda	0	1	0	0
Chondrichthyes	2	0	0	0
Gastropoda	0	1	0	0
Insecta	4	36	5	4
Malacostraca	1	15	0	0
Mammalia	23	38	1	12
Reptilia	2	15	1	0
Osteichthyes	4	41	0	2
Secernentea	0	1	0	0
Trematoda	0	1	0	0

Em relação ao delineamento experimental, o tamanho amostral apresentou grande diferença entre os estudos, variando de 4 a 963 indivíduos. Esse valor apresentou relação com o uso ou não de medidas repetidas (um mesmo indivíduo submetido a todos os tratamentos), de modo que experimentos sem medidas repetidas apresentaram tamanho amostral superior àqueles com medidas repetidas ($N_{\text{Medidas Repetidas}} = 235$; $N_{\text{Medidas Independentes}} = 206$; Wilcox test: $W=31287$, $p<0.001$). Além disso, o tamanho amostral também se relacionou à classe de estudo (Kruskal-wallis: $X^2=36.88$, $p<0.001$) e à modalidade do sinal estudado (Kruskal-wallis: $X^2=24.881$, $p<0.001$). Assim, estudos com insetos apresentaram os maiores valores de amostra,

bem como estudos com sinal químico e visual. Já os estudos com menor tamanho amostral foram aqueles realizados com a classe cefalópode (que possui apenas um estudo), peixes ósseos, mamíferos e aves, assim como os realizados com sinal elétrico e sonoro. Além disso, também identificamos um efeito do grau de ameaça de extinção da espécie estudada sobre o tamanho amostral (Kruskal-wallis: $X^2=10.09$ $p=0.04$), de modo que os estudos utilizaram um número maior de indivíduos de espécies sem nenhum grau de ameaça (LC) do que de indivíduos de espécies criticamente ameaçadas de extinção (CR; Dunn-test, $p=0.04$). Por outro lado, não houve relação entre o tamanho amostral e o tipo de estudo (Kruskal-wallis: $X^2=4.4036$, $p=0.22$), porém vale ressaltar que os maiores valores de tamanho amostral correspondem a estudos em laboratório/cativeiro, o qual também apresentou maior variação de tamanho de amostra.

O sinal sonoro foi a variável resposta mais frequente, sendo usado em 167 (52.2%) trabalhos, seguidos pelo sinal químico, 81 (25.3%), visual, 30 (9.4%), elétrico, em dez (3.1%) e vibracional, em sete (2.2%). O uso de mais de uma modalidade de sinal apareceu em apenas 25 (7.8%) estudos (figura 10). Esse padrão se repetiu ao avaliarmos as cinco classes animais mais estudadas, exceto para inseto, cuja modalidade química foi a mais investigada. Já nos trabalhos em qualidade do sinal, apesar da semelhante proporção de estudos com a sinalização sonora (28 estudos, que equivale a 57.4%) em relação a análise geral, o uso dos sinais químicos (9, 16.67%) e visuais (8, 14.81%) ocorreu com frequência equilibrada, restando apenas dois (3,7%) estudos que avaliaram a sinalização elétrica e um que avaliou a sinalização vibracional (1.85). Por fim, seis (11.1%) estudos avaliaram mais de uma modalidade do sinal (figura 10). Dos 181 trabalhos que avaliaram a sinalização sonora, 149 (82.3%) utilizaram a técnica de playback durante os experimentos. Os trabalhos com sinalização elétrica também utilizam uma espécie de playback como ferramenta de estudo. Já os estudos com sinais químicos e visuais variaram bastante a metodologia, sendo as mais recorrentes a manipulação de colorações dos

indivíduos ou o uso de modelos mecânicos ou tecnológicos para os sinais visuais, e a exposição direta dos indivíduos a substâncias químicas removidas da própria espécie (como componentes adicionados, removidos ou sem alterações) ou de outras espécies para os sinais químicos.

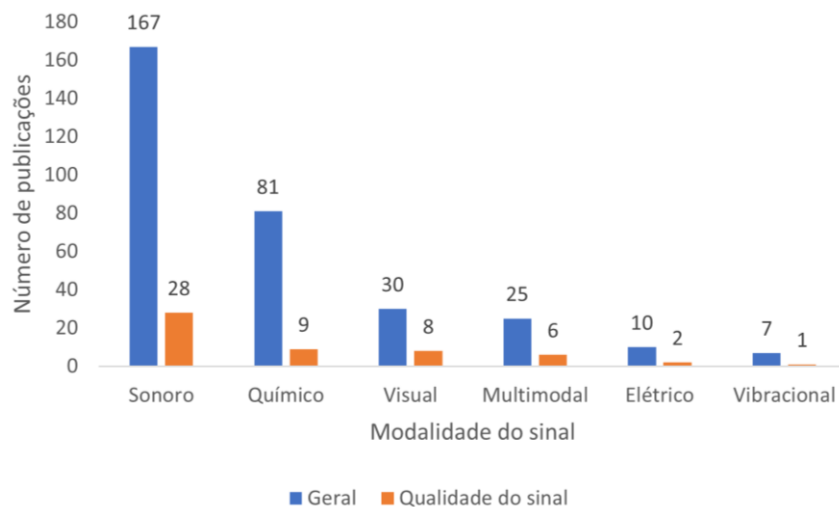


Figura 10. Número de publicações que estudam cada uma das modalidades de sinal. Em azul é uma análise de toda a amostra e em laranja somente os artigos sobre qualidade do sinal.

Artigos em qualidade do sinal

Dentre os trabalhos que focaram em sinais químicos e visuais, a maioria (59.1%, que corresponde à 13 de um total de 22 estudos) investigou como alterações no sinal alteram as interações sociais e 27.3% (6 de um total de 22 estudos) avaliaram como alterações ambientais por poluentes químicos ou que modificam propriedades visuais do ambiente podem afetar a transmissão do sinal. Os demais 13.6% (3 de 22 estudos) investigaram o efeito de variações naturais no habitat sobre a comunicação. Em geral, 44.4% dos estudos com sinais químicos ou visuais em contexto de alterações antrópicas ou variação natural do ambiente concluíram que tais variações podem ter um efeito na sinalização e percepção do sinal, enquanto 44.4% encontraram com resultado alterações comportamentais e apenas um não encontrou nenhum efeito nas características do sinal ou do comportamento dos indivíduos.

Dos trabalhos que investigaram a sinalização sonora, 23 (74.1%) buscaram avaliar o

efeito de ruídos de fundo sobre a comunicação e/ou o comportamento, enquanto apenas seis (19.4%) manipularam a qualidade do sinal a fim de identificar sua função ou o papel de sua estrutura e dois (6.5%) buscaram compreender alterações na sinalização vocal em função de aspectos naturais da espécie ou da paisagem. Os ruídos mais utilizados na construção de tratamentos dos experimentos foram os ruídos antrópicos (65.4%), reproduzidos a partir de gravações ou por meio da realização dos estudos em locais antropizados. Dos ruídos sintéticos, destacamos o uso do ruído branco, que apareceu em quatro trabalhos (15.4%), contudo também foram utilizados o ruído marrom (1 estudo, 3.8%) e a frequência baixa multitom (1 estudo 3.8%), e mais três estudos com ruído sintético não especificado (11.5%). Os trabalhos que buscaram compreender possíveis impactos de ruídos de fundo na comunicação mediada por sinais acústicos detectaram como efeitos alterações no comportamento dos animais (72.3%), como alteração na capacidade de detecção de presas ou predadores e no comportamento de corte, e/ou alterações nas características do sinal acústico (temporais ou espectrais) (26.1%).

Discussão

O estudo da sinalização animal e interações sociais, bem como das alterações estruturais e contextuais que afetam seu funcionamento, apresentaram crescimento no século XXI, sendo uma área de pesquisa que se mostrou em ascensão por um período. Esse crescimento ocorreu associado a tendências geográficas, de maior publicação no hemisfério norte, taxonômicas, com mais estudos sobre mamíferos, aves, peixes ósseos e insetos do que as demais classes, e metodológicas, havendo preferências por estudos em ambiente controlado e com o uso do sinal sonoro. Assim, indicamos a possibilidade da existência de lacunas de conhecimento.

A comunicação animal é essencial para a interação entre os organismos, mediando processos vitais dos indivíduos (Laiolo 2010; Smith 1977). Assim, a compreensão do seu funcionamento, através do estudo dos sinais, de suas estruturas, funções e das consequências

de alterações desses sinais ou do contexto sobre as interações sociais, é de extrema importância para o entendimento pleno da ecologia das espécies. O aumento no número de estudos que investigam de forma experimental o efeito de alterações nas condições de transmissão, contexto ou características do sinal pode estar relacionado à adoção de novas tecnologias que otimizaram essas pesquisas, como aparelhos de gravação de áudio e microfones portáteis e economicamente mais acessíveis (Madhusudhana *et al.* 2022). Além disso, o grande impacto causado pelo homem sobre os ecossistemas, que tem levado diversas espécies ao risco de extinção (o chamado Antropoceno), pode ter contribuído para um aumento do interesse da comunidade etológica em entender como essas alterações têm modificado os padrões comportamentais e dos sinais na comunicação dos indivíduos (Boivin *et al.* 2016; Hirt *et al.* 2021). Entender esses fatores é imprescindível para se compreender não só como a comunicação ocorre, mas também as consequências de danos a elas, a fim de minimizar os impactos antrópicos sobre a biodiversidade (Laiolo 2010). Contudo, a partir de 2015, notamos um desaceleramento no volume de publicações que investigam de forma experimental o efeito de alterações nas condições de transmissão, contexto ou características do sinal. Esse decréscimo não foi observado para outras áreas, mas nos anos de 2020 e 2021, pode estar relacionada à pandemia de COVID-19, que desacelerou a publicação de pesquisas em muitas áreas (Riccaboni & Verginer 2022; Harper *et al.* 2020; Usman & Ho 2021). Além disso, observamos que estudos experimentais sobre a qualidade do sinal é uma área de pesquisa mais recente, com publicações a partir de 1997, além de apresentar um crescimento mais lento, mostrando que esse tema ainda tem recebido pouca atenção. Apesar do crescimento de estudos experimentais que avaliaram o efeito de alterações na transmissão da informação ou alterações contextuais sobre a resposta comportamental dos indivíduos durante a comunicação, o impacto destas publicações não acompanhou essa tendência, com alguns poucos artigos recebendo muito destaque, o que explica as altas pontuais no número de citações. Por exemplo, os quatro

artigos com maior número de citações foram publicados no ano em que houve os maiores picos de citações (2004 e 2010).

Em relação à produção da pesquisa, estudos experimentais sobre o efeito do contexto ou da qualidade do sinal não demonstram viés de autores, gênero e grupos de pesquisas. Diferentemente do cenário geral para o universo acadêmico (Huang *et al.* 2020), o recorte de estudos de comunicação animal que estudamos apresentou uma equidade de gênero, com volume semelhante de publicações lideradas por pesquisadores homens e mulheres. Entretanto, outros vieses que identificamos já são bem conhecidos e ocorrem em diferentes áreas, como a diferença no número de publicações entre os hemisférios sul e norte, que relaciona-se, entre outros fatores, ao poder econômico e investimento em pesquisa desigual entre estas regiões do globo (King 2004), à maior atenção que as pesquisas do hemisfério norte recebem por parte de revisores e de outros pesquisadores (Yeung 2001; Skopec *et al.* 2020) e à atribuição de uma maior universalidade aos estudos produzidos por grupos do hemisfério norte, em contraposição à percepção de que os estudos produzidos por grupos do hemisfério sul são pesquisas mais locais (Ekdale *et al.* 2022). Esse viés também explica porque as universidades com maior produção científica no recorte de artigos em comunicação animal que estudamos também se localizam em países do hemisfério norte, em particular naqueles países que já tem as maiores produções científicas, como os Estados Unidos da América e o Reino Unido. Por outro lado, quanto ao autor sênior pesquisador, identificamos fraca tendência de publicação, destacando-se apenas H. Carl Gerhardt, o qual é uma importante referência no campo da comunicação acústica de anuros (Bee & Gerhardt 2001ab; Reichert & Gerhardt 2012; Henderson & Gerhardt 2013). Em relação às revistas de publicação, *Animal Behaviour* e *Behavioral Ecology* são as que apresentam maior destaque, tanto em uma análise geral quanto focando na qualidade do sinal. Para as demais revistas não houve uma correlação entre as áreas, havendo um grupo de revistas pequeno que se destaca na publicação de artigos em qualidade do sinal, o qual é

diferente das revistas com mais publicações em comunicação animal e interações sociais.

A temática de estudos experimentais sobre o efeito de alterações do contexto ecológico e da qualidade do sinal na comunicação animal apresentou grande variedade, embora alguns poucos temas tenham sido investigados com maior frequência, como interações ecológicas, investigações estruturais ou funcionais da sinalização e interferências na sinalização, em especial interferências ou alterações causadas pela ação do homem. Além disso, a classe animal estudada parece estar associada com os temas dos estudos. Assim, mamíferos e aves são usados com maior frequência em experimentos que abordam questões ecológicas, que investigam o efeito do contexto (e.g. Gros-Louis 2004) ou do sinal (e.g. Fichtel 2007) no resultado das interações entre indivíduos co-específicos ou entre espécies, ou que buscam compreender o significado dos sinais emitidos na comunicação e quais comportamentos esses sinais elicitam (e.g. Koloff & Mennill 2011). A maioria desses estudos trabalhou com sinais acústicos, provavelmente devido à grande diversidade e complexidade da sinalização sonora produzida por esses dois grupos, que atrai grande interesse para sua compreensão (Marques 2008). A vocalização para aves e mamíferos possui papel central em diversas interações, sendo a modalidade de sinal mais utilizada por esses grupos (Bradzynski 2010; Marques 2008). Assim, também há um interesse no entendimento do impacto antrópico sobre esses sinais, devido à crescente produção de ruído pelas alterações humanas no ambiente, que podem afetar o comportamento animal (Laiolo 2010). Para os peixes ósseos, tal interesse também se tornou crescente, dada a presença cada vez maior de aparatos antrópicos nas águas (Bruitjes & Radford 2013; Jong *et al.* 2018), o que explica o grande número de pesquisas que avaliam o efeito antrópico sobre a sinalização em peixes. Além disso, há trabalhos que investigam a sinalização elétrica, modalidade a qual é encontrada apenas em poucas espécies de peixes (Hopkins 1974). Já para insetos, as questões estruturais e funcionais dos sinais receberam maior atenção, especialmente para os sinais químicos, o que pode estar relacionada ao extenso uso de

sinais químicos na forma de pistas ou feromônios, utilizadas para mediar interações em diferentes espécies de insetos e outros invertebrados (Leonhardt *et al.* 2016; El-Ghany 2020). Nesse contexto, o interesse na compreensão da comunicação durante o acasalamento e do papel da estrutura do sinal em contexto reprodutivo tinham o intuito de procurar aplicações para o controle das populações de insetos em sistemas agrícolas, como ferramenta de manejo.

Essa relação entre temáticas e classes mais estudadas também embasam o viés encontrado quanto à modalidade do sinal nos estudos. Como estudos com aves e mamíferos são mais comuns e esses organismos produzem mais sinais sonoros durante sua comunicação, o sinal sonoro também foi o mais estudado. Além disso, esse sinal também é usado por diversos grupos de invertebrados e outros vertebrados, como anfíbios e peixes. Essa tendência pode estar associada não só a relevância da modalidade para muitos grupos, mas também à facilidade de se manipular o sinal acústico, devido ao avanço tecnológico na área, o que inclui técnicas e equipamentos para o monitoramento acústico, que permitem a captação de dados sonoros com eficiência em diversos ambientes (Madhusudhana *et al.* 2022; Sugai *et al.* 2019). Já o segundo sinal mais estudado é o químico, devido a sua importância para a comunicação entre insetos, mostrando uma carência de estudos sobre o papel da comunicação química em outras classes.

De modo geral, mamíferos, aves, peixes ósseos e insetos são os grupos mais usados nos estudos experimentais sobre as condições da comunicação e a qualidade do sinal. Esse padrão é concordante com outros estudos que investigaram a ocorrência de viés taxonômico no registro de dados da biodiversidade e em outras áreas, como etologia e biologia da conservação (Rosenthal *et al.* 2017. Troudet *et al.* 2017). Em geral, vertebrados recebem proporcionalmente mais atenção que invertebrados e, entre vertebrados, as aves e mamíferos recebem proporcionalmente mais atenção, enquanto os insetos são os mais estudados entre os invertebrados (Rosenthal *et al.* 2017. Troudet *et al.* 2017). E mesmo que os insetos contabilizem uma quantidade absoluta alta de estudos, o grupo ainda é sub-representado, uma

vez que esse volume de publicações é baixo, considerando a diversidade e abundância relativa do grupo quando comparados aos demais táxons (Troudet *et al.* 2017). Contudo, quando analisamos especificamente os artigos em qualidade do sinal, peixes ósseos é o grupo mais estudado, o que pode ter relação com a mudança do habitat aquático como discutido, corroborando um estudo de viés taxonômico na área da conservação (Donaldson *et al.* 2016).

Por outro lado, apesar do viés em termos de filo e classe, não observamos uma espécie que se destaque como animal utilizado nos estudos experimentais sobre o efeito da alteração de contexto e qualidade do sinal no comportamento dos animais. As sete espécies com maior frequência de uso aparecem de sete a quatro vezes em 320 artigos analisados, sendo cinco dessas espécies domésticas e/ou amplamente utilizadas como animais modelos em outros estudos sobre comportamento (Jayakumar, 2019; Derégnaucourt *et al.* 2013; Mello 2015), ou outras áreas (Phifer-Rixey & Nachman 2015; Sunday *et al.* 2019). A recorrência no uso de espécies domesticadas pode indicar tanto um maior interesse na forma como esses animais se comunicam, dada sua proximidade com a nossa espécie (e.g., *Canis lupus familiaris*), bem como no melhoramento da criação ou produção (e.g., *Apis mellifera*), além da maior facilidade de acesso e manipulação desses animais para experimentos em laboratório (e.g., *Mus musculus*) (Gonyou 1994; Jensen 2017). Por outro lado, estudos realizados com espécies ameaçadas de extinção foram pouco frequentes, o que pode estar relacionado a dificuldades de obtenção de número amostral suficiente e falta de investimento (Shaw *et al.* 2021). Além disso, muitas normas propostas para a proteção das espécies ameaçadas acabam sendo excessivamente restritivas e dificultam o acesso a essas espécies ameaçadas, o que pode desestimular o uso e o desenvolvimento de estudos sobre as próprias espécies protegidas (Prathapan *et al.* 2018). Assim, paradoxalmente, é possível que as leis para proteção das espécies ameaçadas acabem produzindo um déficit de estudos sobre espécies ameaçadas (Laiolo 2010; Shier *et al.* 2012), especialmente sobre informações básicas sobre comunicação e sinais acústicos.

A realização de experimentos em ambientes controlados (laboratório ou cativeiro) para a compreensão da comunicação animal também foi mais recorrente. Os experimentos em campo apresentam diversas barreiras que podem afetar seu desenvolvimento e qualidade, como a imprevisibilidade e a impossibilidade de controlar todas as variáveis que interagem com o sistema de estudo (Calisi & Bentley 2008), além das dificuldades de se encontrar o animal de estudo. Por outro lado, os experimentos em ambiente controlado permitem uma associação mais clara entre a causa e efeito, o que torna uma importante ferramenta para a investigação de processos e comportamentos (Calisi & Bentley 2008).

Já o número de indivíduos utilizados nos diferentes estudos é muito variável, apresentando associação com a classe animal estudada e o tipo de sinal. Os insetos são animais que podem apresentar curto ciclo de vida em relação a outros grupos animais, como vertebrados, além de serem animais abundantes e de rápida reprodução (Hickman *et al.* 2002). Tais fatores facilitam o uso de muitos indivíduos nos estudos, os quais permitem um maior tamanho amostral quando comparado a vertebrados, por exemplo. Além disso, insetos em geral são animais de fácil manutenção, exigindo menor área e menos recursos para sua manutenção em cativeiro. Assim, como os estudos com sinais químicos são realizados em sua maioria com insetos, também apresentaram maior tamanho amostral. Outra característica é que a extração dos componentes químicos que atuam como sinais para o uso nos experimentos resulta na morte dos indivíduos (Bruschini *et al.* 2006; Plowes *et al.* 2014), o que também incentiva o uso de insetos e não de outros animais vertebrados. Em comparação, as aves e os mamíferos apresentam um ciclo de vida muito mais longo e são relativamente menos abundantes (Hickman *et al.* 2002). Além disso, quando mantidos em cativeiro, exigem uma área maior para serem mantidos e requerem outros tipos de manutenção, como condições de temperatura adequadas, o que pode explicar o baixo número de indivíduos usados desses grupos.

Os trabalhos em qualidade do sinal apresentaram padrão de tendências e lacunas bem

semelhantes à análise geral, possuindo também viés taxonômico e de modalidade do sinal que é mais estudado. Quanto aos resultados desses estudos, quase a totalidade dos trabalhos classificados em qualidade do sinal encontraram efeito da interferência na sinalização no comportamento dos indivíduos, incluindo efeitos produzidos por fatores antrópicos, como ruídos ou poluentes. Isso reforça a relevância de uma maior compreensão sobre o tema para, de fato, promover a conservação da biodiversidade (Teixeira *et al.* 2019; Barber *et al.* 2010). Apesar dessa relevância, ainda existem poucos estudos sobre os efeitos das alterações ambientais sobre a comunicação animal. Em geral, o efeito do ruído antrópico sobre sinais acústicos foi o mais comum, representando um terço do total de estudos em nossa amostra. O uso de ruídos antrópicos como sons de rodovias ou maquinarias foi mais comum do que a utilização de ruídos sintéticos, como o ruído branco. A maior preocupação com o uso dos ruídos sintéticos seria com relação ao seu realismo e a capacidade de generalização dos efeitos encontrados, o que pode explicar a baixa preferência por seu uso (Blumstein *et al.* 2017). Além dessa temática na qualidade do sinal, a manipulação do sinal, alterando sua qualidade, se mostrou uma metodologia utilizada para compreensão do sinal e sua função, principalmente para sinais químicos e visuais.

Portanto, neste trabalho mostramos que os estudos sobre a sinalização animal na comunicação e as alterações comportamentais nas respostas dos indivíduos apresentaram crescimento ao longo dos anos, ampliando as classes animais, as temáticas e as modalidades de sinal avaliados. Contudo, a maioria dos estudos ainda estão concentrados em aves e mamíferos, utilizando sinais acústicos em detrimento de outras modalidades, como a comunicação química e a visual. Além disso, mostramos que uma área de extrema relevância atual é a compreensão do impacto humano sobre a comunicação animal e seu comportamento, tema que, apesar de entre os mais frequentes, ainda não é expressivo e não abrange todas as classes animais e tipos de sinalização, revelando-se como um campo de pesquisa que deve

receber mais investimento. Por fim, também destacamos que o número de estudos com espécies ameaçadas de extinção é muito pequeno, em contrapartida a necessidade de pesquisas de base com esses animais é essencial para que a conservação dessas espécies consiga de fato ser efetiva e direcionada às suas peculiaridades.

CAPÍTULO II: Como a perda de informação altera o resultado de interações comportamentais em *Sporophila maximiliani* (Aves: Passeriformes)?

Resumo

A comunicação é um processo central nas interações das aves e compreensão de sua etologia e a transmissão de informações depende da qualidade do sinal. A degradação do sinal pode alterar ou destruir a informação codificada, aumentando a ambiguidade sobre o contexto da interação. Assim, a perda de informação tem o potencial de gerar estresse e conflito motivacional. Testamos se a perda de informação afeta a resposta comportamental de *Sporophila maximiliani* usando (i) um experimento de playback, para simular um sinal acústico, e (ii) um experimento com espelho, para simular um sinal visual. Descobrimos que a qualidade do sinal acústico e, portanto, a qualidade da informação, afetou o comportamento da espécie. A degradação do sinal acústico aumentou a emissão de comportamentos de manutenção, o que sugere aumento do estresse e estado de conflito motivacional. Além disso, a modulação da frequência de pico dos chamados para valores mais altos indica que o medo está impulsionando tais mudanças comportamentais. Por outro lado, a degradação do sinal visual resultou em menor estresse, com diminuição das exibições de comportamentos de alerta e manutenção. Assim, evidenciamos que a degradação do sinal e a perda de informações podem alterar o estado motivacional de *S. maximiliani* quando expostos a sinais acústicos e resultar em um conflito motivacional devido à ambiguidade do contexto de interação. A emissão de comportamentos de manutenção como atividades de deslocamento é um indicador do maior estresse sofrido pelos indivíduos expostos a sinais parcialmente degradados. Além disso, um sinal parcialmente compreensível é mais prejudicial do que um sinal totalmente degradado. Compreender esses padrões comportamentais é de extrema importância para elucidar os efeitos de interferências na comunicação sobre as interações sociais e possibilita entender as estratégias comportamentais de cada espécie. Assim, estudos futuros com outras espécies de aves podem contribuir para identificar padrões comportamentais comuns ao contexto de degradação da informação.

Palavras-chave: qualidade do sinal; conflito motivacional; atividade deslocada; estresse; mudança comportamental; bicudo.

Introdução

As aves compõem um grupo animal cuja comunicação tem sido alvo de muitos estudos, especialmente pela ampla importância que a comunicação sonora ocupa em suas interações ecológicas (Marques 2009). A compreensão da etologia desse grupo está diretamente ligada ao entendimento das bases de sua comunicação e, por tal motivo, a bioacústica na ornitologia é um campo crescente e em constante avanço (Marques 2008).

Na comunicação sonora, a emissão de uma informação se dá através das propriedades do som, que podem ser moduladas ou conservadas, dependendo do contexto social, ambiental e até da motivação (Seyfarth *et al.* 2010; Vielliard & Silva 2010). A associação entre a motivação do indivíduo emissor e as propriedades do som emitido foi elaborada por Morton (1977) e é chamada *The motivation structural code* (MS - code). Através desse código, Morton descreve como a estrutura acústica da vocalização está associada às funções daquela vocalização e das motivações comportamentais de seu emissor, sendo uma importante pista para o receptor acerca das condições da interação (Morton 1977). Ademais, além da motivação, a vocalização também pode transmitir uma diversidade de informações, sobre o ambiente (disponibilidade de recursos, presença de predador), sobre a identidade do indivíduo ou de seu grupo e sobre suas habilidades (Marques, 2008). Assim, a vocalização em aves é uma forma de comunicação muito importante, que permite até mesmo a comunicação em longas distâncias, tendo papel central nas interações das aves entre si e com o ambiente (Cornec *et al.* 2017; Aubin *et al.* 2014).

A produção sonora em aves pode ser compreendida de duas formas: vocalização, que são os sons produzidos através do órgão vocalizador, a siringe, e o som mecânico, produzido por movimentos de outras estruturas, que não a siringe (Marques 2008). Ambos são parte da comunicação das aves em diversos contextos, mas é através da vocalização que se dá a maior

complexidade e diversidade de sons produzidos pelas aves (Silva & Vielliard 2011; Suthers 1997). Essa capacidade de elaboração de vocalizações complexas, e do canto em alguns grupos, ocorre através da vibração do par de membranas siringiais, que é gerada pela contração e relaxamento muscular de maneira autônoma dos músculos siringiais, permitindo a modulação da frequência e amplitude do som (Vielliard & Silva 2010). Assim, a diversidade de elementos sonoros produzidos possibilita o uso da vocalização para reconhecimento específico, de grupos locais (dialetos) e até mesmo de indivíduos, além do uso na escolha de parceiros reprodutivos (Silva & Vielliard 2011; Elie & Theunissen 2020).

A vocalização em aves é classificada em cantos ou chamados, de acordo com a estrutura, complexidade e contexto em que são emitidas (Catchpole & Slater 2008). Chamados são vocalizações mais simples e de curta duração, geralmente compostas por uma ou duas sílabas com até dois elementos. Este tipo de vocalização é emitido por ambos os sexos em situação de risco de predação, como um sinal de alarme, em contato entre co-específicos ou por filhotes no ninho (Langmore 1998). Já o canto é uma vocalização mais longa e considerada mais complexa, que apresenta som melodioso, e é composta por sequências de três ou mais sílabas, as quais estão espaçadas por até cerca de 0,35s, e cuja sequência separa-se de outros cantos por um intervalo de pelo menos 0,7s, duas vezes o tempo que separam duas sílabas (Pruchová *et al.* 2017). O canto está mais associado a contextos reprodutivos, para atração de fêmeas, e para a defesa territorial (Langmore 1998; Catchpole & Slater 2008).

Desse modo, dada a importância que a comunicação acústica assume nas interações das aves e a importância de se preservar as propriedades do som para se transmitir uma informação com sucesso, a adequação da vocalização em contextos de alteração de habitat e presença de ruído é uma adaptação recorrente (Laiolo 2010; Warren *et al.* 2006). Assim, é

comum a ocorrência de alterações em parâmetros do canto, como frequência, duração e amplitude, para evitar a sobreposição por ruídos ou reduzir a degradação sonora durante a propagação no meio (Cynx *et al.* 1998; Brumm & Todt 2002; Hansen *et al.* 2005). Um exemplo é a regulação da amplitude, isto é, a modulação da amplitude do sinal acústico emitido pelo animal em função do nível de barulho no ambiente. O aumento da intensidade da vocalização de um emissor em resposta ao aumento de ruído de fundo é conhecido como efeito Lombard (Lombard 1911). Esse efeito tem sido estudado e identificado em diversos grupos animais como em mamíferos, inclusive humanos, anfíbios e aves (Lombard 1911; Cynx *et al.* 1998; Brumm & Todt 2002). Um estudo com *Taeniopygia guttata* (mandarim), um passeriforme não territorial, mostrou que a espécie apresenta a estratégia de regulação da amplitude na presença de ruídos, elevando a intensidade da vocalização de acordo com a quantidade de ruído, ao invés de adotar uma maximização da amplitude, que poderia implicar em maior gasto energético e possivelmente menor custo-benefício (Cynx *et al.* 1998). Além disso, um estudo com *Luscinia megarhynchos* (rouxinol), uma espécie de pássaro territorialista, também revelou que, mesmo para uma espécie que defende seu território, em que a maximização é mais esperada, ocorre a regulação da amplitude, de modo que algumas notas são exibidas em amplitude maximizada enquanto outras menos expressivas não (Brumm & Todt 2002).

Contudo, embora exista um maior número de pesquisas sobre a sinalização sonora, a comunicação por meio de outras modalidades do sinal ou por mais de uma modalidade ao mesmo tempo também pode ter grande importância para o grupo das aves (Frohlich *et al.* 2019). Um estudo com *Gallus gallus* (galinha), por exemplo, mostrou que o chamado de aviso de comida da espécie é composto por uma sequência de sinais sonoros e por um comportamento visual (Smith *et al.* 2011). Esses sinais são redundantes e a intensidade e uso são variáveis de acordo com o contexto de disponibilidade de alimento e da presença de

fêmeas ou machos rivais, havendo uma avaliação do custo-social envolvido na uni- ou multimodalidade do sinal (Smith *et al.* 2011). Ainda, o uso e a relevância de outras modalidades do sinal podem variar de acordo com outras características, como alta densidade colonial, onde a comunicação visual pode ser mais eficaz e gerar menor confundimento (Marler 1957). Assim, a compreensão dos sinais visuais e da combinação de modalidades de sinais também fornecem informações importantes acerca da biologia e comportamento das espécies, bem como a respeito da evolução da comunicação em aves (Osório & Vorobyev 2008; Marler 1957).

Assim, alguns pesquisadores têm buscado compreender a comunicação de espécies de aves e como ela é afetada por ruídos. No entanto, há uma carência de estudos que avaliem o que ocorre com esses animais quando a adaptação ao ruído ou outros fatores que interferem na qualidade do sinal não é capaz de evitar a perda de informação. Ainda, pouco se investiga também sobre os efeitos dessa degradação da informação nos níveis de estresse das aves e as alterações comportamentais resultantes. A falha no processo de transmissão da informação é capaz de afetar processos vitais dos animais (Grade & Sieving 2016). Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar como as aves reagem quando submetidas à informação incompleta na comunicação intraespecífica, utilizando como modelo de estudo a espécie *Sporophila maximiliani*. Esta espécie, popularmente chamada de bicudo, é conhecida por seu canto melodioso e possui uma caixa vocal complexa e alta capacidade de aprendizado, sendo capaz de ampliar seu repertório vocal ao longo da vida (Silva & Vielliard 2011). O bicudo é uma espécie territorialista e que naturalmente apresenta uma alta disposição agressiva, quando utiliza sinais acústicos e visuais para a defesa territorial, disputa por fêmeas e reconhecimento de grupos co-específicos (Ubaid *et al.* 2018). Tais fatores tornam a espécie um bom modelo de estudo para o entendimento dos efeitos do estresse pela perda de informação sobre os padrões de agressividade apresentados.

Além disso, o bicudo é conhecido pela sua capacidade de reconhecimento do canto de grupos diferentes, havendo dialetos, isto é, diferenças no canto de acordo com a variação geográfica, com respostas mais agressivas sendo comumente apresentadas pelos indivíduos frente ao reconhecimento do dialeto local (Ubaid *et al.* 2018). Contudo, a espécie vem passando por um processo de domesticação devido ao interesse em seu canto, com grande variação na vocalização de indivíduos domesticados, os quais podem se diferenciar dos padrões estruturais de cantos selvagens (Marques 2009). Assim, a compreensão da capacidade de reconhecimento dos indivíduos e os comportamentos exibidos em contexto de degradação do sinal são de importante interesse para compreender possíveis alterações comportamentais devido ao surgimento de variações no canto da espécie que prejudiquem o reconhecimento de grupos ou dialetos. Essa compreensão se torna ainda mais importante frente à vulnerabilidade do bicudo à extinção, que tem feito a espécie ser alvo de programas de reintrodução na natureza, como o Projeto Bicudos do Cerrado (Instituto Floresta Cheia) e o Projeto Bicudos (WAITA), os quais dependem da qualidade do sinal e do reconhecimento entre indivíduos para o estabelecimento das populações. Com raras populações naturais devido à perda de habitat e, principalmente, à pressão exercida pela captura ilegal e tráfico de animais, o bicudo é classificado como criticamente em perigo de extinção no Brasil (ICMBio 2022) e no mundo (BirdLife International 2022). A dificuldade de avistamento da espécie na natureza há anos resulta em um dos grandes desafios de sua conservação, que é a escassez de informações básicas sobre sua biologia e comportamento.

Buscamos, assim, compreender se a perda de informação é um fator estressor e é capaz de promover uma situação de conflito motivacional. Esperamos que a qualidade do sinal na comunicação possa provocar um contexto de conflito motivacional, já que incerteza do resultado de uma interação é uma das principais fontes de conflito motivacional (Maestriperi *et al.* 1992). Uma vez que o sinal transmite informações sobre o tamanho, a

saúde e o estado geral do emissor (Marques 2008; Morton 1977), a redução da qualidade da informação resultaria em um aumento no conflito motivacional e de estresse, já que a capacidade do emissor em avaliar o risco e o resultado da interação seria reduzida. Nesse caso, esperamos um aumento de atividades deslocadas, expressa pela manifestação de comportamentos de manutenção (Delius 1988), e um aumento do estado de vigilância, devido a um maior nível de estresse, expresso pelos comportamentos de alerta (Tarjuelo *et al.* 2015).

Também visamos avaliar se o aumento da agressividade é uma resposta comum a situações de conflito motivacional geradas pela perda da qualidade do sinal. Acreditamos que o aumento da disposição agressiva é uma resposta comum a conflitos motivacionais originados por uma redução na qualidade do sinal, uma vez que indivíduos que defendem um território podem aumentar seus níveis de agressividade à medida que a capacidade de avaliar o resultado de uma interação se deteriora (e.g. em anuros, Furtado & Nomura, 2014).

Metodologia

Local e Animal de Estudo

Desenvolvemos o estudo no Centro de Triagem de Animais Silvestres - Goiás (CETAS-GO), localizado no município de Goiânia (16°35'56" S, 49°11'55" W), Goiás, Brasil. O Cetas é um órgão gerenciado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e é responsável pelo manejo e reabilitação de animais silvestres que chegam através de entregas voluntárias, ações de fiscalização e resgate. Os animais utilizados neste projeto são advindos de apreensão e/ou entrega espontânea, disponibilizados pelo próprio CETAS-GO, que contém ambiente adequado para a manutenção e devido acompanhamento de técnicos e veterinários dos animais sob a tutela do órgão.

O modelo de estudo é a espécie *Sporophila maximiliani* (bicudo), uma ave da ordem Passeriforme, família Thraupidae. Como outras espécies do gênero *Sporophila*, o bicudo é

conhecido como “comedor de sementes” (do grego *sporo* = semente e *phila* = amigo), apresentando uma alimentação granívora baseada principalmente em sementes de espécies da família Cyperaceae, como *Hypolytrum pungens* (capim-navalha), *Hypolytrum schraerianum* (navalha-de-macaco) e *Cyperus rotundus* (tiririca) (Machado *et al.* 2020). Morfologicamente, é caracterizado por ser um pássaro que mede entre 14.5cm e 16.5cm e pesa cerca de 22g (Ubaid *et al.* 2018; WikiAves 2022). A coloração dos indivíduos é diferente entre os sexos, de modo que os machos possuem plumagem preta, com uma estreita faixa branca bem marcada na parte externa das asas e uma linha branca mais suave na parte interna (Ubaid *et al.* 2018). Já as fêmeas possuem coloração amarronzada, com asas e cauda em tons mais escuros, sendo muito confundidas com fêmeas de outras espécies do gênero (Ubaid *et al.* 2018). Além disso, outra característica importante é o bico, que é robusto e adaptado à quebra de sementes, apresentando coloração branca ou de tonalidade clara nos machos, enquanto nas fêmeas e filhotes é preto ou castanho escuro (Medolago *et al.* 2016). É uma espécie que vive aos pares em vida livre e exibe comportamento territorialista, especialmente no período reprodutivo, que ocorre entre os meses de setembro e abril (Ubaid *et al.* 2018). o Canto é emitido somente pelo macho, durante disputas territoriais e reprodutivas. Apesar da ocorrência restrita em vida livre, a existência de criadores não legalizados, bem como a doação de indivíduos por parte de criadouros legalizados para fins conservacionistas, resulta em alta entrada desses animais no CETAS-GO, os quais são destinados para o programa de reintrodução de indivíduos em áreas naturais, desenvolvido pelo próprio CETAS-GO em parceria com o Projeto Bicudos do Cerrado.

Nota ética

A experimentação prevista neste projeto foi realizada com animais e, por isso, foi submetida previamente à aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Goiás (CEUA/UFG, protocolo número 077/21).

Desenho Experimental

Para simular a degradação no sinal acústico, foi realizada a reprodução (*playback*) do sinal mais comum da espécie selecionada (figura 11), com cinco tratamentos: (1) - controle negativo: a reprodução não modificada (sinal com 0% de sobreposição de ruído branco); (2) sinal degradado leve, o sinal modificado com a sobreposição com ruído branco em ~10% da duração do sinal usado no *playback*; (3) sinal degradado moderado, sinal com a sobreposição com ruído branco em ~25% da duração do sinal usado no *playback*; (4) sinal degradado pesado, sinal com sobreposição de ruído branco em ~50%, da duração do sinal usado no *playback*; (5) - controle positivo: reprodução do ruído branco (tratamento 100%). O sinal acústico utilizado para construir o *playback* foi obtido de um banco de dados Xeno-canto (Silva & Lima 2009) no formato mp3, com um canto e duração de sete segundos. A gravação foi editada no programa Audacity® 3.0 (Audacity Team, 2021) para aumento da duração (cinco minutos e taxa de emissão de 3 vocalizações/minuto) e inserção do ruído branco, a fim de construir os tratamentos. Esse sinal consiste no canto de um indivíduo macho da espécie, registrado em vida livre no Parque Nacional das Emas (Silva & Lima 2009). Foi utilizado o canto de um animal de vida livre a fim padronizar, já que os indivíduos utilizados no experimento são provenientes de diferentes criadouros, e de testar a interferência na comunicação em um contexto que futuramente pode ocorrer, visto que esses indivíduos serão reintroduzidos na natureza. O *playback* para cada experimento foi reproduzido utilizando um aparelho celular. A intensidade das reproduções foi ajustada para 70dB com o uso de um decibelímetro (figura 12A). As observações foram iniciadas após cinco minutos de ambientação do animal na arena experimental. O tempo de observação de cada reprodução foi o mesmo, cinco minutos, seguido de um intervalo de cinco minutos para o início da próxima reprodução, totalizando 50 minutos para conclusão do experimento.

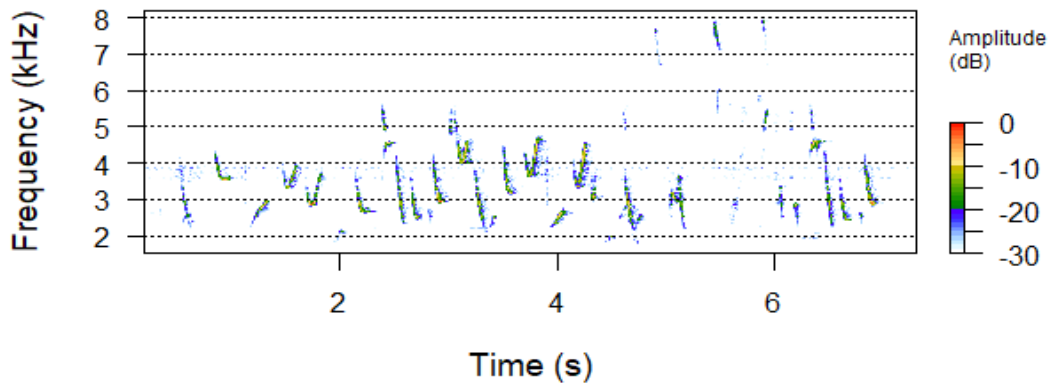


Figura 11. Espectrograma do canto de *Sporophila maximiliani* utilizado como modelo de vocalização para execução dos playbacks.

Para simular a degradação no sinal visual, foi utilizado um espelho de 22 x 29cm, apoiado em um banco de 50cm de altura e mantido a 10cm do animal focal, modificado nos seguintes tratamentos: (1) Visão desobstruída, sem quaisquer obstáculos visuais entre o espelho e o animal focal (0% do espelho coberto); (2) Visão obstruída, com 50% do espelho coberto com um padrão de listras, e (3) Controle, com 100% do espelho coberto (figura 12B), seguindo protocolo apresentado por Furtado e Nomura (2014). O reflexo do animal no espelho simulou a presença de um invasor co-específico com o mesmo tamanho e proporções, pois, apesar de não haver estudos sobre o comportamento de bicudos frente a um espelho, a maioria dos estudos com aves demonstram que essas não possuem capacidade de autorreconhecimento de suas imagens no espelho (Leitão *et al.* 2019; Kraft *et al.* 2017; Lin *et al.* 2021), com exceção de algumas espécies da família Corvidae (Prior *et al.* 2008; Dally *et al.* 2010).

Todos os experimentos foram realizados durante o mês de março de 2022, com um total de 20 indivíduos, 10 machos e 10 fêmeas. Os experimentos foram conduzidos com um animal por vez (registro comportamental através do método Animal Focal; Lehner 1996), em gaiolas individuais, nos horários de maior atividade das aves, isto é, no início da manhã, entre 7h e 10h, e no final da tarde, entre 15h30 e 18h. A arena experimental foi montada em ambiente fechado, com temperatura controlada de 25°C. Para avaliar as respostas individuais, o mesmo

animal foi submetido a cada um dos tratamentos e a ordem dos tratamentos foi previamente aleatorizada para cada animal focal (Oliveira 2017; Pereira *et al.* 2015).

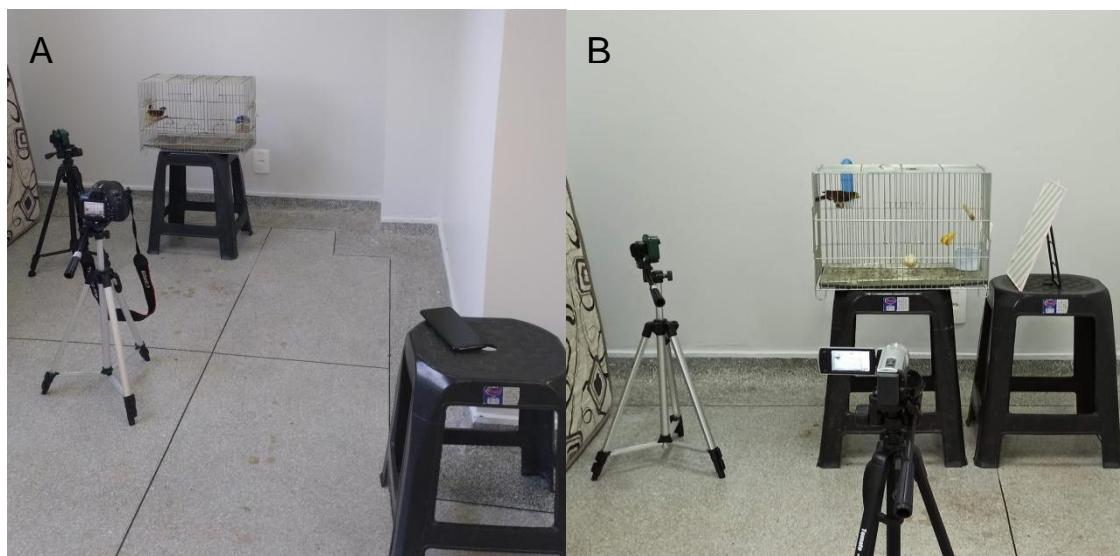


Figura 12. Arena experimental, com câmera e gravador digital posicionados para registro do indivíduo na gaiola. A - experimento sonoro; B - experimento visual.

Coleta de dados comportamentais

O comportamento foi usado como variável de resposta e os níveis de ansiedade e agressividade foram avaliados por meio da frequência de exibição dos comportamentos, especialmente de manutenção e alerta, do tempo de resposta, número de emissões, bem como das propriedades temporais e espectrais das vocalizações, e direção dos movimentos em relação à fonte de som e a abrigos.

Para categorizar as respostas comportamentais do animal focal durante os ensaios, o experimento foi registrado usando uma câmera de vídeo (Sony DCR-SX21) e um gravador digital (AudioMoth), com taxa de amostragem de 48000Hz e profundidade de 16dB (figura 11). Para cada comportamento foi calculado o número de emissões (para eventos comportamentais) ou a duração total das emissões (para estados comportamentais) durante

cada tratamento (Lehner 1987).

As imagens gravadas foram analisadas posteriormente através do software BORIS 7.13 (Friard & Gamba 2016), a fim de realizar a categorização dos comportamentos emitidos, bem como a duração e frequência de emissão durante o período de cada tratamento. Os comportamentos foram classificados de acordo com etograma previamente construído com base na observação dos comportamentos emitidos pelos indivíduos em momento anterior ao experimento e com base em dados na literatura para passeriformes (Porto & Piratelli 2005; Smith & Wassmer 2016) (tabela 5). O foco do experimento foi analisar diferenças especialmente nos comportamentos de manutenção, cujo aumento de exibição pode ser um sinal de atividade deslocada e estresse (Deliuss 1988), e comportamentos de alerta e agonísticos, que também podem ser mais frequentes quando há aumento da ansiedade e agressividade, respectivamente (Tarjuelo *et al.* 2015). Os comportamentos de manutenção, apesar de serem frequentes nas aves, quando mais frequentes em contextos de cativeiro são associados maiores níveis de estresse (Neto *et al.* 2021). Além disso, a emissão desses comportamentos de maneira anômala, isto é, sem conexão com os comportamentos exibidos anterior e posteriormente e sem estímulos compatíveis com sua exibição, foram considerados como sinal de atividade deslocada, visto que comportamentos de manutenção, como limpeza das penas, por exemplo, já foram registrados dessa forma em contextos agressivos ou reprodutivos, sendo considerados nesses casos como atividade deslocada (Zeigler 1964).

Além disso, os sinais acústicos obtidos pelo gravador foram analisados por meio do software Raven Pro 1.6 (Cornell Laboratory of Ornithology Bioacoustics Research Program), no qual foram medidos os seguintes parâmetros dos sinais acústicos emitidos pelo animal focal: taxa de emissão (eventos/minuto); Número de notas (e/ou pulsos) por chamada; Frequência dominante (Hz); Frequência 25% e 75% (Hz) (que representa a divisão do chamado em quartis de acordo com o nível de energia contido); e sobreposição dos sinais acústicos e sinais do

modelo acústico (playback) (número de chamados sobrepostos / número total de chamadas emitidas, medido apenas para tratamentos com reprodução acústica).

Tabela 5. Etograma para a espécie *Sporophila maximiliani* contendo a categoria e descrição dos comportamentos exibidos pela espécie.

Categoria	Comportamento	Descrição
Manutenção	Limpeza geral das penas	Manipular penas usando o bico
	Limpeza do bico	Arranhar o bico repetidamente no poleiro
	Bater de asas	Abrir e bater asas parado no poleiro
	Abertura do bico	Abertura do bico para termorregulação, podendo visualizar movimentação na língua
	Tremor de corpo	Abrir asas e tremer o corpo parado no poleiro
Locomoção	Voo	Voar curtas distâncias
	Pulo entre poleiros	Pular entre poleiros e/ou entre outros tipos de apoio (chão da gaiola ou comedouro)
	Andar no poleiro	Andar lateralmente se locomovendo no poleiro
	Dar pulinhos para se locomover lateralmente	Dar pulinhos laterais no poleiro na mesma direção para se locomover
	Alimentação	Comer
Forrageio		Busca por comida no chão ou no poleiro, pulando ou andando
Defecar		Levanta penas da cauda, inclina levemente o corpo e elimina as fezes

	Beber água	Mergulhar o bico dentro do recipiente de água
Alerta	Observar o ambiente	Virar a cabeça e/ou o corpo rapidamente em qualquer direção para observação
	Empoleirar na gaiola	Pousar na gaiola durante movimentação
	Pular no poleiro	Dar pulinhos no poleiro trocando a orientação alternando a orientação
	Esticar o pescoço	Alongar o corpo e o pescoço verticalmente, ficando maior
Sonora	Vocalização longa	Vocalização clássica longa
	Vocalização curta	Vocalização mais curta de chamado ou de confronto
Descanso	Relaxado	Permanecer imóvel no poleiro na mesma posição com a cabeça no mesmo sentido do corpo
Comportamento agonístico	Confronto	Voo em direção ao aparelho celular para "confrontar" possível ameaça

Análise de dados

Para testar a hipótese de que a degradação em exibições acústicas ou visuais aumenta a disposição de agressividade e resulta em conflito motivacional, foi utilizada uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) (Anderson 2001), tendo o número de emissões de comportamentos ou a duração total das emissões como variável resposta, os tratamentos (cinco níveis para sinais acústicos e três níveis de sinais visuais) como variáveis preditoras e os indivíduos como componente aleatório (medidas repetidas). Também foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) (Jolliffe 2002) para visualização gráfica dos padrões encontrados e identificação dos comportamentos mais influentes em cada

categoria. Para esses comportamentos mais influentes também utilizamos o Teste de Friedman (Siegel & Castellan 1988), um método não-paramétrico para comparação de uma variável com distribuição não-normal entre grupos e com medidas repetidas, a fim de investigar se esse comportamento pode resumir o efeito observado e ser diagnóstico para a identificação de atividade deslocada, ansiedade e estresse. Em seguida, realizamos um teste de post-hoc de Dunn (Dunn 1961) para identificar as diferenças encontradas. Para todas as análises, os dados passaram pela transformação de Hellinger, para reduzir a importância de zeros na matriz, minimizando erros na detecção de efeitos (Legendre & Gallagher 2001). Também realizamos previamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, adotando as demais análises após verificar que os dados não apresentavam distribuição normal.

Nessas análises, nós descartamos os comportamentos “andar no poleiro”, “forragear”, “beber água”, “vocalização longa” e “confronto” para ambos os modelos acústico e visual, além dos comportamentos “defecar”, “limpeza das penas” e “dar pulinhos para se locomover lateralmente” para o experimento visual, uma vez que foram comportamentos exibidos por 30% ou menos dos indivíduos e, assim, consideramos como comportamentos raros. Além disso, também excluímos de todas as análises o comportamento “bater de asas”, uma vez que ele apresentou baixo efeito e não encontramos função exata para esse comportamento na literatura. Também removemos das análises o comportamento “voo curto” e “dar pulinhos para se locomover lateralmente”, pois esses comportamentos apresentaram alta correlação com o comportamento “pular entre poleiros” e “autolimpeza”, respectivamente.

Por fim, para testar a hipótese de que a perda de informação altera as características da vocalização, também foi realizada uma análise PERMANOVA e PCA, utilizando os parâmetros acústicos como variáveis respostas e os tratamentos acústicos e visuais como variáveis preditoras.

Todas as análises foram realizadas no software R Studio (R Core Team 2021),

utilizando os pacotes “dplyr” (Wickham *et al.* 2021), “vegan” (Oksanen *et al.* 2020) e “Factoshiny” (Vaissie *et al.* 2021). Seguindo as boas práticas do uso e relatório do p-valor proposto por Wasserstein (2016), interpretamos o p-valor como uma variável contínua ao invés de binária com limiar de corte em $p < 0.05$ (princípio 3 da declaração ASA sobre p-valor, Wasserstein 2016). Assim, interpretamos nossos valores de p como indicadores da incompatibilidade de nossos dados com o modelo estatístico (princípio 1 da declaração ASA sobre p-valor, Wasserstein 2016) e consideramos que nossos dados podem fornecer diferentes níveis de suporte a nossa hipótese (princípio 2 da declaração ASA sobre p-valor, Wasserstein 2016), considerando que: $p < 0.1$ demonstra um fraco suporte (tendência), $p < 0.05$ demonstra suporte moderado e $p < 0.01$ demonstra forte suporte.

Resultados

Comunicação sonora

Não observamos alterações no repertório comportamental de *Sporophila maximiliani* em função da degradação do sinal acústico ($F_{4,90} = 0.33$, $p = 0.95$) ou do sexo ($F_{1,90} = 5.28$, $p = 0.97$). Entretanto, encontramos evidências de que a perda de informação sonora afetou a frequência de exibição do comportamento “tremor do corpo” ($Q = 9.48$, $p = 0.05$), o qual foi exibido sete vezes mais durante o tratamento de degradação moderada do sinal (25% de sobreposição com ruído branco; $\mu_{25\%} = 1.85$ exibições/5 min) do que durante o controle negativo ($\mu_{0\%} = 0.25$ exibições/5 min). Também observamos que a perda de informação resultou em uma tendência de maior emissão do comportamento “abertura do bico” ($Q = 8.58$, $p = 0.07$), o qual foi exibido cinco vezes mais durante o tratamento com leve degradação do sinal (10% de sobreposição com ruído branco; $\mu_{10\%} = 1.5$ exibições/5 min) e durante o controle positivo (100% de sobreposição com ruído branco; $\mu_{100\%} = 1.6$ exibições/5 min) do que durante no controle negativo ($\mu_{0\%} = 0.3$ exibições/5 min) (figura 13). Contudo, para

ambos os comportamentos, não conseguimos detectar as diferenças pelo teste post-hoc de Dunn.

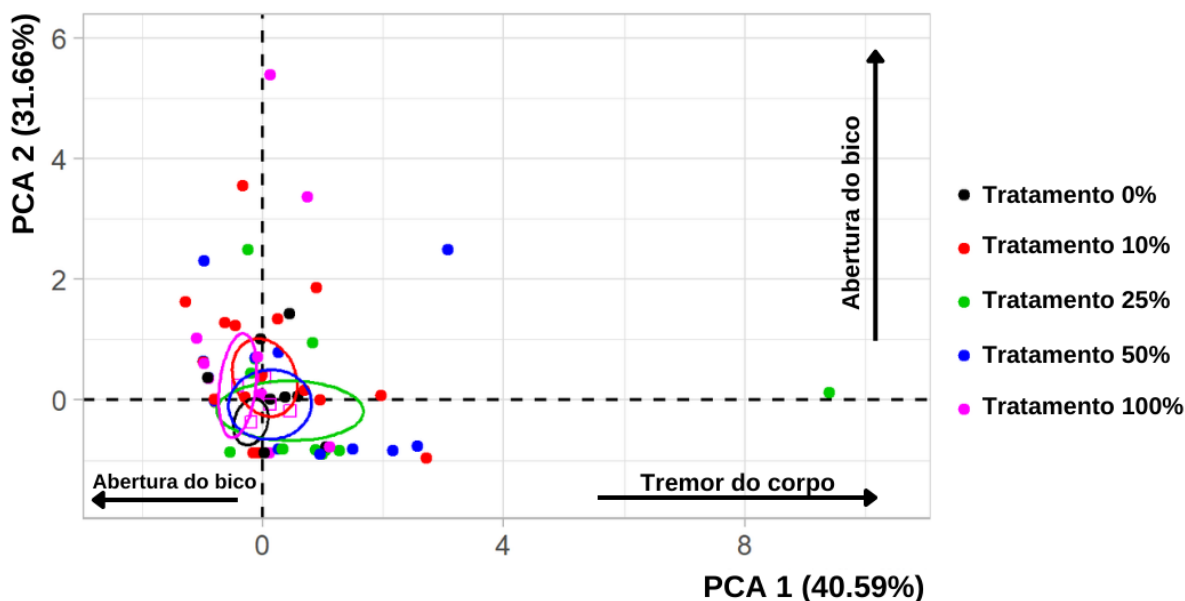


Figura 13. Análise de componentes principais dos comportamentos de manutenção em diferentes níveis de degradação da informação sonora (Tratamento_0 = sem sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_50 = 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e Tratamento_100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco). Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação sonora, e as setas representam os comportamentos de manutenção que mais explicam a variabilidade de cada eixo.

Não observamos nenhum comportamento agressivo durante os tratamentos sonoros. Contudo, para os indivíduos que vocalizaram durante o experimento, observamos que o nível de informação sonora dos tratamentos tem efeito sobre os parâmetros acústicos dos chamados emitidos ($F_{4,286} = 3.68$, $p = 0.04$) (figura 14). Os chamados emitidos durante os tratamentos com degradação do sinal moderada e pesada (25% e 50%) apresentaram um aumento nos valores de frequência dominante de 5.3% e 7.8% ($\mu_{25\%} = 3183.8$ Hz; $\mu_{50\%} = 3259.5$ Hz) e um aumento na frequência em 25% da entropia do chamado de 10.3% e 8.6% ($\mu_{25\%} = 2958.1$ Hz; $\mu_{50\%} = 2911.3$ Hz), respectivamente, em comparação ao controle negativo ($\mu_{0\%} = 3022.2$ Hz

para a frequência dominante e $\mu_{0\%}=2681.7$ Hz para a frequência em 25% da entropia) (figura 14). Em contrapartida, os chamados emitidos durante o tratamento com leve degradação do sinal (10% de sobreposição com ruído branco) e no controle positivo (100% de sobreposição com ruído branco) mostraram redução de 9.7% e 4.4% no valor de frequência dominante ($\mu_{10\%}=2729.2$ Hz; $\mu_{100\%}=2889.7$ Hz) e redução de 5.6% e 3.7%, respectivamente, no valor de frequência em 25% da entropia do chamado ($\mu_{10\%}=2531.7$ Hz; $\mu_{100\%}=2611.2$ Hz), em relação ao controle negativo. Também notamos que durante o tratamento com degradação do sinal pesada (50% de sobreposição com ruído branco), a variação nos valores de frequência entre os indivíduos foi maior, com os chamados mais graves também ocorrendo nesse tratamento (figura 14). Já o tratamento 0% apresenta valores de frequência intermediários, que diferem da frequência mais grave dos tratamentos 10% e 100% e da frequência mais aguda do tratamento 25% (figura 14). Também encontramos diferenças significativas entre as vocalizações de machos e fêmeas ($F_{1,286} = 6.69$, $p < 0.01$), de modo que fêmeas apresentaram chamado mais agudo (de maior frequência) do que os machos (figura 15).

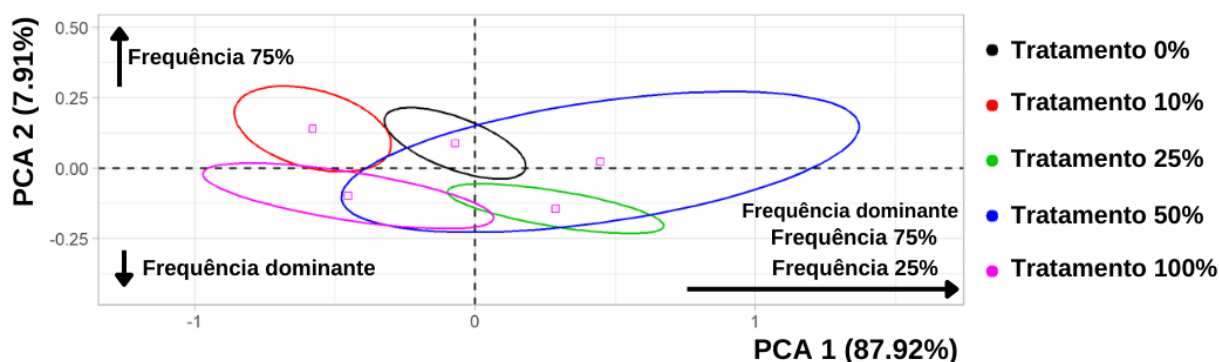


Figura 14. Análise de componentes principais dos parâmetros acústicos em diferentes níveis de degradação da informação sonora (Tratamento_0 = sem sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, Tratamento_50 = 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e Tratamento_100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco). As setas representam o padrão do efeito dos parâmetros acústicos - frequência dominante, frequência 25% e frequência 75% - sobre os dois principais componentes de variabilidade dos dados.

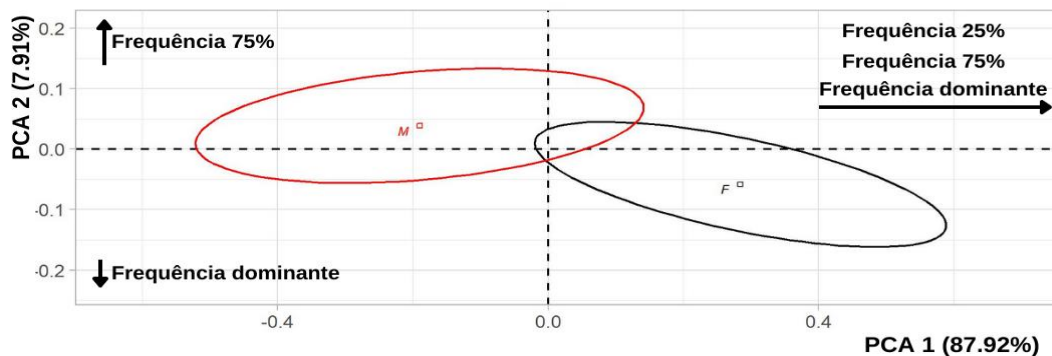


Figura 15. Análise de componentes principais dos parâmetros acústicos em diferentes níveis de informação sonora agrupados por sexo (M = machos e F = fêmeas). As setas representam o padrão do efeito dos parâmetros acústicos - frequência dominante, frequência 25% e frequência 75% - sobre os dois principais componentes de variabilidade dos dados.

Não identificamos efeito do nível de degradação de sinais acústicos sobre a taxa de emissão dos chamados ($Q = 3.98$, $p = 0.41$) e sobre o número de chamados sobrepostos ao playback ($Q = 2.74$, $p = 0.60$). Somente a porcentagem de chamados emitidos pelos indivíduos foi diferente entre os tratamentos ($Q = 11.16$, $p = 0.02$), apresentando uma maior frequência de emissão no tratamento com degradação moderada do sinal (25% de sobreposição com ruído branco) (figura 16), porém tais diferenças não foram detectadas no post-hoc de Dunn.

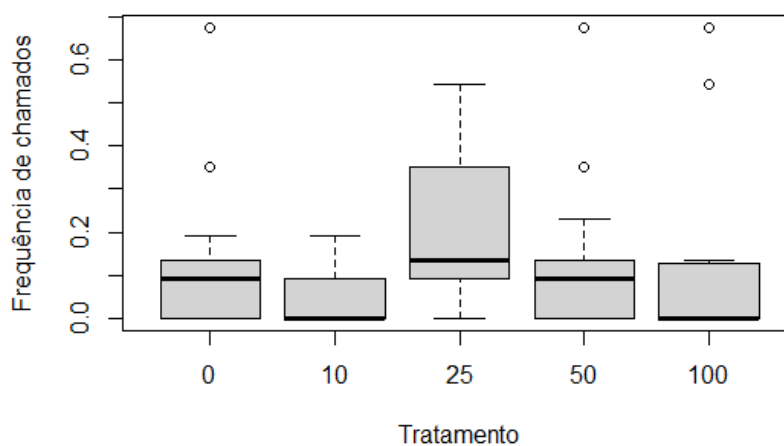


Figura 16. Porcentagem de vocalizações em cada um dos tratamentos de experimento sonoro (0 = sem sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 10 = 10% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 25 = 25% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco, 50

= 50% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco e 100 = 100% de sobreposição do sinal acústico com ruído branco).

Comunicação visual

A perda de informação visual durante a comunicação e o sexo dos indivíduos não afetaram o conjunto geral de comportamentos exibidos por *Sporophila maximiliani* durante o experimento ($F_{2,54} = 1.27$, $p = 0.16$; $F_{1,54} = 1.24$, $p = 0.29$). Contudo, observamos que o nível de informação visual afetou a emissão dos comportamentos de alerta ($F_{2,54} = 2.76$, $p = 0.04$), os quais foram emitidos com menor frequência durante o tratamento com visão obstruída (100% do espelho coberto) (figura 17). Já na presença de sinais visuais (visão desobstruída e parcialmente obstruída), os comportamentos de alerta foram mais utilizados, mas a quantidade de informação modulou a utilização dos comportamentos. No tratamento com visão parcialmente obstruída (50% do espelho coberto), observamos que o tempo de emissão do comportamento “observar o ambiente” foi 5,9% maior que no tratamento com visão desobstruída ($\mu_{50\%} = 214.88$ segundos/ 5 min; $\mu_{0\%} = 202.9355$ segundos/ 5 min), enquanto neste tratamento (0% do espelho coberto) os indivíduos foram mais ativos, movimentando-se mais, e exibiram 84,2% mais o comportamento “esticar o pescoço” ($\mu_{0\%} = 1.75$ displays/5 min; $\mu_{50\%} = 0.95$ exibições/5 min) e 5.2% mais o comportamento “pular no poleiro alternando a orientação” ($\mu_{0\%} = 3.05$ displays/5 min; $\mu_{50\%} = 2.9$ exibições/5 min) do que durante o tratamento com visão parcialmente obstruída (50% do espelho coberto) (figura 17). O sexo também influenciou a emissão dos comportamentos, de modo que as fêmeas mostraram uma tendência de gastar mais tempo exibindo o comportamento “observar o ambiente” e exibir com maior frequência o comportamento “esticar o pescoço”, enquanto os machos exibiram com maior frequência o comportamento “pular alternando a orientação” ($F_{1,54} = 2.62$, $p = 0.07$, figura 18).

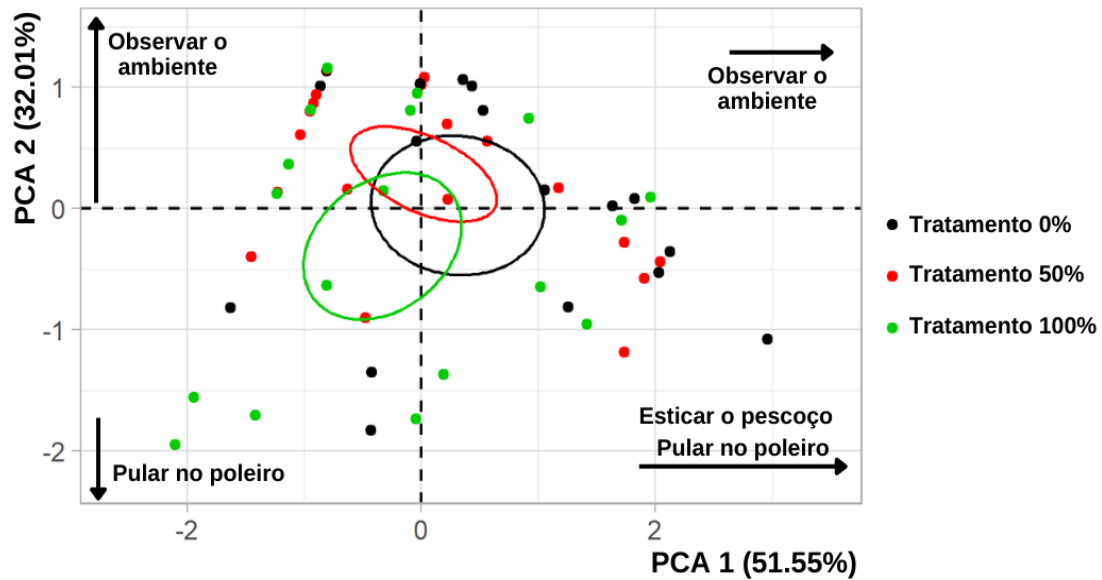


Figura 17. Análise de componentes principais dos comportamentos de alerta em diferentes níveis de degradação da informação visual (Tratamento_0 = espelho descoberto, Tratamento_50 = 50% de obstrução do espelho e Tratamento_100 = 100% do espelho coberto). Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação visual, e as setas representam os comportamentos de alerta que mais explicam a variabilidade de cada eixo.

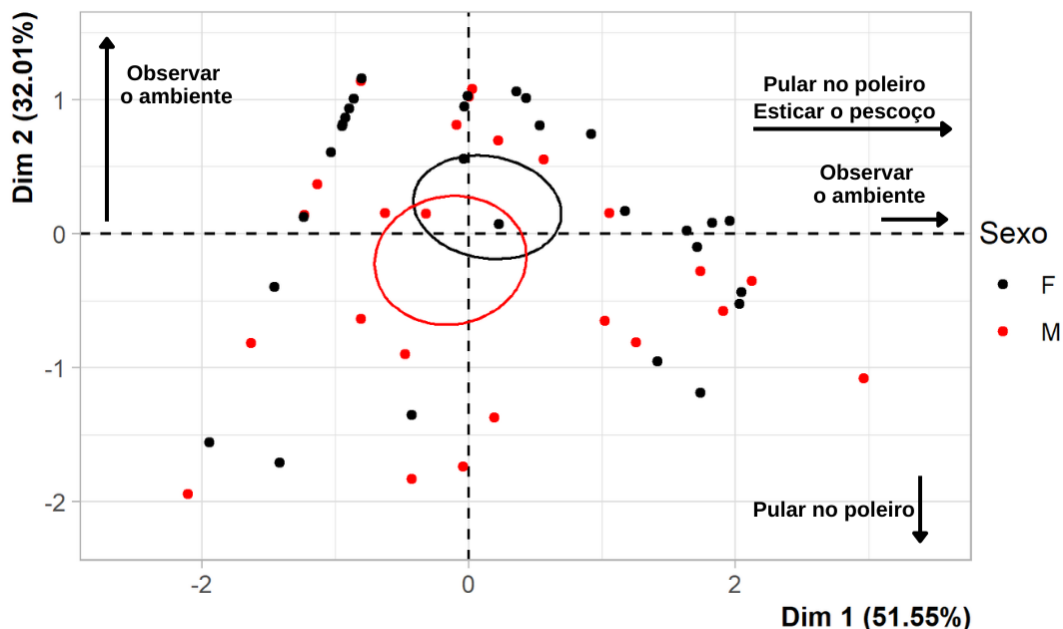


Figura 18. Análise de componentes principais dos comportamentos de alerta em cada um dos sexos (M = machos e F = fêmeas). Os pontos representam cada indivíduo, de vermelho os machos e de preto as fêmeas, e as setas representam os comportamentos de alerta que mais explicam a variabilidade de cada eixo.

Além disso, detectamos uma tendência de exibição dos comportamentos de

manutenção em relação ao nível de informação visual recebido, de modo que houve maior resposta comportamental nos tratamentos com informação visual quando comparados ao controle, apesar de termos encontrado um fraco suporte e tamanho de efeito ($F_{2,54} = 0.91$, $p = 0.08$). Tal categoria inclui os comportamentos de limpeza, abertura do bico e tremor do corpo, todos os quais foram exibidos com maior frequência nos tratamentos com visão desobstruída (0% do espelho coberto) e parcialmente obstruída (50% do espelho coberto) (figura 19). Contudo, em uma análise individualizada de cada um desses comportamentos observamos que os sinais visuais afetaram principalmente a exibição do comportamento “tremor do corpo” ($Q = 6.06$, $p = 0.05$), que foi duas vezes mais frequente durante o tratamento com visão desobstruída (0% do espelho coberto) do que nos outros tratamentos ($\mu_{0\%} = 0.7$ exibições/5 min; $\mu_{\text{geral}} = 0.35$ exibições/5 min), apesar de não termos detectado essa diferença no post-hoc de Dunn.

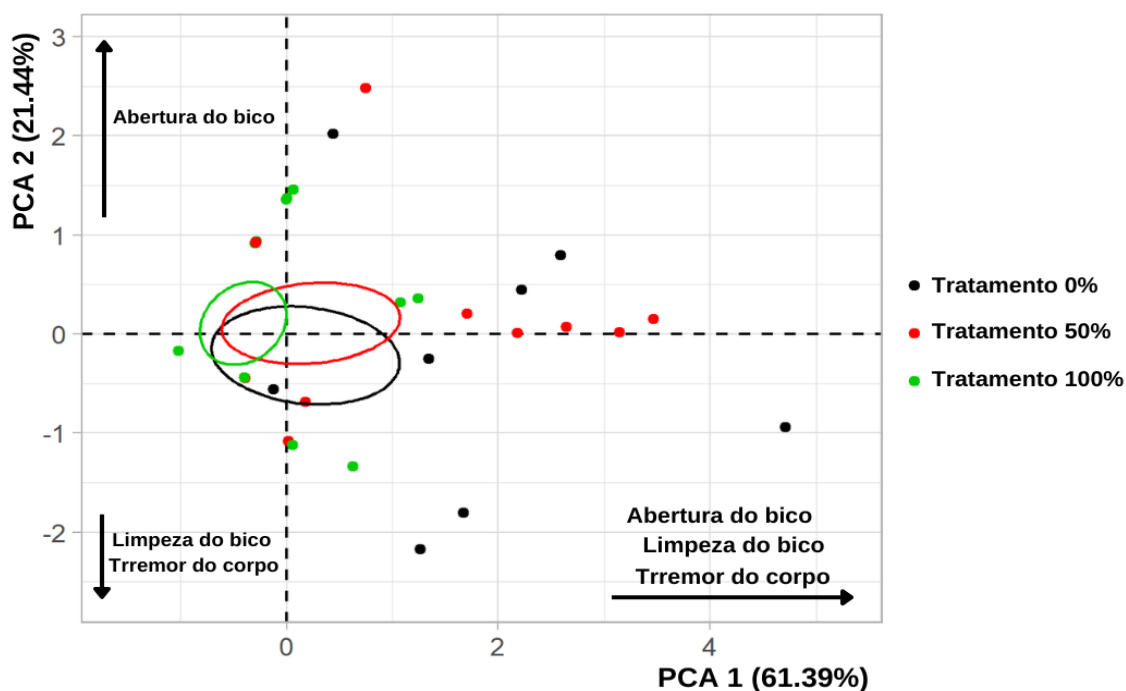


Figura 19. Análise de componentes principais dos comportamentos de manutenção em contexto de interação comportamental visual. Os pontos representam cada indivíduo, colorido de acordo com o nível de informação visual, e as setas representam os comportamentos de manutenção que mais explicam a variabilidade de cada eixo.

Por fim, também não constatamos alterações nos parâmetros acústicos dos chamados em função dos diferentes níveis de informação visual para aqueles indivíduos que vocalizaram durante o experimento ($F_{2,35} = 0.23$, $p = 0.87$).

Discussão

Investigamos se a perda de informação transmitida por sinais acústicos ou visuais afeta as respostas comportamentais de indivíduos de *Sporophila maximiliani*. Evidenciamos que a frequência, duração e características dos sinais emitidos são diferentes entre os níveis de integridade do sinal. Como prevemos em nossa hipótese, em condição de perda de informação, o bicudo apresenta aumento na exibição de comportamentos de manutenção e alerta, que sinalizam estresse, aumento da ansiedade e conflito motivacional. Além disso, apesar de não identificarmos comportamentos agressivos, detectamos alterações no número e frequência de pico das vocalizações da espécie, que pode estar associada a uma motivação agressiva e/ou de medo.

Durante a comunicação sonora, o bicudo responde à informação incompleta com um aumento na frequência de exibição de comportamentos de manutenção. Quando exposto aos sinais acústicos com interferência moderada, o *S. maximiliani* apresentou maior exibição de comportamentos de manutenção, com uma exibição exagerada do comportamento de “tremor do corpo”. De forma semelhante, também houve tendência de aumento de comportamentos de manutenção sob baixa interferência no sinal ou ruído branco isolado. Essa categoria é composta por comportamentos com funções regulatórias da fisiologia e bem-estar das aves, como, por exemplo, a manutenção da temperatura (comportamento de abrir o bico) e o alinhamento das penas (comportamento de tremor do corpo) (Ferreira *et al.* 2022; Neto *et al.* 2021). Contudo, o aumento exagerado na exibição de alguns comportamentos de manutenção em condições de

cativeiro, superior a 50% como ocorreu em nosso estudo, também é, geralmente, associado ao nível de estresse, como comportamentos de “tremor do corpo” e o alongamento das pernas e asas (Neto et al, 2021), ou à ausência de estímulos para outros comportamentos, como o aumento da “autolimpeza” (Herculano *et al.* 2013). Além disso, a manifestação desses comportamentos ocorreu em contextos nos quais não eram esperados, como em contexto de defesa territorial, em resposta à vocalização de outro indivíduo da mesma espécie. Por essas razões, interpretamos essas respostas comportamentais como atividade deslocada (Zeigler 1964). Em algumas situações a intensidade do estímulo externo é incapaz de promover uma forte motivação e ocorre a excitação simultânea de conjuntos distintos de comportamentos (Tinbergen 1952). Nessas condições, pode ocorrer a mudança repentina de comportamento, como uma quebra de motivação momentânea (Tinbergen 1952). Assim, é mais provável que a emissão dos comportamentos de manutenção (abertura do bico e tremor do corpo) durante nossos experimentos representem atividades deslocadas, como já reportado para outras espécies de aves (Delius 1988). Como predizemos, em contexto de informação sonora parcial, especialmente sob moderada degradação do sinal em que a ambiguidade sobre os resultados da interação é maior, aumenta a chance dos indivíduos entrarem em um estado de conflito motivacional.

Em situação de perda de informação parcial, como degradação moderada e pesada do sinal, os chamados foram mais agudos do que em situação de informação completa. Além disso, durante o contexto de degradação pesada do sinal, a variação nas frequências dos chamados foi elevada, sugerindo uma dificuldade dos indivíduos interpretarem a informação recebida, de modo que as respostas acústicas entre os indivíduos foram muito distintas e, até mesmo, aleatórias. Já em situação de pouca perda de informação, os chamados emitidos apresentaram menores valores de frequências. A produção de sons de baixa frequência para muitas aves está associada a uma maior agressividade, enquanto sons mais agudos indicam

medo ou apaziguamento (Morton 2000). Assim, encontramos evidências de que a elevação da frequência dos chamados dos bicudos em contexto de perda de informação é uma resposta ao maior estresse e conflito motivacional, mas que, ao contrário do que predizem, está associada a um contexto de medo. Já a agressividade dos indivíduos prevalece em contexto no qual a interpretação da informação é menos prejudicada e, portanto, a motivação para uma defesa territorial é maior (Anderson *et al.* 2012), uma vez que sons mais graves emitidos por aves têm se mostrado uma sinalização honesta de ataque por esses indivíduos (Holf & Hazlett 2010; Akçai *et al.* 2009). Assim, em *S. maximiliani*, o aumento da incerteza quanto à informação recebida por interferências no sinal parece gerar maior conflito motivacional e medo. Por outro lado, o maior número de chamados emitidos pelos indivíduos em contexto de informação parcialmente reduzida também pode ser um indicativo de agressividade. Em situações que incitam a agressividade, as aves podem alterar padrões de vocalização, como aumentar o número de chamados, reduzir o período de latência e mudar a amplitude e frequência (Lovell & Lein 2004). Assim, em contexto de perda de informação parcial a agressividade desses indivíduos pode se manifestar pelo número de chamados, ao invés de pela alteração da frequência, que indicaria maior motivação, pois a incerteza da informação pode gerar um conflito na tomada de decisão acerca das estratégias comportamentais a serem ativadas (Samia *et al.* 2013; Steimer 2002).

Na comunicação visual, de maneira semelhante ao que ocorreu em resposta a sinais acústicos, ocorreu uma tendência de aumento na exibição de comportamentos de manutenção pelos bicudos em contexto de degradação pesada do sinal, o que novamente indica um estresse e que os comportamentos eram atividades deslocadas. Contudo, diferente de nossa predição, o estresse foi maior quando tinham a informação completa sobre seu competidor (tratamento com visão desobstruída), no qual observamos a maior frequência de exibição do comportamento “tremor do corpo”. Além disso, também encontramos alterações na emissão dos

comportamentos de alerta mediadas pelo nível de qualidade da informação. Em situação em que não há a presença de um competidor co-específico (visão obstruída), a emissão de comportamentos de alerta foi reduzida, uma vez que não havia indícios de perigo iminente (Sapolsky *et al.* 2000). Por outro lado, na presença de um outro indivíduo da espécie, o animal focal passou mais tempo emitindo comportamentos de alerta, apesar de a ambiguidade (i.e., tratamento de visão parcialmente obstruída) apenas ter aumentado o tempo do comportamento “observar o ambiente”. Ainda, em situação de visão total do competidor, o animal foca esteve mais ativo, emitindo com maior frequência os comportamentos de “esticar o pescoço” e “pular no poleiro alterando a orientação”. A maior vigilância e movimentação podem estar associados a maior territorialidade, o que é esperado em passeriformes quando na presença de um competidor (Sapolsky *et al.* 2000). Contudo, não podemos afirmar que a modulação da resposta comportamental dos animais focais em nosso experimento foi motivada pelo aumento da agressividade, uma vez que o tamanho da arena experimental não permite grandes movimentações e o padrão encontrado também poderia estar associado à intenção de fuga.

Assim, os animais expostos à informação visual completa ou parcial aumentaram a exibição de comportamento de alerta, o que interpretamos como um esforço adicional para obter mais informações sobre as condições e força do competidor. Contudo, ao contrário do que predizemos, em contexto de comunicação visual, ver um competidor foi mais estressante e elicitou maior atividade de alerta do que ter informações visuais parciais, situação na qual o comportamento que prevalece é o de buscar por mais pistas. Esse padrão parece estar relacionado a uma estratégia de reação do bicudo, em que prevalece a busca por mais informações ao invés da emissão de comportamentos que têm um maior custo energético sem ter pistas suficientes da necessidade de tal resposta (Samia *et al.* 2013; Shuhama *et al.* 2005), bem como sem informações sobre a qualidade de seu competidor (Morton 2000). Assim, o padrão comportamental de *S. maximiliani* na escolha de estratégias de ação pode ser diferente

dos apresentados por anuros, nos quais a agressividade parece ser a principal estratégia em contextos nos quais não há informações precisas sobre o oponente e os riscos da interação (Furtado & Nomura 2014). É possível que outros comportamentos, além da agressividade, possam evoluir para lidar com a incerteza sobre a informação, como o medo.

Notamos ainda que a resposta comportamental do bicudo difere em função da modalidade da informação recebida. A expressão de territorialidade e vigilância é maior frente a imagem desobstruída de seu oponente, bem como o maior estresse, evidenciado pelas atividades deslocadas. Contudo, quando a informação é recebida por sinais acústicos, a perda de informação resulta em maior conflito motivacional e medo nos indivíduos, enquanto a agressividade é maior quando o sinal acústico não possui interferências. Esse padrão pode estar associado à morfologia de *Sporophila maximiliani*, que não apresenta variações entre regiões de sua ocorrência (Ubaid *et al.* 2018), mas apresenta uma grande variação na vocalização, acentuada pelo processo de domesticação (Marques 2009). Essa variação nos sinais acústicos pode reduzir a agressividade (Ubaid *et al.* 2018), já que os indivíduos necessitam de mais informações sobre o sinal para comparar com o seu próprio chamado e avaliar se o emissor é um potencial competidor ou não. Assim, o sinal visual é pouco ambíguo, já que a morfologia apresenta pouca variação, e resulta em forte resposta dos animais, enquanto na comunicação acústica as interferências nos sinais resultam em maior estresse, devido à dificuldade na comparação entre o sinal recebido e o produzido pelo indivíduo (reconhecimento do dialeto, Ubaid *et al.* 2018).

Nós mostramos que a perda de informação durante a comunicação promove alteração comportamentais em *Sporophila maximiliani*, que pode ter efeitos diretos sobre os indivíduos, uma vez que a estrutura e integridade dos sinais é de extrema importância para a transmissão da informação e geração de uma resposta pelo receptor (Vielliard & Silva 2010; Seyfarth *et al.* 2010). Essas alterações estão relacionadas a estratégias comportamentais, morfologia e

aspectos vocais da espécie, os quais diferenciam-se entre os grupos animais (Furtado & Nomura 2014). No caso dos bicudos, mostramos que, apesar do conflito motivacional ocasionado, a agressividade não foi um padrão eminente, o que pode estar relacionado às características e estratégias reativas da espécie ou grupo. Além disso, também pode haver influência de outros fatores não avaliados, como a variação no canto (dialeto) dos indivíduos, que foram criados em diferentes localidades, e o canto reproduzido na natureza. Também é possível que esses indivíduos, apesar de territorialistas, tenham sua resposta afetada pelo condicionamento local, uma vez que em cativeiro são mantidos juntos, podendo ter sua agressividade minimizada pela habituação, especialmente frente a sinais visuais. Assim, acreditamos que estudos com outras espécies de aves podem contribuir para fortalecer os conhecimentos acerca do comportamento desse grupo, principalmente em contextos de degradação da informação, a fim de identificar padrões e consequências comuns da interferência no sinal.

Além disso, descrevemos o repertório comportamental do *Sporophila maximiliani* e observamos que essa espécie parece capaz de ajustar seu comportamento frente às alterações do contexto em que se encontra, assim como outros passeriformes (Halfwerk & Slabbekoorn 2009; Nemeth *et al.* 2013; Villain *et al.* 2016). A modulação da vocalização durante a experimentação sugere que o bicudo é responsivo às alterações sonoras e estruturais do ambiente, mesmo no caso do ruído branco em que não é possível evitar a perda de informação. Assim, consideramos importante que estudos com a espécie investiguem essa plasticidade do sinal e resiliência a ruídos antrópicos, dada a vulnerabilidade da espécie que tem sido alvo de programas de reintrodução na natureza.

Conclusões gerais

Estudos experimentais que investigam o efeito de alterações na sinalização ou alterações contextuais sobre a resposta comportamental dos indivíduos durante a comunicação

estão crescendo no mundo, porém com um viés geográfico, taxonômico e metodológico. Isso evidencia a existência de lacunas, como regiões menos priorizadas e espécies pouco visadas, como espécies ameaçadas de extinção. Além disso, o foco nas alterações na sinalização que interferem na qualidade da informação ainda representa uma pequena parcela desses estudos, mesmo tais pesquisas revelando impactos da mudança na qualidade do sinal sobre o comportamento dos indivíduos e, portanto, a importância do tema para a conservação da biodiversidade. Durante nossos experimentos também constatamos um efeito da perda de informação sobre as interações sociais da espécie *Sporophila maximiliani*, resultando em alterações comportamentais acentuadas em contexto de informação parcialmente perdida. O recebimento de uma informação parcial pode causar confundimento nos indivíduos, gerando ansiedade e medo, uma vez que a capacidade de avaliar os riscos da interação é prejudicada. Portanto, destacamos que a integridade do sinal é um requisito importante para a manutenção das interações sociais e a perda de informação pode gerar danos em processos vitais dos animais. Encorajamos novos estudos sobre o efeito da perda de informação com outras espécies, a fim de compreender possíveis padrões nas alterações comportamentais dos diferentes grupos, contribuindo para o conhecimento sobre as estratégias de reação de cada grupo e como mitigar os efeitos prejudiciais sobre eles.

Referências

- Audacity Team. 2021. Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder [Computer application]. Version 3.0.2. Disponível em: <https://audacityteam.org/>.
- Aubin T, Mathevon N, Silva ML. 2014. Species identity coding by the song of a rainforest warbler: an adaptation to long-range transmission. *Acta Acust united Ac* 100:748-758.
- Akçay Ç, Wood WE, Searcy WA, Templeton CN, Campbell SE, Beecher MD. 2009. Good neighbour, bad neighbour: song sparrows retaliate against aggressive rivals. *Anim. Behav.* 78(1):97–102.
- Anderson MJ. 2001a. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26:32–46.

- Anderson R, Searcy WA, Hughes M, Nowicki S. 2012. The receiver-dependent cost of soft song: a signal of aggressive intent in songbirds. *Anim. Behav.* 83:1443-1448.
- Bandler R, Price JL, Keay KA. 2000. Brain mediation of active and passive emotional coping. In: Mayer EA, Sapers CB, eds. *Progress in Brain Research*. Vol 122. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science BV:333-349.
- Barber JR, Crooks KR, Fristrup KM. 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends Ecol. Evol.* 25(3):180-189.
- Bee MA, Gerhardt HC. 2001a. Habituation as a mechanism of reduced aggression between neighboring territorial male bullfrogs (*Rana catesbeiana*). *J. Comp. Psychol.* 115(1):68-82.
- Bee MA, Gerhardt HC. 2001b. Neighbour–stranger discrimination by territorial male bullfrogs (*Rana catesbeiana*): I. Acoustic basis. *Anim. Behav.* 62:1129-1140.
- Benus RF, Bohus B, Koolhaas JM, van Oortmerssen GA. 1991. Heritable variation for aggression as a reflection of individual coping styles. *Experientia* 47:1008-1019.
- Blumstein DT, Whitaker J, Kennen J & Bryant GA. 2017. Do birds differentiate between white noise and deterministic chaos? *Ethology.* 123(12):966-973.
- Boivin NL, Zederer MA, Fuller DQ, Crowtherf A, Larsong G, Erlandsonh JM, Denhami & Petraglia MD. 2016. Ecological consequences of human niche construction: Examining long-term anthropogenic shaping of global species distributions. *PNAS.* 113:6388-6396.
- Bolhuis JE, Schouten WGP, Schrama JW, Wiegant M. 2005. Individual coping characteristics, aggressiveness and fighting strategies in pigs. *Anim. Behav.* 69:1085-1091.
- Bradzyński SM. 2010. Vocalization as an ethotransmitter: introduction to the Handbook of Mammalian Vocalization. In: *Handbook of mammalian vocalization: an integrative neuroscience approach*. Elsevier Ltd., Amsterdam.
- Bruintjes R & Radford AN. 2013. Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. *Anim. Behav.* 85: 1343e1349
- Brumm H, Todt D. 2002. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Anim. Behav.* 63:891-897.
- Bruschini C, Cervo R, Turillazzi S. 2006. Evidence of alarm pheromones in the venom of *Polistes dominulus* workers (Hymenoptera: Vespidae). *Physiol. Entomol.* 31, 286-293.
- Caldart VM. 2015. *Ecologia comportamental de Crossodactylus schmidtii gallardo, 1961 (anura, hylodidae): atividade reprodutiva, comunicação acústica, visual e multimodal.* Universidade Federal de Santa Maria.

- Calisi RM & Bentley GE. 2009. Lab and field experiments: Are they the same animal? *Horm. Behav.* 56:1-10.
- Catchpole CK, Slater PJB. 2008. *Bird song: biological themes and variations*. Cambridge University Press, New York.
- Chadegani AA, Salchi H, Yunus MM, Farhadi H, Fooladi M, Farhadi M, Ebrahim NA. 2013. A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus Databases. *Asian Social Science.* 9(5):18-26.
- Choi EA, Husi c M, Millan EZ, Gilchrist S, Power JM, dit Bressel PJR, McNally GP. 2022. A Corticothalamic Circuit Trades off Speed for Safety during Decision-Making under Motivational Conflict. *J Neurosci.* 42(16):3473–3483.
- Cornec C, Hingrat Y, Aubin T, Rybak F. 2017. Booming far: the long-range vocal strategy of a lekking bird. *Royal Soc. Open Sci.* 4(8):170594.
- Costa RN, Nomura F. 2014. Avalia o de risco e plasticidade comportamental limitada em girinos de *Rhinella ornata* (Anura, Bufonidae). *Iheringia, Série Zoologia.* 104:162-167.
- Cynx J, Lewis R, Tavel B, Tse H. 1998. Amplitude regulation of vocalizations in noise by a songbird, *Taeniopygia guttata*. *Anim. Behav.* 56:107–113.
- Dally JM, Emery NJ, Clayton NS. 2010. Avian theory of mind and counter espionage by food-caching western scrub-jays (*Aphelocoma Californica*). *Eur J Dev Psychol.* 7(1):17–37.
- Dawkins MS, Halliday TR, Dawkins R. 1991. *The Tinbergen legacy*. Chapman and Hall, London.
- Delius JD. 1988. Preening and associated comfort behavior in birds. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 252:40-55.
- Der gnaucourt S, Poirier C, Van der Kant A, Van der Linden A & Gahr M. 2013. Comparisons of different methods to train a young zebra finch (*Taeniopygia guttata*) to learn a song. *J. Physiol.* 107:210-218.
- Donaldson MR, Burnett NJ, Braun DC, Suski CD, Hinch SG, Cooke SJ & Kerr JT. 2016. Taxonomic bias and international biodiversity conservation research. *FACETS.* 1:105–113.
- Dunn OJ. 1961. Multiple comparisons among means. *JASA.* 56:52-64.
- Ekdale B, Rinaldi A, Ashfaquzzaman M, Khanjani M, Matanji F, Stoldt R & Tully M. 2022. Geographic Disparities in Knowledge Production: A Big Data Analysis of Peer-Reviewed Communication Publications from 1990 to 2019. *Int. J. Commun.* 16: 2498–2525.
- El-Ghany NMA. 2020. Pheromones and Chemical Communication in Insects. In: *Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production*. IntechOpen,

London.

- Elie JE, Theunissen FE. 2020. The neuroethology of vocal communication in songbirds: production and perception of a call repertoire. In: Sakata JT, Woolley SC, Fay RR, Popper AN. The neuroethology of birdsong. Springer Handbook of Auditory Research, Cham, Switzerland.
- Falk JL. 1977. The origin and function of adjunctive behavior. *Anim. learn. behav.* 5 (4):325-335.
- Ferreira JA, Valentim JK, Machado LC, Oliveira HF. 2022. Elaboração de etograma para poedeiras criadas em gaiolas. *Rev. Ciênc. Agron.* 21(2):135-147.
- Fichtel C. 2007. Avoiding Predators at Night: Antipredator Strategies in Red-Tailed Sportive Lemurs (*Lepilemur ruficaudatus*). *Am. J. Primatol.* 69:611-624.
- Font E, Carazo P. 2010. Animals in translation: why there is meaning (but probably no message) in animal communication. *Anim. Behav.* e1-e6.
- Friard O, Gamba M. 2016. BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods Ecol. Evol.* 7:1325-1330.
- Frohlich M, Sievers C, Townsend WS, Gruber T, Van Schaik CP. 2019. Multimodal communication and language origins: integrating gestures and vocalizations. *Biol. Rev.* 94: 1809–1829.
- Furtado R, Nomura F. 2014. Visual signals or displacement activities? The function of visual displays in agonistic interactions in nocturnal tree frogs. *Acta Ethol* 17:9-14.
- Gavel Y; Idelid L. 2007. Web of Science and Scopus: a journal title overlap study. Emerald Group Publishing Limited. 32(1):8-21.
- Giasson LOM, Haddad CFB. 2006. Social interactions in *Hypsiboas albomarginatus* (Anura: Hylidae) and the significance of acoustic and visual signals. *J. Herpetol.* 40:171-180.
- Gonyou HW. 1994. Why the Study of Animal Behavior Is Associated with the Animal Welfare Issue. *J. Anim. Sci.* 72:2171-2177.
- Goodwin SE, Shriver WG. 2010. Effects of Traffic Noise on Occupancy Patterns of Forest Birds. *Conserv Biol.* 25(2):406–411.
- Grade Q, Sieving KE. 2016. When the birds go unheard: highway noise disrupts information transfer between bird species. *Biol. Lett.* 12:20160113.
- Green S, Marler P. 1979. The Analysis of Animal Communication. In: Social behavior and communication. Plenum Press, Nova York.
- Gros-Louis J. 2004. The function of food-associated calls in white-faced capuchin monkeys, *Cebus capucinus*, from the perspective of the signaller. *Anim. Behav.* 67:431-440.

- Halfwerk W, Slabbekoorn H. 2009. A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. *Anim. Behav.* 78(6):1301–1307.
- Hansen, IJK, Otter KA, Oort H, Holschuh CI. 2005. Communication breakdown? Habitat influences on black-capped chickadee dawn choruses. *Acta Ethol.* 8(2): 111-120.
- Hare JF. 1998. Juvenile Richardson's ground squirrels, *Spermophilus richardsonii*, discriminate among individual alarm callers. *Anim. Behav.* 55:451–460.
- Harper L, kalfa N, Beckers GMA, Kaefer M, Nieuwhof-Leppink AJ, Fossum M, Herbts KW & Bagli D. 2020. The impact of COVID-19 on research. *J. Pediatr. Urol.* 16:715e716.
- Harris MP, Henke K, Hawkins MB & Witten PE. 2014. Fish is Fish: the use of experimental model species to reveal causes of skeletal diversity in evolution and disease. *J. Appl. Ichthyol.* 30:616-629.
- Hartmann MT, Giasson LOM, Hartmann PA, Haddad CFB. 2005. Visual communication in Brazilian species of anurans from the Atlantic Forest. *J. Nat. Hist.* 39(19):1675-1685.
- Hausberger M. 1993. How studies on vocal communication in birds contribute to a comparative approach of cognition. *Etología* 3:171-185.
- Hebets EA, Barron AB, Balakrishnan CN, Hauber ME, Mason PH, Hoke KL. 2016. A systems approach to animal communication. *Proc. R. Soc. B. Biol. Sci.* 283.
- Henderson JJ, Gerhardt HC. 2013. Restoration of call attractiveness by novel acoustic appendages in grey treefrogs. *Anim. Behav.* 86:537-543
- Hennigar B, Ethier JP, Wilson DR. 2019. Experimental traffic noise attracts birds during the breeding season. *Behav Ecol.* 30(6):1591–1601.
- Herculano DM, Santos MAB, Pigozzo CM. 2013. Etograma de Flamingo-Chileno, *Phoenicopterus Chilensis* (phoenicopteriformes, phoenicopteridae), em condição de cativeiro no Parque Zoobotânico Getúlio Vargas. *Candombá.* 9(1):8-21.
- Hickman CP, Roberts LS, Larson A. 2002. **Animal diversity. The McGraw–Hill Companies, Nova York.**
- Hirt MR, Barnes AD, Gentile A, Pollock LJ, Rosenbaum B, Thuiller W, Tucker MA & Brose U. 2021. Environmental and anthropogenic constraints on animal space use drive extinction risk worldwide. *Ecol. Lett.* 24:2576–2585.
- Hof D, Hazlett N. 2010. Low-amplitude song predicts attack in a North American wood warbler. *Anim. Behav.* 80:821-828.
- Hopkins CD. 1974. Electric Communication in Fish. *Am. Sci.* 62:424-425.
- Huang J, Gates AJ, Sinatra R & Barabási AL. 2020. Historical comparison of gender inequality

- in scientific careers across countries and disciplines. *PNAS*. 117(9): 4609-4616.
- Jayakumar RP. 2019. A dissertation submitted to The Johns Hopkins University in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.
- Jensen P. 2017. The study of animal behaviour and its applications. In: *The ethology of domestic animals*. CABI, Wallingford.
- Jolliffe IT. 2002. *Principal Component Analysis*. New York: Springer New York.
- Jong K, Amorim MCP, Fonseca PJ & Heubel KU. 2018. Noise affects multimodal communication during courtship in a marine fish. *Front. Ecol. Evol.* 6:113.
- Keay KA, Bandler R. 2001. Parallel circuits mediating distinct emotional coping reactions to different types of stress. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 25:669-678.
- Kilkenny C, Browne WJ, Cuthill IC, Emerson M & Altman DG. 2010. Improving bioscience research reporting: The ARRIVE guidelines for reporting animal research. *J. Pharmacol. Pharmacother.* 1(2):94-99.
- King DA. 2004. The scientific impact of nations: What different countries get for their research spending. *Nature*. 430:311-316.
- Koloff J & Mennill D. 2011. Aggressive responses to playback of solos and duets in a Neotropical antbird. *Anim. Behav.* 82: 587-593.
- Koolhaas JM, Korte SM, De Boer SF, Van Der Vegt BJ, Van Reenen CG, Hopster H, De Jong IC, Ruis MAW, Blokhuis HJ. 1999. Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 23:925-935.
- Kraft FL, Forštová T, Utku Urhan A, Exnerová A, Brodin A. 2017. No evidence for self-recognition in a small passerine, the great tit (*Parus major*) judged from the mark/mirror test. *Anim Cogn.* 20(6):1049–1057.
- Krebs JR, Davies NB. 1993. *An introduction to behavioural ecology*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Maestriperi D, Schino G, Aureli F, Troisi A. 1992. A modest proposal: displacement activities as an indicator of emotion in primates. *Anim. Behav.* 44:967-979.
- Laiolo P. 2010. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biol. Conserv.* 143:1635-1645.
- Langmore NE. 1998. Functions of duet and solo songs of female birds. *Trends Ecol. Evol.* 13(4):136-140.
- Legendre P, Gallagher ED. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*. 129:271–280.
- Lehner PN. 1987. Design and execution of animal behavior research: an overview. *J. Anim.*

- Sci. 65:1213-1219.
- Leitão A V., Hall ML, Delhey K, Mulder RA. 2019. Female and male plumage colour signals aggression in a dichromatic tropical songbird. *Anim. Behav.* 150:285–301.
- Leonhardt SD, Menzel F, Nehring V & Schmitt t. 2016. Ecology and Evolution of Communication in Social Insects. *Cell.* 164(6):1277-1287.
- Lin Y, Ma J, Zhao J, Liu Q, Pei E, Zhang E, Chen M. 2021. Mirror responses in the common hill myna (*Gracula religiosa*) and the African grey parrot (*Psittacus erithacus*). *Zoology.* 147:125942.
- Lombard E. 1911. Le signe de l'elevation de la voix. *Annales des Maladies de L'Oreille et du Larynx.* 37:101-119.
- Lovell SF, Lein MR. 2004. Neighbor-stranger discrimination by song in a suboscine bird, the alder flycatcher, *Empidonax alnorum*. *Behav. Ecol.* 15(5):799–804.
- Machado RB, Silveira LF, Silva MISG, Ubaid FK, Medolago CA, Francisco MR, Dianese JC. 2020. Reintroduction of songbirds from captivity: the case of the Great-billed Seed-finch (*Sporophila maximiliani*) in Brazil. *Biodivers. Conserv.* 29:1613-1636.
- Madhusudhana S, Pavan G, Miller LA, Gannon WL, Hawkins A, Erbe C, Hamel JA, Thomas JA. 2022. Choosing Equipment for Animal Bioacoustic Research. In: *Exploring Animal Behavior Through Sound*. Springer, Cham.
- Maestriperi D, Schino G, Aurelis F, Troisi A. 1992. A modest proposal: displacement activities as an indicator of emotions in primates. *Anim. Behav.* 44:967-979.
- Marler P. 1957. Specific Distinctiveness in the communication signals of birds. *Behaviour.* 11(1):13-39.
- Marques, AB. 2008. Abordagens sobre a bioacústica na ornitologia Parte I - Conceitos básicos. *Atual. Ornitol.* (146):38-40.
- Marques AB. 2009. Abordagens sobre a bioacústica na ornitologia Parte II - Bioacústica relacionada com outros campos do conhecimento. *Atual. Ornitol.* 147(147):33-5.
- Maynard-Smith J, Harper D. 2003. *Animal Signals*. Oxford Series on Ecology and Evolution. Oxford University Press, Oxford.
- Medolago CAB, Ubaid FK, Francisco MR, Silveira LF. 2016. Description of the nest and eggs of the Great-billed Seed-Finch (*Sporophila maximiliani*). *Wilson J. Ornithol.* 128(3):638-642.
- Mello CV. 2015. The Zebra Finch, *Taeniopygia guttata*: an avian model for investigating the neurobiological basis of vocal learning. *CSHL Press.* 1237-1243.
- Morton ES. 1977. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some

- bird and mammal sounds. *Am. Nat.* 111(981):855-869.
- Morton ES. 2000. An evolutionary view of the origins and functions of avian vocal communication. *Jap. J. Ornithol.* 49:69-78.
- Møller AP, Pomiankowski A. 1993. Why have birds got multiple sexual ornaments? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 32:167-176.
- Muggeo VMR. 2008. Segmented: An R Package to fit regression models with broken-line relationships. *R news.* 8(1):20-25.
- Nemeth E, Pieretti N, Zollinger SA, Geberzahn N, Partecke J, Mirand AC, Brumm H. 2013. Bird song and anthropogenic noise: Vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proc. R. Soc. B. Biol. Sci.* 280(1754):1-7.
- Neto GSF, Prado MA, Neves PUC, Oliveira RG, Guimarães EF. 2021. Comparação da diversidade de comportamentos exibidos por emas em cativeiro e recém liberadas. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza.* 5:1809.
- Nomura F, De Marco P, Carvalho AFA, Rossa-Feres DC. 2013. Does background colouration affect the behaviour of tadpoles? An experimental approach with an odonate predator. *Ethol. Ecol. Evol.* 25(2):185-189.
- Okanoya K, Dooling RJ. 1991. Perception of distance calls by Budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) and Zebra Finches (*Poephila guttata*): assessing species-specific advantages. *J. Comp. Psychol.* 105(1):60-72.
- Oksanen J et al. 2020. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=vegan>.
- Oliveira V de J. 2017. Assinatura vocal em *Sporophila angolensis* Linnaeus, 1766 (Passeriforme, Thraupidae). Universidade Estadual de Santa Cruz.
- Osorio D, Vorobyev M. 2008. A review of the evolution of animal colour vision and visual communication signals. *Vis. Res.* 48:2042-2051.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- Panksepp J. 1990. The psychoneurology of fear: evolutionary perspectives and the role of animal models in understanding human anxiety. In: Burrows GD, Roth M, Noyes Jr R, eds. *The Neurobiology of Anxiety: Handbook of Anxiety*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Health Sciences. p.3-58.
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Syst. Rev.* 10(89).

- Pereira DF, Batista ES, Sanches FT, Roberto L, Gabriel AF & Bueno LGF. 2015. Diferenças comportamentais de poedeiras em diferentes ambientes térmicos. *Energia na agricultura*. 30(1):33-40.
- Phifer-Rixey M & Nachman MW. 2015. Insights into mammalian biology from the wild house mouse *Mus musculus*. *eLife*. 4:e05959.
- Plowes NJR, Colella T, Johnson RA, Hölldobler B. 2014. Chemical communication during foraging in the harvesting ants *Messor pergandei* and *Messor andrei*. *J. Comp. Physiol. A*. 200:129-137.
- Porto GR, Pitarelli A. 2005. Etograma da maria-preta, *Molothrus bonariensis* (Gmelin) (Aves, Emberizidae, Icterinae). *Rev. Bras. Zool.* 22(2):306-312.
- Prathapan KD, Pethiyagoda R, Bawa KS, Raven PH, Rajan PD. 2018. When the cure kills—CBD limits biodiversity research. *Science*. 360:1405-1406.
- Prior H, Schwarz A, Güntürkün O. 2016. Mirror-induced behavior in the magpie (*pica pica*): Evidence of self-recognition. *Anim Behav An. Evol. Approach*. 6(8):154–172.
- Pruchová A, Jaska P, Linhart P. 2017. Cues to individual identity in songs of songbirds: testing general song characteristics in Chiffchaffs *Phylloscopus collybita*. *J. Ornithol.* 158:911-924.
- Radner D. 1999. Mind and function in animal communication. *Erkenntnis* 51:129-144.
- Reichert MS, Gerhardt HC. 2012. Trade-offs and upper Limits to signal performance during close-range vocal competition in Gray tree frogs *Hyla versicolor*. *Am. Nat.* 180(4):425-437.
- Resende PS, Viana-Junior AB, Young RJ, Azevedo CS. 2020. A global review of animal translocation programs. *Anim. Biodivers. Conserv.* 43.2: 221-232.
- Riccaboni M & L Verginer. 2022. The impact of the COVID-19 pandemic on scientific research in the life sciences. *PLOS ONE* 17(2): e0263001.
- Rosenthal MF, Gertler M, Hamilton AD, Prasad S & Andrade MCB. 2017. Taxonomic bias in animal behaviour publications. *Anim. Behav.* 127:83e89.
- Samia DSM, Nomura F, Blumstein DT. 2013. Do animal generally flush early and avoid the rush? A meta-analysis. *Biol. Lett.* 9:1-4.
- Santarém, EMM, Silva, MTA. 1999. Comportamento adjunto: controvérsias e contribuições teóricas. *Psicol.: Teor. Pesqui.* 15:199-207.
- Sapolsky RM, Romero LM, Munck AU. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions.

- Endocr. Rev. 21(1):55–89.
- Sebeok TA. 1968. Animal communication: techniques of study and results of research. Indiana University Press, Bloomington.
- Seyfarth RM, Cheney DL, Bergman T, Fischer J, Zuberbühler K, Hammerschmidt K. 2010. The central importance of information in studies of animal communication. *Anim. Behav.* 80:3-8.
- Shaw RC, Greggor AL & Plotnik JM. 2021. The Challenges of Replicating Research on Endangered Species. *Animal Behavior and Cognition.* 8(2): 240-246.
- Shier DM, Lea AJ, Owen MA. 2012. Beyond masking: Endangered Stephen's kangaroo rats respond to traffic noise with footdrumming. *Biol Conserv.* 150(1):53–58.
- Shuhama R, Del-Ben CM, Loureiro SR, Graeff FG. 2007. Animal defense strategies and anxiety disorders. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 79(1):97–109.
- Siegel S, Castellan Jr NJ. 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Science.* New York: McGraw-Hill.
- Silva ML, Vielliard JME. 2011. A aprendizagem vocal em aves: evidências comportamentais e neurobiológicas. *Estudo do Comportamento II* 1–24.
- Silva RS, Lima B. 2009. *Sporophila maximiliani* song. *Xeno-canto Online Articles*, <https://xeno-canto.org/39102> (downloaded 20 July 2021).
- Skopec M, Issa H, Reed J & Harris M. 2020. The role of geographic bias in knowledge diffusion: a systematic review and narrative synthesis. *Res. integr. peer rev.* 5:2.
- Slaughter EI, Berlin ER, Bower JT, Blumstein DT. 2013. A Test of the Nonlinearity Hypothesis in Great-tailed Grackles (*Quiscalus mexicanus*). *Ethology.* 119:309-315.
- Smith CL, Taylor A, Evans CS. 2011. Tactical multimodal signaling in birds: facultative variation in signal modality reveals sensitivity to social costs. *Anim. Behav.* 82: 521-527.
- Smith O, Wassmer T. 2016. An ethogram of commonly observed behaviors of the endangered Bridled White-eye (*Zosterops conspicillatus*) in a Zoo Setting. *Wilson J. Ornithol.* 128(3):647-653.
- Smith WJ. 1977. *The behavior of communicating: an ethological approach.* Cambridge, Reino Unido: Harvard University Press.
- Spagnoli S, Lawrence C & Kent ML. 2016. Stress in fish as model organisms. *Fish Physiol.* 35:541-564.
- Steimer T. 2002. The biology of fear- and anxiety-related behaviors. *Dialogues Clin. Neurosci.*

4:231-249.

- Sugai LSM, Silva TSF, Ribeiro JW, Llusia D. 2019. Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: review and perspectives. *BioScience*. 69(1):15-25.
- Sunday EA, Onyeyili PA & Saganuwan SA. Therapeutic effects of *Byrsocarpus coccineus* root bark extract on bacterially and chemically induced diarrhea in the Wistar albino rat (*Rattus norvegicus domestica*). *Animal Model Exp. Med.* 2:312-325.
- Suthers RA. 1997. Peripheral Control and Lateralization of Birdsong. *J. Neurobiol.* 33(5):632-652.
- Tarjuelo R, Barja I, Morales MB, Traba J, Lopez AN, Casas F, Arroyo B, Delgado, MP, Mougeot F. 2015. Effects of human activity on physiological and behavioral responses of an endangered steppe bird. *Behav. Ecol.* 26(3):828-838.
- Teixeira D, Maron M, van Rensburg BJ. 2019. Bioacoustic monitoring of animal vocal behavior for conservation. *Conserv. Sci. Pract.* 1(8):e72.
- Tinbergen N. 1952. "Derived" activities, their causation, biological significance, origin, and emancipation during evolution. *Q. Rev. Biol.* 27:1–32.
- Tricas TC, Kajiura SM, Kosaki RK. 2006. Acoustic communication in territorial butterflyfish: test of the sound production hypothesis. *J. Exp. Biol.* 209:4994-5004.
- Troudet J, Grandcolas P, Blin A, Vignes-Lebbe R & Legendre F. 2017. Taxonomic bias in biodiversity data and societal preferences. *Sci. Rep.* 7:9132.
- Ubaid FK, Silveira LF, Medolago CBA, Costa TVV, Francisco MR, Barbosa KVC, Juior ADS. 2018. Taxonomy, natural history, and conservation of the Great-billed Seed-Finch *Sporophila maximiliani* (Cabanis, 1851) (Thraupidae, Sporophilinae). *Zootaxa.* 4442(4): 551-571.
- Usman M & Ho YS. 2021. COVID-19 and the emerging research trends in environmental studies: a bibliometric evaluation. *ESPR.* 28:16913–16924.
- Vaissie P, Monge A, Husson F. 2021. Factoshiny: Perform Factorial Analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application. R package version 2.4. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/Factoshiny/index.html>.
- Velásquez NA, Moreno-Gómez FN, Brunetti E, Penna M. 2018. The acoustic adaptation hypothesis in a widely distributed South American frog: Southernmost signals propagate better. *Sci. Rep.* 8(1):1–12.
- Vicario DS, Naqvi NH, Raksin JN. 2001. Sex differences in discrimination of vocal communication signals in a songbird. *Anim. Behav.* 61:805-817.

- Vielliard JME, Silva ML. 2010. Bioacústica - bases teóricas e regras práticas de uso em ornitologia. In: Matter SV, Piacentini VQ, Straube FC, Cândido JF, Accordi IA. Ornitologia e conservação: ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento. Technical Books, Rio de Janeiro, 1:313-326.
- Villain AS, Fernandez MSA, Bouchut C, Soula HA, Vignal C. 2016. Songbird mates change their call structure and intrapair communication at the nest in response to environmental noise. *Anim. Behav.* 116:113–129.
- Warren PS, Katti M, Ermann, M, Brazel, A. 2006. Urban bioacoustics: it's not just noise. *Anim. Behav.* 71:491-502.
- Wasserstein RI. 2016. ASA statement on statistical significance and P-values. *Am. Stat.* 70(2):129-133
- Wickham H, Girlich M, Ruiz E. 2021. dplyr: A 'dplyr' Back End for Databases. R package version 2.1.1. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=dplyr>.
- Wiley RH. 2006. Signal detection and animal communication. *Adv. Study Behav.* 36:217-247.
- Yeung HWC. 2001. Redressing the geographical bias in social science knowledge. *Environ. Plan. A.* 33:1-9.
- Zeigler HP. 1964. Displacement activity and motivational theory: a case study in the history of ethology. *Psychol. Bull.* 61(5):362-376.