



Universidade Federal de Uberlândia



Instituto de Biologia

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais

**EFEITOS DA POLUIÇÃO SONORA EM COMUNIDADES DE
AVES DO CERRADO: O IMPACTO DAS RODOVIAS**

Elliott Centeno de Oliveira

2020

Elliott Centeno de Oliveira

**EFEITOS DA POLUIÇÃO SONORA EM COMUNIDADES DE
AVES DO CERRADO: O IMPACTO DAS RODOVIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Ecologia e
Conservação de Recursos Naturais.

Orientador
Prof. Dr. Kleber Del-Claro

UBERLÂNDIA
Fevereiro - 2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48
2020

Oliveira, Elliott Centeno de, 1994-
Efeitos da poluição sonora em comunidades de aves do cerrado: o impacto das rodovias [recurso eletrônico] / Elliott Centeno de Oliveira. - 2020.

Orientador: Kleber Del-Claro.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.68>
Inclui bibliografia.

1. Ecologia. I. Del-Claro, Kleber, 1965-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 574

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de
Recursos Naturais

Av. Pará, 1720, Bloco 2D, Sala 26 - Bairro Umuarama, Uberlândia-MG, CEP 38405-320
Telefone: (34) 3225-8641 - www.ppgeco.ib.ufu.br - ecologia@umuarama.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ecologia e Conservação de Recursos Naturais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, número 288, PPGEARN				
Data:	dezoito de fevereiro de dois mil e vinte	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:03
Matrícula do Discente:	11812ECR005				
Nome do Discente:	Elliott Centeno de Oliveira				
Título do Trabalho:	Efeitos da poluição sonora em comunidades de aves do cerrado: o impacto das rodovias				
Área de concentração:	Ecologia				
Linha de pesquisa:	Ecologia comportamental e de interações				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Riqueza e distribuição de interações entre plantas, formigas e herbívoros trofobiontes em vegetação de Cerrado				

Reuniu-se no Sala 245, Bloco 4K, Campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, assim composta: Professores Doutores: Oswaldo Marçal Júnior - INBIO/UFU; Edison Zefa - UFPEL; Kleber Del Claro - INBIO/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Kleber Del Claro, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Kleber Del Claro, Presidente**, em 18/02/2020, às 15:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Oswaldo Marcal Júnior, Membro de Comissão**, em 18/02/2020, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDISON ZEFA, Usuário Externo**, em 19/02/2020, às 06:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1832569** e o código CRC **C7C434BA**.

Elliott Centeno de Oliveira

**EFEITOS DA POLUIÇÃO SONORA EM COMUNIDADES DE
AVES DO CERRADO: O IMPACTO DAS RODOVIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para obtenção
do título de Mestre em Ecologia e Conservação de
Recursos Naturais.

Prof. Dr. Oswaldo Marçal Junior - UFU

Prof. Dr. Edison Zefa - UFPel

Prof. Dr. Kleber Del-Claro
UFU

UBERLÂNDIA
Fevereiro - 2020

Agradecimentos

Ao professor Kleber Del-Claro pela oportunidade de prestar o mestrado sob sua orientação, pelo incentivo nesses dois anos e pela confiança no meu trabalho.

Aos meus colegas do LECI pela contribuição com o meu estudo, em especial ao Dr. Eduardo Calixto Soares por ser sempre prestativo e contribuir de forma significativa com o trabalho.

Aos meus colegas de curso pela parceria durante o mestrado, tanto dentro quanto fora da Universidade, tornaram essa fase mais fácil de ser vivida.

Ao Dr. Carlos Henrique Nunes e ao Dr. Cesar Cestari pela identificação da vocalização de algumas vozes.

À Universidade Federal de Uberlândia por todo suporte técnico que proporcionou a realização deste estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, Processo: 131159/2018-6.

À minha irmã e minha sobrinha, toda caminhada é por vocês também, e fica o aviso: o Naturalista não é mais Amador.

E por último, porém mais importante, agradeço à minha namorada Valéria Mendes Pinheiro por ser meu suporte nos momentos difíceis e por me fazer feliz.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	3
<i>Área de estudo</i>	3
<i>Amostragem</i>	4
<i>Análise dos áudios e identificação das espécies</i>	5
<i>Análise estatística</i>	6
RESULTADOS	7
DISCUSSÃO	10
REFERÊNCIAS	16
ANEXO	21

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa mostrando a distribuição espacial dos pontos de instalação dos gravadores, entre os meses de março e julho de 2019 no (A) Clube Caça e Pesca Itororó Uberlândia (CCPIU) e na (B) Reserva Ecológica do Panga (REP). A área contornada delimita os fragmentos de cerrado *stricto sensu* amostrados no estudo. Triângulos indicam os pontos próximos à estrada; quadrados indicam os pontos próximos à trilha; círculos indicam pontos no interior dos fragmentos. (C) indica a região do estudo em relação ao país; (D) indica a região do estudo em relação ao estado de Minas Gerais.5
- Figura 2.** Distribuição temporal da atividade vocal das aves e do tráfego de veículos na MGC-455 de março a julho de 2019. Para a atividade vocal, foi verificada a presença/ausência de atividade acústica de aves em intervalos de 1h (12 arquivos de áudio). Para o tráfego de veículos, foi verificado o número de veículos registrados no intervalo de 1h. Distribuição diária da atividade vocal das aves agrupada por tratamento (a); distribuição diária do tráfego de veículos que cruzou a MGC-455 durante o estudo (b).8
- Figura 3.** Diferença na poluição sonora, em decibéis (dB), nos diferentes ambientes amostrados, diferentes letras indicam tratamentos que exibiram diferença estatística ($F_{2,27}=52.38$; $p<0.001$). Linhas verticais tracejadas indicam erro padrão, linha espessa horizontal indica mediana.9
- Figura 4.** Diferença no índice de complexidade acústica (ACI) entre os diferentes ambientes amostrados, diferentes letras indicam ambientes que foram estatisticamente diferentes ($\chi^2= 8.32$; $gl= 2$; $p= 0.015$). Linhas verticais tracejadas indicam erro padrão, linha espessa horizontal indica mediana. 10
- Figura 5.** NMDS da composição de aves nos três ambientes amostrados, rodovia, trilha e interior, em ambas as reservas (ANOSIM=0.126; $p=0.021$; stress=0.227), (A). Comparação par a par entre Rodovia e Trilha (ANOSIM=0.174; $p=0.02$; stress=0.212), (B); Rodovia e Interior (ANOSIM=0.043; $p=0.72$; stress=0.220), (C); Trilhas e Interior (ANOSIM=0.209; $p=0.018$; stress=0.155), (D). Diferentes letras indicam comunidades que diferiram em composição nas análises par a par..... 11
- Figura 6.** Fotos de *Megascops choliba* (A) e *Nystalus maculatus* (B). (Fotos: Gabriele Andreia da Silva). 12

RESUMO

Oliveira, Elliott C. 2020. Efeitos da poluição sonora em comunidades de aves do cerrado: o impacto das rodovias. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG.

Sinais acústicos são empregados por diversos táxons animais na troca de informações. Atualmente esse canal de comunicação é influenciado pela poluição sonora, sendo o tráfego de veículos uma de suas principais fontes. O objetivo do estudo foi verificar se a poluição sonora causada pelo tráfego afeta a comunicação e a diversidade local de aves. Gravações acústicas foram realizadas em duas reservas no município de Uberlândia, MG, Brasil. As gravações foram feitas em diferentes distâncias em relação à rodovia MGC-455, sendo utilizado o índice de complexidade acústica (ACI) para analisar a atividade vocal das aves. Foram identificadas 34 espécies através de suas vocalizações. A composição dessas espécies variou significativamente de acordo com os ambientes estudados. O ACI apresentou maior complexidade próximo à rodovia, indicando que próximo à fonte de poluição sonora esse grupo repete os sinais acústicos, aumentando a probabilidade de serem escutados por coespecíficos. *Nystalus maculatus* não foi registrado próximo à rodovia, indicando que esta espécie evita lugares onde o ruído é intenso. As comunidades de aves estudadas disputam diretamente o espaço acústico com o ruído causado pelo tráfego. Logo, algumas espécies apresentam adaptações comportamentais para que seus sinais sejam recebidos por outros indivíduos da comunidade.

Palavras-chave: bioacústica, Buconidae; índice acústico, veículos; ruídos.

ABSTRACT

Oliveira, Elliott C. 2020. Efeitos da poluição sonora em comunidades de aves do cerrado: o impacto das rodovias. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG.

Acoustic signals are employed by various animal taxa in the exchange of information. Currently this communication channel suffers from noise pollution, with vehicle traffic being one of its main sources. This study aimed to verify if traffic noise pollution affects the communication and local diversity of birds. Automated digital recordings were conducted in two ecological reserves in the municipality of Uberlândia, MG, Brazil. Recordings were made at different distances from the MGC-455 highway. The Acoustic Complexity Index (ACI) was used to analyze the vocal activity of birds. Thirty-four species were identified through acoustic signals. Their composition varied according to the studied environments. The ACI presented higher values near the highway, indicating that near the source of noise pollution local birds increased the rate of vocalization, employing the redundancy principle, thereby increasing the probability of being heard by conspecifics. *Nystalus maculatus* has not been recorded near the highway, indicating that this species avoids places with intense noise pollution. Bird communities studied compete directly for acoustic space with traffic noise. Thus, some species exhibit behavioral adaptations so that their signals are received by other individuals in the community.

Keyword: bioacoustics; Buconidae; acoustic indices; vehicles; noise

INTRODUÇÃO

A comunicação é um dos aspectos mais importantes da história da vida animal, uma vez que desencadeia uma série de eventos que estão diretamente associados à sobrevivência (e.g. Rubenstein e Alcock 2019). Inicia-se quando um indivíduo (emissor) emite um sinal que é transportado pelo meio até chegar a um receptor (Green e Marler 1979). A comunicação tem diversos fins, como promover a coesão dentro de grupos coespecíficos, evitar competição por interferência, manter hierarquia em populações e defender território, dentre outras funções (Farnsworth 2005; Delgado e Penteriani 2006; Odom e Mennill 2010). Também tem papel fundamental na reprodução (Kroodsma e Byers 1991; Marler 2004), o prejuízo nesse aspecto do sistema comportamental pode levar as espécies a terem dificuldades na formação de casais, dessa forma, afetando, inclusive, sua distribuição (Habib et al. 2007; Swaddle e Page 2007).

Em ambientes terrestres, mamíferos, aves, anfíbios, ortópteros e cigarras são muito conhecidos pela comunicação acústica, cujos sinais são produzidos por estruturas que surgiram de forma independente nesses grupos, como cordas vocais, siringe, sacos vocais, tégminas ou tímpanos, respectivamente. Os sinais acústicos são propagados pelo ar e levam informações importantes para as espécies que compõem esses grupos. Atualmente este tipo de comunicação enfrenta um sério desafio, o de enviar e receber informação em ambientes cada vez mais antropizados e sonoramente poluídos (Goines e Hagler 2007; Moszynski 2011).

A poluição sonora gerada pelo homem restringe o espaço acústico usado pelos outros animais na comunicação. Geralmente ocupa as faixas de frequência entre 0-3kHz, se sobrepondo aos sinais acústicos de algumas espécies, fazendo com que o sinal enviado pelo emissor não seja detectado pelo receptor (Wood e Yerezinac 2006; Goodwin e Shriver 2010; Zollinger et al. 2017). Frente a esse obstáculo na comunicação, alguns animais desenvolveram adaptações para que seus sinais fossem recebidos. Algumas espécies elevam a frequência nas quais emitem seus sinais acústicos, dessa forma, fugindo da faixa ocupada pelo ruído antrópico (Slabbekoorn e Peet 2003; Francis et al. 2010; Tolentino et al. 2018). Existem espécies que mudam o horário no qual emitem seus sinais acústicos, utilizando apenas horários de menor poluição sonora (Sun e Narins 2005; Fuller et al. 2007; Cartwright et al. 2013). Outras aumentam o número de emissões dos sinais acústicos, promovendo a redundância das mensagens, dessa forma aumentando a probabilidade de serem detectados por indivíduos da mesma espécie (Brumm e Slater 2006).

As rodovias causam a fragmentação de áreas nativas, estabelecendo efeito de borda, podendo impedir a migração, dispersão e troca genética entre populações (Oxley et al. 1974; Kozel e Fleharty 1979; Mader 1984). O trânsito de veículos, ocasiona milhares de mortes de animais selvagens todos os anos (Hell et al. 2004; Aresco 2005; Pracucci et al. 2012), e é uma das principais fontes de poluição sonora nos ambientes terrestres. Sabe-se que a poluição sonora afeta as aves, especialmente aquelas que produzem sons em baixas frequências, reduzindo o sucesso na formação de casais (Habib et al. 2007; Swaddle e Page 2007), aumentando o risco de predação (Lowry et al. 2012), ou mesmo fazendo com que algumas espécies mais sensíveis abandonem determinado local (Francis et al. 2009).

O avanço dos gravadores de áudio automatizados, juntamente com a criação de índices acústicos, que refletem a atividade vocal dos animais, torna cada vez mais acessível os estudos de monitoramento passivo de fauna (Acevedo e Villanueva-Rivera 2006). O monitoramento acústico de animais utiliza a comunicação acústica entre os indivíduos para obter dados acerca da comunidade. Sendo um método não invasivo para a fauna e flora, esse tipo de técnica coleta grandes montantes de dados através dos gravadores.

Atualmente, com o uso de índices acústicos, e tendo conhecimento prévio da ocorrência regional das espécies, pode-se adquirir respostas confiáveis sobre o local de amostragem. Nos últimos anos as aves foram alvo de muitos estudos que utilizaram estes métodos, devido ao fato deste grupo depender principalmente de sinais acústicos para se comunicar com seus coespecíficos (Machado et al. 2017; Shonfield e Bayne 2017; Turner et al. 2018).

O objetivo geral do presente estudo foi verificar se a poluição sonora causada pelo tráfego de veículos afeta a comunicação e a diversidade da comunidade local de aves em duas reservas do município de Uberlândia. Os objetivos específicos foram verificar: a) se existe maior atividade acústica de aves em pontos mais afastados da estrada; b) se a composição de espécies muda em relação à distância da estrada, ou seja, da fonte de poluição sonora; e c) qual/quais espécies não ocorrem no ambiente com maiores índices de poluição sonora. Esse estudo considera que existe maior atividade acústica de aves em locais afastados das estradas, uma vez que estes locais não apresentam altos níveis de poluição sonora e os sinais enviados tem maiores chances de chegar no receptor. Locais com maiores níveis de poluição sonora seriam evitados pelas aves, devido à dificuldade no estabelecimento da comunicação. Em contrapartida, locais com menores níveis de poluição sonora seriam mais utilizados para a produção de sinais acústicos (Francis et al. 2010; Goodwin e Shriver 2010). Diferentes

espécies de aves produzem sons em diferentes bandas de frequência, aves que produzem sinais acústicos em bandas de frequência mais baixas (0-3 kHz) seriam as mais afetadas pela poluição sonora, uma vez que a poluição pode mascar principalmente sons emitidos nessas frequências, tornando essas espécies mais sensíveis a esse tipo de poluição do que espécies que produzem som acima de 3kHz (Wood e Yezzinac 2006; Goodwin e Shriver 2010; Zollinger et al. 2017).

Dessa forma, testamos as seguintes hipóteses: a) Nos locais próximos à rodovia, onde a poluição sonora é maior, a atividade acústica das aves será reduzida; b) A composição das espécies será diferente nos ambientes amostrados, refletindo a sensibilidade ao ruído causado pela rodovia; e c) As espécies que não ocorrerem em locais onde a poluição sonora é maior serão espécies que utilizam a faixa entre 0-3kHz para a comunicação.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em duas áreas do município de Uberlândia, MG, Brasil, na Reserva Particular do Clube Caça e Pesca Itororó Uberlândia (CCPIU) e na Reserva Ecológica do Panga (REP), ambas limitadas pela rodovia MGC-455, que vai da cidade de Uberlândia até Campo Florido, MG, Brasil. O CCPIU (18°58'30,1"S 48°17'27,6"W) possui área de 640ha e localiza-se 8km ao Sul do centro da cidade de Uberlândia, com grande complexo residencial em toda sua margem Norte e Oeste, a aproximadamente 1.5km da área de reserva. A REP (19°10'55, 2"S 48°23'36, 6"W) é um fragmento de 409,5ha e localiza-se 32km ao Sul do centro da cidade de Uberlândia. Não há urbanização próxima, apenas a rodovia que passa em frente ao lado sudeste da reserva que é cercada por áreas de plantação.

Em anos anteriores foram realizados levantamentos das espécies de aves nas duas reservas (Marçal-Junior et al. 2009; Malacco et al. 2013). Os estudos incluíram algumas fitofisionomias típicas do Cerrado, como cerrado *stricto sensu*, vereda, cerradão, entre outras. As duas comunidades demonstraram similaridade na composição das espécies, com a REP apresentando riqueza maior (29 espécies a mais) do que CCPIU (Malacco et al. 2013).

No presente estudo, os pontos amostrais se localizaram em cerrado *stricto sensu*, que é uma das fitofisionomias mais típicas do bioma Cerrado, representado por um tipo de savana composta de arbustos e árvores que geralmente atingem menos de 7m de altura e não formam dossel fechado (Eiten 1972).

Amostragem

Entre os meses de março e julho de 2019, três gravadores acústicos *Song Meter 2* (*Wildlife Acoustics, Inc.*, Maynard, MA, USA) foram utilizados para realização de gravações semanais. Os gravadores foram instalados 200m de distância um do outro, para que assim mantivessem independência entre os registros acústicos.

Nas duas reservas os fragmentos de cerrado *stricto sensu* iniciam-se próximo à rodovia. No CCPIU o fragmento se inicia aproximadamente 40m de distância da rodovia e na REP o fragmento se inicia em menos de 10m. No total foram selecionados 30 pontos de coletas, sendo 21 no CCPIU e nove no REP. Esses 30 pontos foram divididos em três tratamentos (10 pontos em cada) de acordo com a distância e local de instalação dos gravadores. No primeiro tratamento, “Rodovia”, os gravadores foram instalados na borda dos fragmentos próximo da rodovia, a 30m de distância do início do fragmento em direção ao seu centro; no segundo tratamento, “Trilha”, os gravadores foram instalados no mínimo 430m de distância em relação à rodovia, na bordas da trilha principal do fragmento; e no terceiro tratamento, “Interior”, os gravadores foram instalados no interior dos fragmentos, 230m de distância da rodovia e pelo menos 50m de distância de qualquer borda (Fig. 1). Desta forma as seguintes características estão ligadas a cada tratamento: Rodovia – sofre efeito de borda e apresenta os maiores níveis de poluição sonora; Trilha – sofre efeito de borda e apresenta baixos níveis de poluição sonora; Interior – não sofre efeito de borda e apresenta baixos níveis de poluição sonora.

Os aparelhos foram instalados na segunda-feira de manhã e recolhidos na sexta-feira de manhã da mesma semana, as gravações foram feitas em dias úteis nos quais o tráfego é mais intenso quando comparado com os finais de semana (Brumm 2004; Halfwerk et al. 2011; Pieretti e Farina 2013). Na semana seguinte os gravadores foram instalados a 200m de distância do local da instalação anterior, abrangendo assim uma área maior das reservas, este processo se repetiu por 10 semanas.

O protocolo de gravação utilizado no estudo foi registrar um minuto do som ambiente a cada cinco minutos transcorridos (*record* – 00:01:00; *pause* – 00:04:00) durante todo o tempo em que os gravadores permaneceram instalados nos fragmentos. Os registros sonoros foram obtidos no formato de áudio WAV, em modo *stereo*, 44,1 kHz *sampling rate*, 16-bit de resolução e *gain* de 0,6dB.

Para a coleta de dados da poluição sonora nos três tipos de ambiente, logo após a instalação dos gravadores, foi utilizado um decibelímetro Peak Tech 8000 durante 10min, na

altura do peito e apontado para a rodovia, para coletar o valor máximo de decibéis (função *max hold*) que cada ambiente apresentava para posterior comparação entre ambientes.

Análise dos áudios e identificação das espécies

Os arquivos de áudio foram analisados com o software *Avisoft-SASLab Lite*, e digitalizados em *fast Fourier transformation* (FFT)- 256, 100% *frame size*, *window FlapTop*, 50% *overlap*. Os áudios foram analisados individualmente de forma acústica e visual (espectrograma), registros acústicos de qualidade ruim devido a interferências causadas pela chuva, vento ou qualquer outro fator foram descartados.

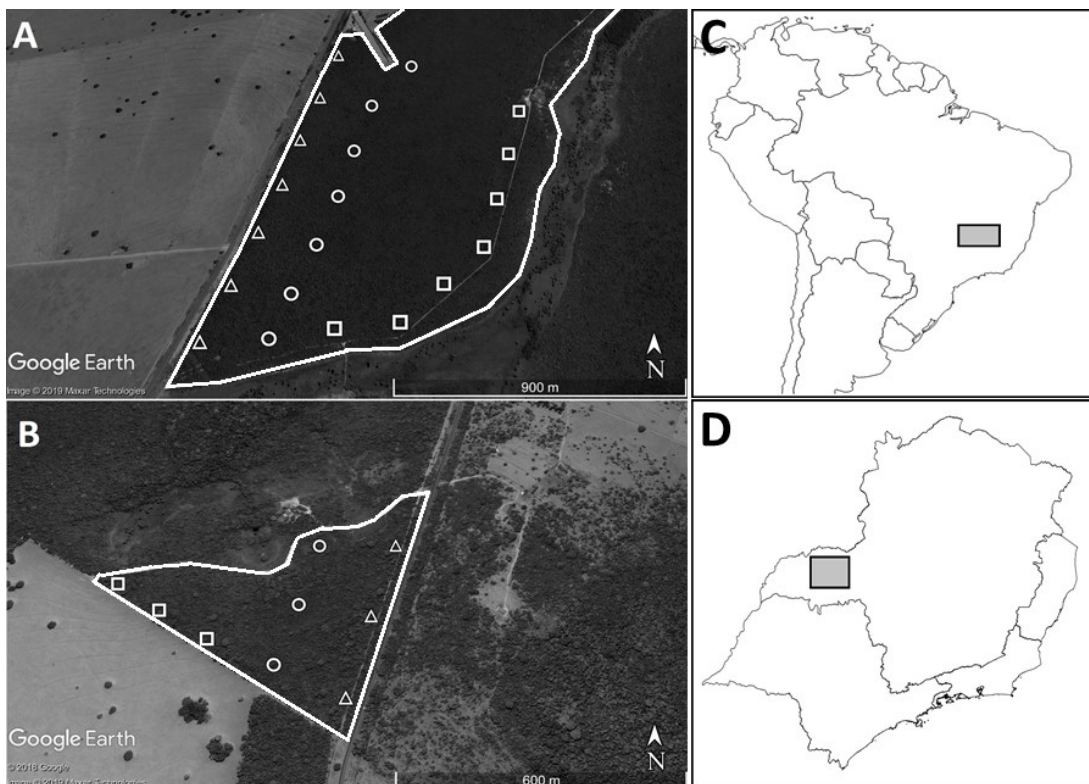


Figura 1. Mapa da distribuição espacial dos pontos de instalação dos gravadores, entre os meses de março e julho de 2019 no (A) Clube Caça e Pesca Itororó Uberlândia (CCPIU) e na (B) Reserva Ecológica do Panga (REP). Área contornada delimita os fragmentos de cerrado *stricto sensu* amostrados no estudo. Triângulos indicam os pontos próximos à estrada; quadrados indicam os pontos próximos à trilha; círculos indicam pontos no interior dos fragmentos. (C) indica a região do estudo em relação ao país; (D) indica a região do estudo em relação ao estado de Minas Gerais.

A presença/ausência de atividade acústica de aves em intervalos de 1h (12 arquivos de áudio) foi verificada nos áudios coletados, com o intuito de medir os horários mais utilizados por esse grupo para a produção de sinais acústicos. O número de automóveis que passou pela rodovia MGC-455 em intervalos de 1h foi contabilizado, com o intuito de detectar os horários de maior tráfego.

O índice de complexidade acústica (ACI) foi utilizado como parâmetro para medir a atividade acústica nos diferentes ambientes, pois fornece um cálculo eficiente para refletir a atividade das aves, como também para filtrar ruídos de origem antrópica dos arquivos de áudio (Pieretti, 2011; Pieretti e Farina 2013). Para o cálculo desse índice foi utilizado o software R 3.6.1 (R Core Team, 2019) através do pacote “*soundecology*” (Villanueva-Rivera e Pijanowski 2018).

Algumas espécies de aves foram determinadas com o auxílio de especialistas e através de comparações com amostras de áudios mantidas online em bancos de dados como o <https://www.xeno-canto.org> e <https://www.wikiaves.com.br>. As espécies identificadas foram classificadas de acordo com a versão mais recente da Lista de Aves do Brasil do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (Piacentini et al. 2015).

Análise estatística

Para a análise da poluição sonora entre os três tratamentos foram comparados os valores máximos registrados pelo decibelímetro, no monitoramento de 10min, através de Análise de Variância (ANOVA), seguido de teste de Tukey.

Para verificar se existe diferença no ACI entre os três tratamentos, foram comparadas as médias de ACI por hora através de Modelo Linear Generalizado Misto (GLMM) com erro Gaussiano, seguido por teste de Wald. Para controlar a dependência espacial e temporal das amostras, o dia de coleta aninhado dentro do ponto de coleta aninhado dentro da reserva foi ajustado como variável aleatória. Após o teste de Wald foi realizado um teste de Tukey HSD. Como o objetivo do trabalho foi verificar a influência da poluição sonora na comunicação das aves, os testes foram realizados somente para o período do dia que foi registrado maior atividade acústica dessas espécies (entre 6 e 18h), fora dessa janela de tempo a comunidade acústica foi dominada por outros animais, como grilos, esperanças e morcegos.

A fim de comparar a composição de espécies registradas no estudo em cada um dos três diferentes tratamentos foi utilizado *Non-Metric Dimensional Scale* (NMDS) seguido por

Análise de Similaridade (ANOSIM). Visto que o experimento apresenta três tratamentos, comparações par a par entre eles foram realizadas através de subseqüentes testes de NMDS e ANOSIM.

Todos os testes foram realizados no software R 3.6.1 (R Core Team, 2019) a 5% de significância. Pressupostos relacionados a cada análise foram verificados para melhor ajustamentos dos modelos estatísticos. Estatísticas descritivas foram apresentadas como média±desvio padrão (mínima-máxima).

RESULTADOS

Ao longo do estudo foram registrados 34.406 arquivos de áudio, dos quais 24.039 foram obtidos no CCPIU e 10.367 na REP. O mesmo padrão de atividade vocal foi registrado nos três tratamentos, sendo que a produção de sinais acústicos pelas aves apresentou dois picos claros ao longo do dia, o primeiro próximo das 6h até aproximadamente 9h, sofrendo redução das 9h às 15h, quando voltou a subir, apresentando novamente um pico de atividade das 17 às 18h (Fig. 2a).

Através dos áudios foi registrada a presença de 9.618 veículos, dos quais 7.939 foram registrados no CCPIU e 1.679 na REP. O horário de maior tráfego de veículos ocorreu durante o dia, no período das 6 às 18h. Pela manhã, o período das 6 às 9h apresentou o maior tráfego. Após esse horário ocorreu uma leve diminuição na movimentação de automóveis, que voltou a aumentar, apresentando um pico entre 17 e 18h (Fig. 2b).

Constatou-se diferença significativa na poluição sonora média entre os três tratamentos ($F_{2,27}=52,38$; $p<0,001$) (Fig. 3). O teste de Tukey HSD mostrou diferença significativa na poluição sonora entre Rodovia e Interior ($t=8,892$; $p<0,001$) e Rodovia e Trilha ($t=-8,836$; $p<0,001$), mas não entre Trilha e Interior ($t=0,056$; $p=0,998$). Na Rodovia ocorreram os maiores níveis de decibéis ($64,4 \pm 4,5$ dB), seguido por Trilha ($39,3 \pm 6,5$ dB) e Interior ($39,1 \pm 7,7$ dB) (Fig. 3).

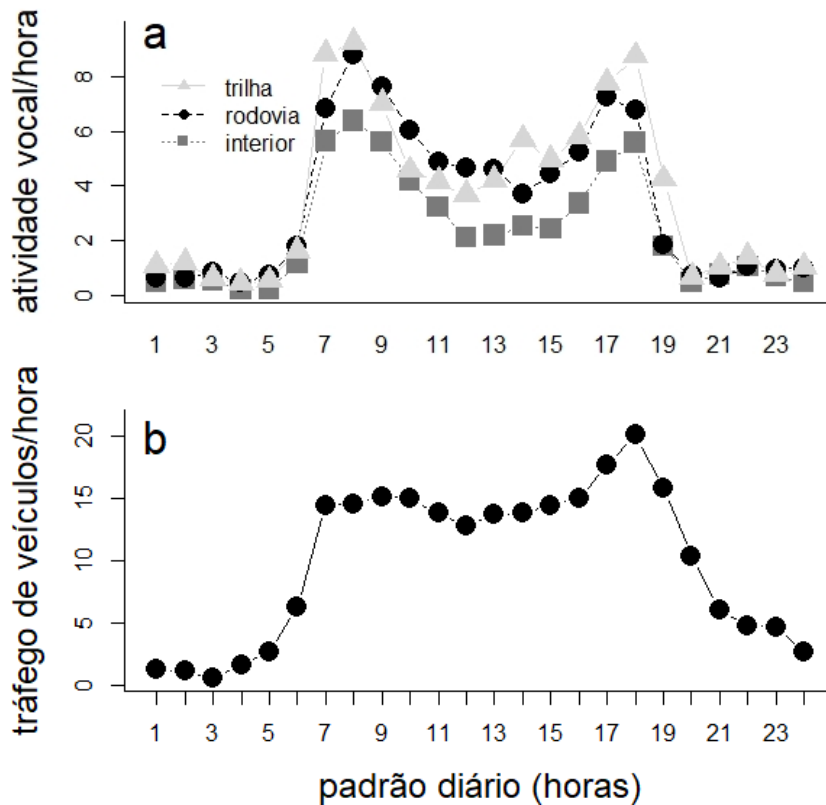


Figura 2. Distribuição temporal da atividade vocal das aves e do tráfego de veículos na MGC-455 de março a julho de 2019. Para a atividade vocal, foi verificada a presença/ausência de atividade acústica de aves em intervalos de 1h (12 arquivos de áudio). Para o tráfego de veículos, foi verificado o número de veículos registrados no intervalo de 1h. Distribuição diária da atividade vocal das aves agrupada por tratamento (a); distribuição diária do tráfego de veículos que cruzou a MGC-455 durante o estudo (b).

Houve diferença significativa na média de ACI entre os tratamentos ($\chi^2= 8,32$; $gl=2$; $p<0,05$; Fig 4). O teste de Tukey mostrou diferença significativa entre Rodovia e Interior ($Z=2,733$; $p<0,05$), mas não entre Trilha e Interior ($Z=0,691$; $p=0,769$), nem entre Trilha e Rodovia ($Z=-2,162$; $p=0,079$). O valor médio do índice acústico para Rodovia foi de $1.834,525 \pm 51,118$ ($1.798,615-2.108,974$); para Trilha foi de $1.814,583 \pm 22,342$ ($1.752,789-1.968,96$); para o ambiente do interior do fragmento foi de $1.810,602 \pm 16,292$ ($1.772,245-1.984,196$).

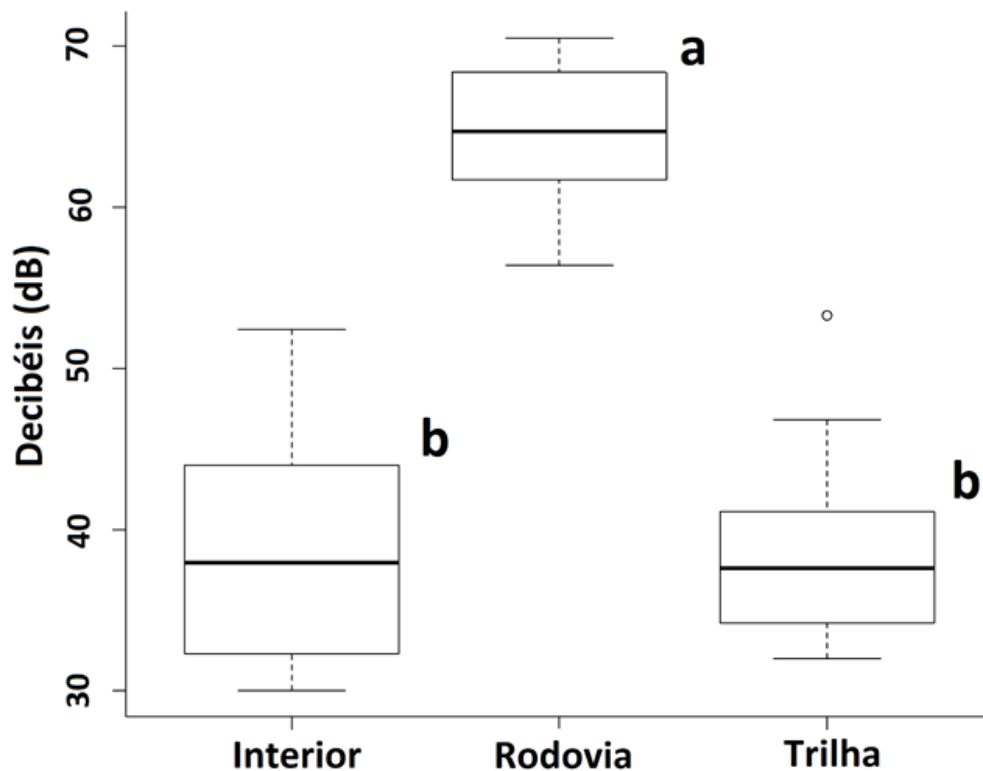


Figura 3. Diferença na poluição sonora, em decibéis (dB), nos diferentes ambientes amostrados, diferentes letras indicam tratamentos que exibiram diferença estatística ($F_{2,27}=52,38$; $p<0,001$). Linhas verticais tracejadas indicam erro padrão, linha espessa horizontal indica mediana.

Foram identificadas 34 espécies de aves através dos sinais acústicos amostrados (Anexo1; Anexo2). Na Rodovia foram identificadas 32 espécies, das quais *Nothura maculosa*, *Crax fasciolata* e *Anthus lutescens* foram exclusivas. Na Trilha também foram identificadas 32 espécies das quais apenas *Megascops choliba* foi exclusiva. No Interior foram identificadas 26 espécies, nenhuma exclusiva desse ambiente.

A composição de espécies variou significativamente de acordo com o ambiente amostrado (ANOSIM=0,126; $p=0,021$; stress=0,227; Fig. 5a). A comunidade de aves da Trilha diferiu significativamente da comunidade da Rodovia (ANOSIM=0,174; $p=0,02$; stress=0,212; Fig. 5b), e da comunidade do Interior (ANOSIM=0,209; $p=0,018$; stress=0,155; Fig. 5d). Em contrapartida, a Rodovia e o Interior não diferiram significativamente entre si (ANOSIM=0,043; $p=0,72$; stress=0,220; Fig. 5c).

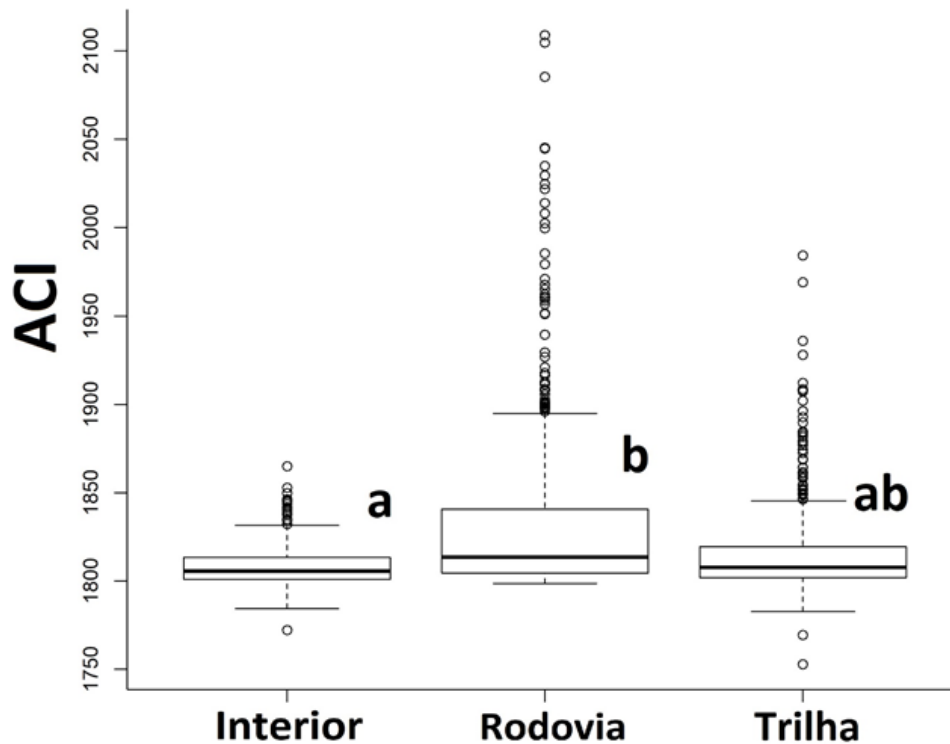


Figura 4. Diferença no Índice de Complexidade Acústica (ACI) entre os diferentes ambientes amostrados, diferentes letras indicam ambientes que foram estatisticamente diferentes ($\chi^2 = 8,32$; $gl = 2$; $p = 0,015$). Linhas verticais tracejadas indicam erro padrão, linha espessa horizontal indica mediana.

Quando levado em consideração apenas os ambientes com baixa poluição sonora (Trilha e Interior) as espécies que ocorreram apenas nesses dois locais foram *Megascops choliba* (Trilha) e *Nyctalus maculatus* (Trilha e Interior) (Fig. 6). Ambas vocalizam em baixas bandas de frequência, sendo 0,8-0,9kHz (n=5) e 1,3kHz-1,8kHz (n=7), respectivamente.

DISCUSSÃO

A primeira hipótese de que a produção acústica das aves seria reduzida próximo à rodovia, onde os ambientes apresentam maiores níveis de poluição sonora foi refutada. O ACI apresentou valores maiores justamente nesses ambientes, sugerindo que as aves empregam mais energia para comunicação nesses locais. Em contrapartida, a segunda hipótese, de que os três diferentes ambientes apresentariam diferente composição de espécies foi parcialmente corroborada, pois os ambientes próximos às trilhas apresentaram diferentes composições em relação aos outros dois amostrados. Porém os ambientes próximos à rodovia e no interior do fragmento não diferenciaram significativamente entre si. A terceira hipótese, de que as aves que não ocorressem nas áreas de maior poluição sonora utilizariam a faixa de frequência de 0-

3kHz na comunicação acústica se mostrou verdadeira. *Nystalus maculatus* é um buconídeo que não foi registrado nas áreas próximas à rodovia, apenas próximo à trilha e no interior do fragmento no CCPIU. Isto sugere que essa espécie evita áreas com maiores níveis de poluição sonora, uma vez que ela emite sinais acústicos em uma faixa de frequência que pode ser facilmente mascarada pelo ruído.

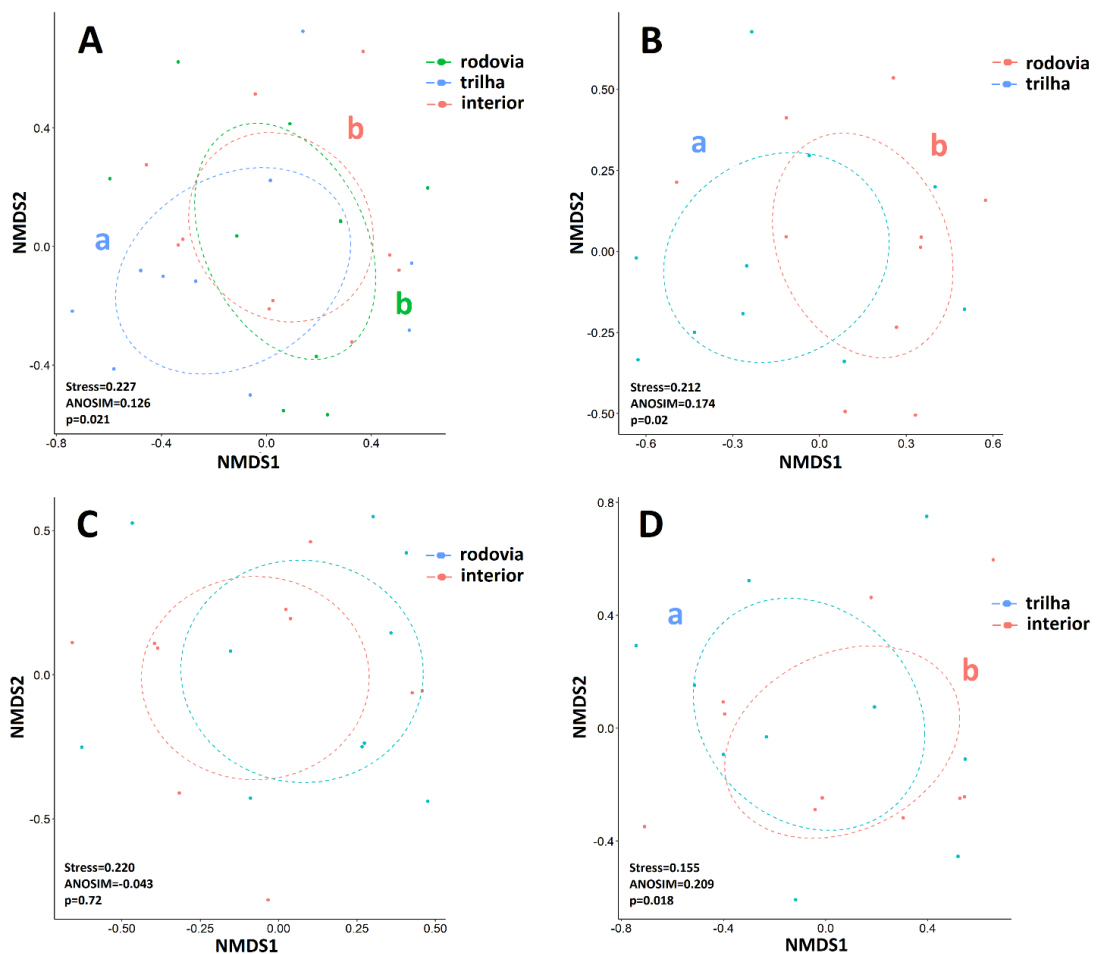


Figura 5. NMDS da composição de aves nos três ambientes amostrados, rodovia, trilha e interior, em ambas as reservas (ANOSIM=0,126; p=0,021; stress=0,227), (A). Comparação par a par entre Rodovia e Trilha (ANOSIM=0,174; p=0,02; stress=0,212), (B); Rodovia e Interior (ANOSIM=-0,043; p=0,72; stress=0,220), (C); Trilha e Interior (ANOSIM=0,209; p=0,018; stress=0,155), (D). Diferentes letras indicam comunidades que diferiram em composição nas análises par a par.



Figura 6. Fotos de *Megascops choliba* (A) e *Nystalus maculatus* (B). (Fotos: Gabriele Andreia da Silva).

O horário de maior produção acústica das aves foi coincidente com o de maior tráfego de veículos, afetando principalmente os ambientes próximos à rodovia, onde os níveis de decibéis se mostraram maiores. Isto indica que as aves do cerrado sofrem pressão direta do efeito da poluição sonora, competindo com ela diariamente para se comunicarem e se manterem nos ambientes. A exposição crônica ao ruído pode afetar negativamente as aves de diversas formas, leks de machos de *Centrocercus urophasianus* em exibição em áreas com a presença de ruído apresentam elevados níveis de corticosteroide (hormônio de estresse) quando comparados com grupo controle (Blickley et al. 2012). Fêmeas de *Passer domesticus* ofertam menor quantidade de comida para os filhotes, quando próximas de uma fonte de poluição sonora, se comparadas com fêmeas procriando em áreas com melhor qualidade acústica. Uma possível explicação para isso seria que a comunicação fêmea-prole fica comprometida devido ao mascaramento de seus sinais acústicos nas regiões com poluição sonora (Schroeder et al. 2012). *Fringilla coelebs*, quando exposta à regiões com grande intensidade de ruído, aumenta a vigilância através da visão, devido à dificuldade de detectar predador auditivamente nesses ambientes, e com isso diminui a taxa de alimentação da espécie, já que a vigilância exige que o animal fique com a cabeça erguida por mais tempo (Quinn et al. 2006). Esses são alguns exemplos de como a poluição sonora afeta as aves, e demonstra que as respostas a esse tipo de pressão são espécie-específicas.

Diferente do esperado, o ACI revelou que próximo à rodovia existe a maior complexidade acústica dentre os três ambientes amostrados nas reservas. Apesar dos veículos gerarem os ruídos detectados pelos gravadores, o valor elevado de ACI próximo à fonte da poluição sonora não pode ser atribuído ao tráfego de veículos. Diferente dos sinais acústicos

produzido pelas aves, a poluição sonora é caracterizada por uma relativa constância em sua intensidade e essa característica produz valores de ACI reduzidos (Pieretti e Farina 2013).

O aumento do ACI próximo à rodovia pode ser atribuído principalmente a dois fatores: aumento na amplitude do canto/chamado das aves (efeito Lombard) ou aumento na emissão de canto/chamado (princípio da redundância). O efeito Lombard consiste no aumento da amplitude vocal em resposta ao ruído elevado (Brumm e Zollinger 2011). Sabe-se que algumas aves respondem dessa forma, por exemplo *Luscinia megarhynchos* regula sua intensidade vocal dependendo do ruído, especialmente se esse ruído é emitido na mesma banda de frequência que seu canto (Brumm e Todt, 2002). Embora seja possível que as aves estudadas tenham exibido o efeito Lombard, e isso tenha contribuído para o aumento do ACI, essa questão demanda novos estudos.

Entretanto, a Rodovia exibiu um número elevado de arquivos de áudio com vocalizações de aves quando comparado com o Interior, o primeiro apresentou 2.270 arquivos de áudio enquanto que o segundo apenas 1.303. Este resultado acrescido do elevado valor de ACI exibido na Rodovia, bem como a similaridade na composição das espécies nos permite constatar que houve aumento na emissão de sinais acústicos no ambiente com maior intensidade de poluição sonora. Isso indica que as mesmas espécies, ou até os mesmos indivíduos, quando próximos da fonte de poluição sonora, alteram a emissão de seus cantos/chamados, e para tal, fazem uso do princípio da redundância. Isto é, os indivíduos precisam emitir seus sinais mais constantemente, para serem ouvidos pelos outros da comunidade (Brumm e Slater 2006). Díaz et al. (2011) relata um resultado similar com *Serinus serinus* (Fringillidae), em que os indivíduos investem mais tempo produzindo sinais acústicos em ambientes com alto nível de poluição sonora, até que a poluição atinja 70dB, nível no qual a produção acústica diminui drasticamente. Os autores sugerem que acima desse limite de ruído os indivíduos gastariam muito tempo produzindo sinais sonoros, o que comprometeria outras atividades como forragear, detectar predadores, ou mesmo detectar os sinais de seus coespecíficos. As diferenças apresentadas na composição de espécies entre a Trilha e os outros dois ambientes podem ser atribuídas a diferenças intrínsecas no comportamento vocal das espécies que ocorreram na Trilha, e não necessariamente causada pela diferença na poluição sonora entre os ambientes.

As espécies, quando submetidas à poluição sonora, tendem a se adaptar de alguma forma para manter a comunicação entre os indivíduos, muitas vezes investindo mais energia do que seria o habitual em ambientes sem esse tipo de pressão. Em outros casos, espécies

mais sensíveis necessitam abandonar as áreas, fazendo com que sua ocorrência fique cada vez mais limitada aos ambientes com ótima qualidade acústica, o que é cada vez mais raro hoje em dia (Francis et al. 2009).

Duas espécies não ocorreram nos ambientes próximo à rodovia, sugerindo preferência por ambientes com menor intensidade de poluição sonora, *M. choliba* (Trilha) e *N. maculatus* (Trilha, Interior). *Megascops choliba* também foi registrada nos outros ambientes (Rodovia e Interior), porém fora do horário utilizado para as análises nesse estudo (entre 6 e 18h), sendo uma espécie de hábitos noturnos (Gwynne et al. 2010). O horário utilizado para a produção de seus sinais acústicos não coincide com o horário de maior tráfego de veículos, ou seja, de maior poluição sonora. Dessa forma, essa espécie não sofreria pressão direta desse tipo de poluição. Entretanto, *N. maculatus* é uma espécie que ocorreu durante o período de amostragem, em que a poluição sonora é mais intensa, e não houve registros acústicos dessa espécie próximo à rodovia, corroborando uma de nossas hipóteses iniciais. A frequência dominante de *N. maculatus* varia de 1,3kHz-1,8kHz (n=7), faixa de frequência ocupada pela maior parte da energia da poluição sonora, o que reforça que essa espécie seja prejudicada nos ambientes próximos à rodovia. Dessa forma, o não registro dessa espécie na Rodovia sugere sua sensibilidade a esse tipo de pressão, fazendo com que evite lugares de baixa qualidade acústica, pois seus sinais seriam facilmente mascarados pelo ruído gerado pelos automóveis, uma vez que ocupa baixas faixas de frequência na emissão de sinais sonoros (Francis et al. 2011; Rheindt 2003).

Assim, medidas mitigatórias, com o intuito de reduzir a poluição sonora em áreas de ocorrência de *N. maculatus*, se fazem necessárias para beneficiar tanto a população dessa espécie como potencialmente de outras espécies sensíveis a esse tipo de pressão. Infelizmente grande parte das medidas mitigatórias sugeridas em estudos anteriores – como construção de rodovias rebaixadas, construção de túneis, bloqueio de estradas, redução de fluxo de veículos em determinadas épocas do ano – se tornam inviáveis, principalmente em rodovias que cruzam grandes áreas, como Unidades de Conservação, devido ao prejuízo financeiro que elas trariam (Slabbekoorn e Ripmeester 2008). Em contrapartida, cada vez mais a tecnologia se mostra uma aliada extremamente valiosa para a resolução de problemas ambientais. Com o investimento em tecnologia é possível que, dentro de algumas décadas, a frota de veículos altamente poluente de hoje seja substituída por veículos elétricos, fazendo com que os níveis de poluição sonora, tanto dentro das cidades, como em ambientes naturais, sejam reduzidos (Campello-Vicente et al. 2017).

Os resultados do presente estudo revelam que as aves de ambas as reservas disputam o espaço acústico com a poluição sonora gerada pelo tráfego de veículos. O ambiente mais próximo à rodovia, que está exposto ao maior nível de poluição sonora foi o ambiente com maior complexidade acústica. Apontamos que as aves deste local precisam empregar mais energia na produção de sinais acústicos para que o organismo receptor do sinal consiga receber a mensagem enviada, com a menor probabilidade que o som seja mascarado por ruídos provenientes de ação antrópica. Aparentemente a espécie *N. maculatus* evita áreas com poluição sonora, preferindo produzir sinais acústicos onde esse tipo de pressão é menor, sendo assim prejudicada com a redução de sua área de ocorrência.

Monitoramentos que abranjam áreas maiores nas reservas, diferentes ambientes, e, principalmente, que contemplem outros períodos do ano, são necessários para que obtenhamos, além de respostas espaciais, também respostas temporais. Mais estudos direcionados a espécies alvo na região são necessários para que se tenha melhor compreensão de como a poluição sonora está afetando a biodiversidade local. Isto permitiria criar ou aperfeiçoar planos de manejo adequados para a conservação de aves e outros animais que tem no som o principal meio de comunicação.

No presente estudo verificamos que os horários de maior atividade acústica das aves coincidiram com os horários de maior tráfego de veículos, isso reflete a competição diária que esse grupo enfrenta para estabelecer uma comunicação efetiva na comunidade. Os maiores valores de índice acústico, somados ao maior número de arquivos de áudio com vocalização de aves, próximo à rodovia mostra que esse ambiente apresenta uma atividade acústica maior, isso pode ser explicado pelo efeito da redundância, no qual os animais aumentam a taxa de emissão dos sinais sonoros na tentativa de estabelecer uma comunicação mais efetiva entre os indivíduos. Sugerimos que *Nystalus maculatus* seja uma espécie sensível à poluição sonora, não sendo registrada apenas próximo à rodovia, onde o nível de poluição sonora se mostrou mais elevado. Dessa forma existe a necessidade de novos estudos sobre o impacto da poluição sonora sobre as aves da região para que possamos desenvolver medidas mitigatórias e dessa forma reduzir o impacto sofrido pelas espécies.

REFERÊNCIAS

- Acevedo MA, Villanueva-Rivera LJ. 2006. From the field: Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians. *Wildl Soc Bull.* 34(1): 211–214. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[211:UADRSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[211:UADRSA]2.0.CO;2)
- Aresco MJ. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *J Wildl Manag.* 69(2): 549–560. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069\[0549:MMTRHM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069[0549:MMTRHM]2.0.CO;2)
- Blickley JL, Word KR, Krakauer AH, Phillips JL, Sells SN, Taff CC, Wingfield JC, Patricelli GL. 2012. Experimental chronic noise is related to elevated fecal corticosteroid metabolites in lekking male greater sage-grouse (*Centrocercus urophasianus*). *PLoS one.* 7(11): e50462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050462>
- Brumm H, Todt D. 2002. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Anim behav.* 63(5): 891–897. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1968>
- Brumm H. 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *J Anim Ecol.* 73(3): 434–440. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00814.x>
- Brumm H, Slater, PJ. 2006. Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. *Behav Ecol Sociobiol.* 60(4): 475–481. <https://doi.org/10.1007/s00265-006-0188-y>
- Brumm H, Zollinger SA. 2011. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour.* 148(11-13): 1173–1198. <https://doi.org/10.1163/000579511X605759>
- Campello-Vicente H, Peral-Orts R, Campillo-Davo N, Velasco-Sanchez E. 2017. The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Appl Acoust.* 116: 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.018>
- Cartwright LA, Taylor DR, Wilson DR, Chow-Fraser P. 2013. Urban noise affects song structure and daily patterns of song production in Red-winged Blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). *Urban Ecosyst.* 17(2): 561–572. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0318-z>
- Delgado MM, Penteriani V. 2006. Vocal behaviour and neighbour spatial arrangement during vocal displays in eagle owls (*Bubo bubo*). *J. Zool.* 271: 3–10. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00205.x>
- Díaz M, Parra A, Gallardo C. 2011. Serins respond to anthropogenic noise by increasing vocal activity. *Behav Ecol.* 22(2): 332–336. <https://doi.org/10.1093/beheco/arq210>
- Eiten G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Bot Rev.* 38(2): 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>

- Farnsworth A. 2005. Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *Auk*. 122(3): 733–746. <https://doi.org/10.1093/auk/122.3.733>
- Francis CD, Ortega CP, Cruz A. 2009. Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Curr Biol*. 19(16): 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>
- Francis CD, Ortega CP, Cruz A. 2010. Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two suboscine tyrant flycatchers. *Proc R Soc B*. 278(1714): 2025–2031. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1847>
- Francis CD, Ortega CP, Cruz A. 2011. Noise pollution filters bird communities based on vocal frequency. *PLoS one*, 6(11): e27052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027052>
- Fuller RA, Warren PH, Gaston KJ. 2007. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biol Lett*. 3(4): 368–370. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0134>
- Goines L, Hagler L. 2007. Noise pollution: a modern plague. *South Med J*. 100(3): 287. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3180318be5>
- Goodwin SE, Shriver WG. 2010. Effects of traffic noise on occupancy patterns of forest birds. *Conserv Biol*. 25:406–411. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01602.x>
- Green S, Marler P. 1979. The Analysis of Animal Communication. In: Marler P, Vandenberg JG. *Social Behavior and Communication*. Springer, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9116-0>
- Gwynne JA, Ridgely RS, Argel M, Tudor G. 2010. *Guia Aves do Brasil: Pantanal e Cerrado Vol 1 [Bird Guide of Brazil: Pantanal and Cerrado Vol 1]*. São Paulo (SP): Horizonte. Brazil.
- Habib L, Bayne EM, Boutin S. 2007. Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla*. *J Appl Ecol*. 44(1): 176–184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01234.x>
- Halfwerk W, Holleman LJ, Lessells CKM, Slabbekoorn H. 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *J Appl Ecol*. 48(1): 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01914.x>
- Hell P, Plavý R, Slamečka J, Gašparík J. 2004. Losses of mammals (Mammalia) and birds (Aves) on roads in the Slovak part of the Danube Basin. *Eur J Wildl Res*. 51(1): 35–40. <https://doi.org/10.1007/s10344-004-0068-6>
- Kozel RM, Fleharty ED. 1979. Movements of rodents across roads. *Southwest Nat*. 24(2): 239–248. <https://doi.org/10.2307/3670921>
- Kroodsma DE, Byers BE. 1991. The function (s) of bird song. *Am Zool*. 31(2): 318–328. <https://doi.org/10.1093/icb/31.2.318>

- Lowry H, Lill A, Wong BB. 2012. How noisy does a noisy miner have to be? Amplitude adjustments of alarm calls in an avian urban ‘adapter’. *PLoS One*, 7(1): e29960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029960>
- Machado RB, Aguiar L, Jones G. 2017. Do acoustic indices reflect the characteristics of bird communities in the savannas of Central Brazil? *Landscape Urban Plan.* 162: 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.01.014>
- Mader HJ. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biol Conserv.* 29(1): 81–96. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(84\)90015-6](https://doi.org/10.1016/0006-3207(84)90015-6)
- Malacco GB, Pioli D, Junior ES, Franchin AG, Melo C, Silva AM, Pedroni F. 2013. Avifauna da Reserva do Clube Caça e Pesca Itororó de Uberlândia [Birds of Clube Caça e Pesca Itororó Reserve from the municipality of Uberlândia]. *Atualidades Ornitológicas.* 173: 58-71.
- Marçal-Júnior O, Franchin AG, Alteff EF, Silva Júnior ELD, Melo CD. 2009. Levantamento preliminar da avifauna na Reserva Ecológica do Panga [Preliminary bird survey at Panga Ecological Reserve] (Uberlândia, MG, Brasil). *Biosci j.* 25(6): 149-164.
- Marler P. 2004. Bird calls: their potential for behavioral neurobiology. *Ann N Y Acad Sci.* 1016(1): 31–44. <https://doi.org/10.1196/annals.1298.034>
- Moszynski, P. 2011. WHO warns noise pollution is a growing hazard to health in Europe. *BMJ.* 342:2114. <https://doi.org/10.1136/bmj.d2114>
- Munro J, Williamson I, Fuller S. 2017. Traffic noise impacts on urban forest soundscapes in south-eastern Australia. *Austral Ecol.* 43(2): 180–190. <https://doi.org/10.1111/aec.12555>
- Odom KJ, Mennill DJ. 2010. A quantitative description of the vocalizations and vocal activity of the Barred Owl. *Condor.* 112(3): 549–560. <https://doi.org/10.1525/cond.2010.090163>
- Oxley DJ, Fenton MB, Carmody GR. 1974. The effects of roads on populations of small mammals. *J Appl Ecol.* 11(1): 51–59. <https://doi.org/10.2307/2402004>
- Piacentini VDQ, Aleixo A, Agne CE, Maurício GN, Pacheco JF, Bravo GA, Brito GRR, Naka LN, Olmos F, Posso S, et al. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Rev Bras Ornit.* 23(2): 91–298. <https://doi.org/10.1007/BF03544294>
- Pieretti N, Farina A, Morri D. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecol Indic.* 11(3): 868–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>

Pieretti N, Farina A. 2013. Application of a recently introduced index for acoustic complexity to an avian soundscape with traffic noise. *J Acoust Soc Am.* 134(1): 891–900. <https://doi.org/10.1121/1.4807812>

Pracucci A, da Rosa CA, Bager A. 2012. Variação sazonal da fauna selvagem atropelada na rodovia MG 354, Sul de Minas Gerais–Brasil [Seasonal variation of run-down wildlife on MG-354 highway, Southern Minas Gerais–Brazil]. *Biotemas*, 25(1): 73–79. Brazil. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n1p73>

Quinn JL, Whittingham MJ, Butler SJ, Cresswell W. 2006. Noise, predation risk compensation and vigilance in the chaffinch *Fringilla coelebs*. *J Avian Biol.* 37(6): 601–608. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0908-8857.03781.x>

R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

Rheindt FE. 2003. The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *J. Ornithol.* 144(3): 295–306. <https://doi.org/10.1007/BF02465629>

Rubenstein DR, Alcock J. 2019. *Animal behavior*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.

Schroeder J, Nakagawa S, Cleasby IR, Burke T. 2012. Passerine birds breeding under chronic noise experience reduced fitness. *PLoS one*, 7(7): e39200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039200>

Shonfield J, Bayne E. 2017. Autonomous recording units in avian ecological research: current use and future applications. *Avian Conserv Ecol.* 12(1):14. <https://doi.org/10.5751/ACE-00974-120114>

Slabbekoorn H, Peet M. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature.* 424: 267–267. <https://doi.org/10.1038/424267a>

Slabbekoorn H, Ripmeester EAP. 2008. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Mol Ecol.* 17(1): 72–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03487.x>

Sun JW, Narins PM. 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biol Conserv.* 121(3): 419–427. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.05.017>

Swaddle JP, Page LC. 2007. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution. *Anim Behav.* 74(3): 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.004>

- Tolentino VC, Baesse CQ, de Melo C. 2018. Dominant frequency of songs in tropical bird species is higher in sites with high noise pollution. *Environ Pollut.* 235: 983–992. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.045>
- Turner A, Fischer M, Tzanopoulos J. 2018. Sound-mapping a coniferous forest—Perspectives for biodiversity monitoring and noise mitigation. *PloS one.* 13(1): e0189843. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189843>
- Villanueva-Rivera LJ, Pijanowski BC. 2018. Soundecology: Soundscape Ecology.R package version 1.3.3. [accessed 2019 Nov 20]. <https://CRAN.R-project.org/package=soundecology>.
- Wood WE, Yezzinac SM. 2006. Song sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. *Auk.* 123: 650–659. <https://doi.org/10.1093/auk/123.3.650>
- Zollinger SA, Slater PJ, Nemeth E, Brumm H. 2017. Higher songs of city birds may not be an individual response to noise. *Proc R Soc B.* 284(1860): 20170602. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0602>

ANEXOS

Anexo 1. Lista de espécies registradas utilizando gravadores acústicos *SM2 (Wildlife Acoustics, Inc)* no CCPIU e na REP, entre os meses março e julho de 2019. Reserva: CCPIU= Clube caça e pesca Itororó Uberlândia; REP= Reserva Ecológica do Panga. Ambiente: R= rodovia; T= trilha; I= interior.

Nome científico	Nome popular	Nome inglês	Reserva	Ambiente
<i>Crypturellus undulatus</i>	jaó	Undulated Tinamou	REP	R; T; I
<i>Crypturellus parvirostris</i>	inhambu-chororó	Small-billed Tinamou	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Nothura maculosa</i>	codorna-amarela	Spotted Nothura	CCPIU	R
<i>Crax fasciolata</i>	mutum-de-penacho	Bare-faced Curassow	REP	R
<i>Theristicus caudatus</i>	curicaca	Buff-necked Ibis	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Rupornis magnirostris</i>	gavião-carijó	Roadside Hawk	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Caracara plancus</i>	carcará	Southern Caracara	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Hepertothes cachinnans</i>	acauã	Laughing Falcon	CCPIU	R; T; I
...continua...				

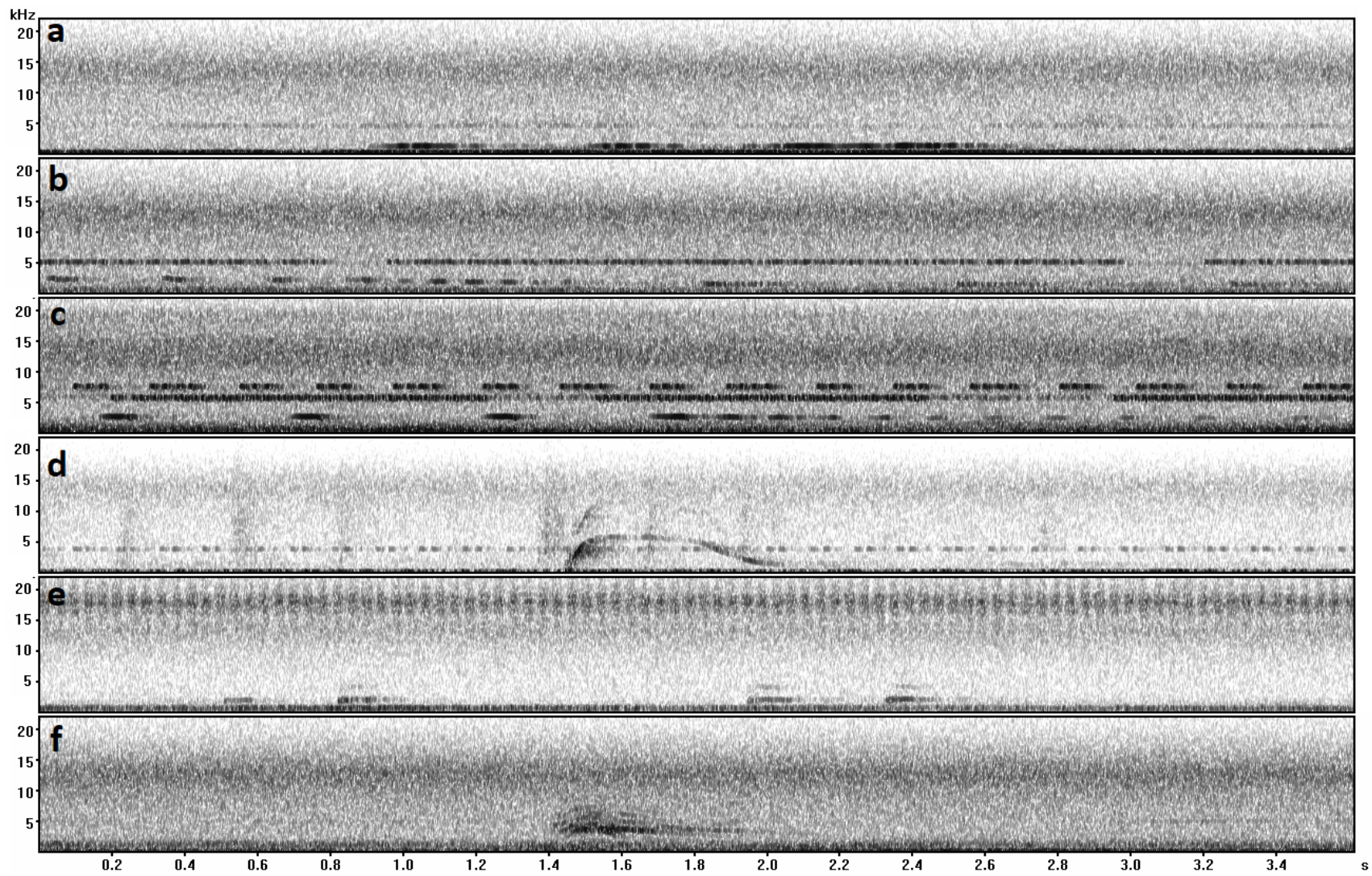
Anexo 1, cont.

<i>Cariama cristata</i>	seriema	Red-legged Seriema	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Columbina talpacoti</i>	rolinha;	Ruddy Ground-Dove	CCPIU; REP	R;T
<i>Columbina squammata</i>	fogo-apagou	Scaled Dove	CCPIU; REP	R;T
<i>Patagioenas picazuro</i>	asa-branca	Picazuro Pigeon	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Zenaida auriculata</i>	avoante	Eared Dove	CCPIU	R; T; I
<i>Megascops choliba</i>	corujinha-do-mato	Tropical Screech-Owl	REP	T
<i>Nyctidromus albicollis</i>	bacurau	Common Pauraque	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Nystalus maculatus</i>	rapazinho-dos-velhos	Spot-backed Puffbird	CCPIU	T; I
	Tucanuçu, tucano-grande,		CCPIU; REP	
<i>Ramphastos toco</i>	tucano-boi	Toco Toucan		R; T; I
<i>Picumnus albosquamatus</i>	picapauzinho-escamoso	White-wedged Piculet	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Thamnophilus doliatus</i>	choca-barrada	Barred Antshrike	CCPIU; REP	R; T
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	curutié	Yellow-chinned Spinetail	CCPIU	R; T; I
<i>Phacellodomus ruber</i>	graveteiro	Greater Thornbird	CCPIU	R; T; I
<i>Cnemotriccus fuscatus</i>	guaracavuçu	Fuscous Flycatcher	CCPIU	R; T; I

...continua...

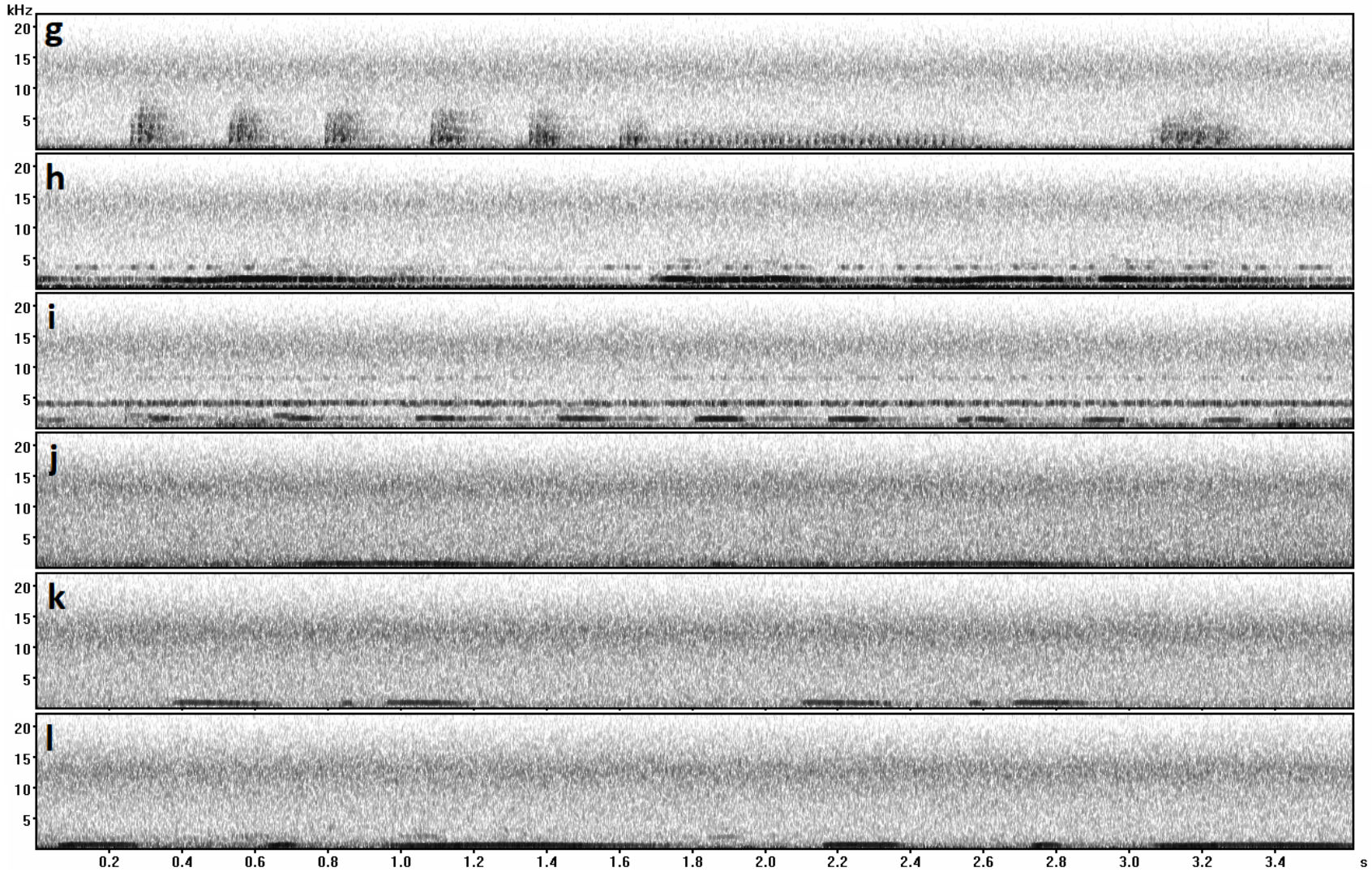
Anexo 1, cont.

<i>Pitangus sulphuratus</i>	bem-te-vi	Great Kiskadee	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Megarynchus pitangua</i>	neinei	Boat-billed Flycatcher	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Myiarchus ferox</i>	maria-cavaleira	Short-crested Flycatcher	CCPIU; REP	R; T; I
	maria-cavaleira-de-rabo-		CCPIU; REP	
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	enferrujado	Brown-crested Flycatcher		R; T; I
		Rufous-browed	CCPIU; REP	
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	pitiguari	Peppershrike		R; T; I
<i>Turdus leucomelas</i>	sabiá-branco	Pale-breasted Thrush	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Anthus lutescens</i>	caminheiro-zumbidor	Yellowish Pipit	CCPIU	R
<i>Myiothlypis flaveola</i>	canário-do-mato	Flavescent Warbler	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Volatinia jacarina</i>	tiziu	Blue-black Grassquit	CCPIU	R; T
<i>Sporophila caerulescens</i>	coleirinho	Double-collared Seedeater	CCPIU	R; T; I
<i>Gnorimopsar chopi</i>	pássaro-preto	Chopi Blackbird	CCPIU; REP	R; T; I
<i>Euphonia chlorotica</i>	fim-fim	Purple-throated Euphonia	CCPIU	R; T



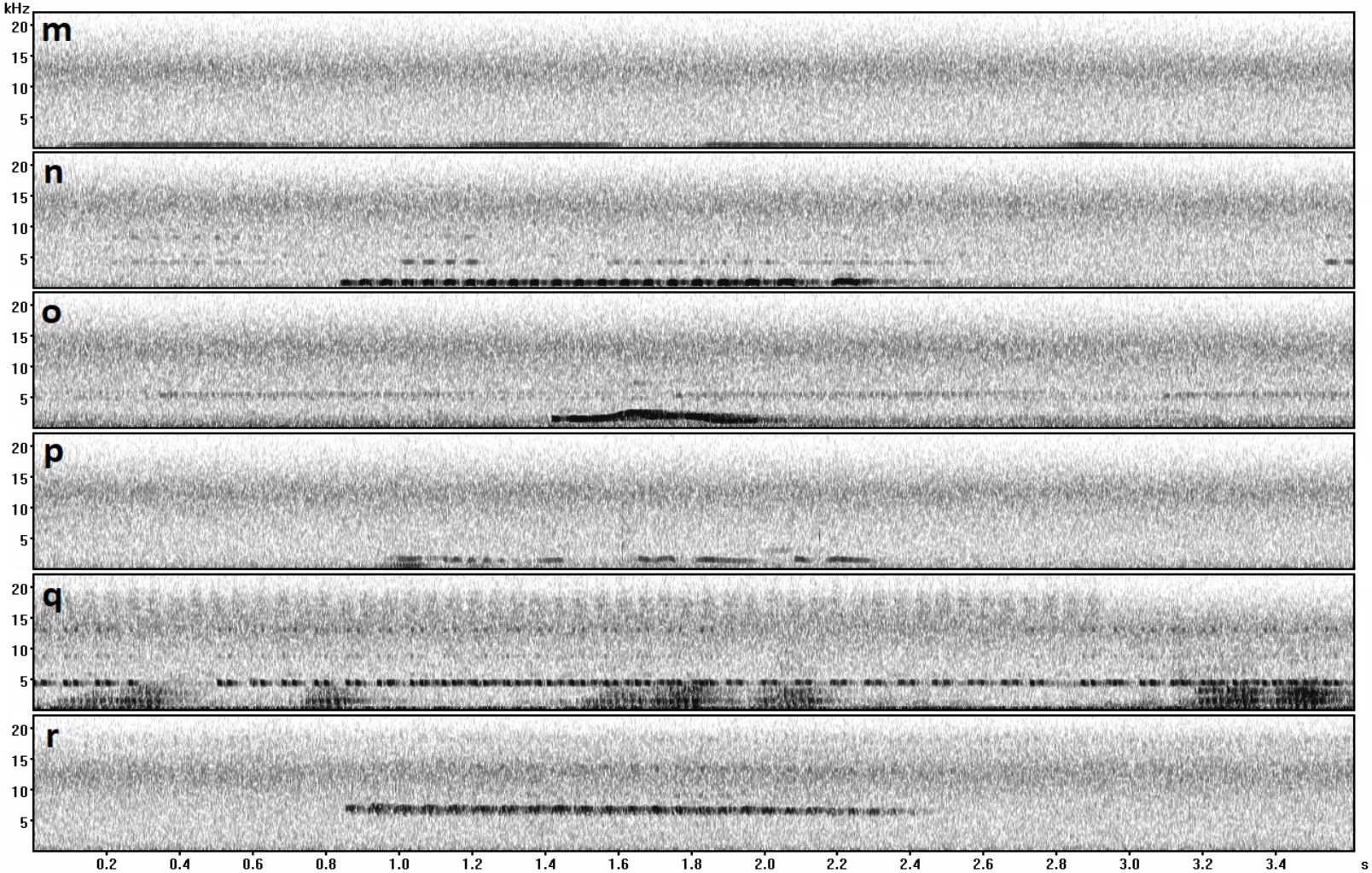
... continua...

Anexo 2, cont.



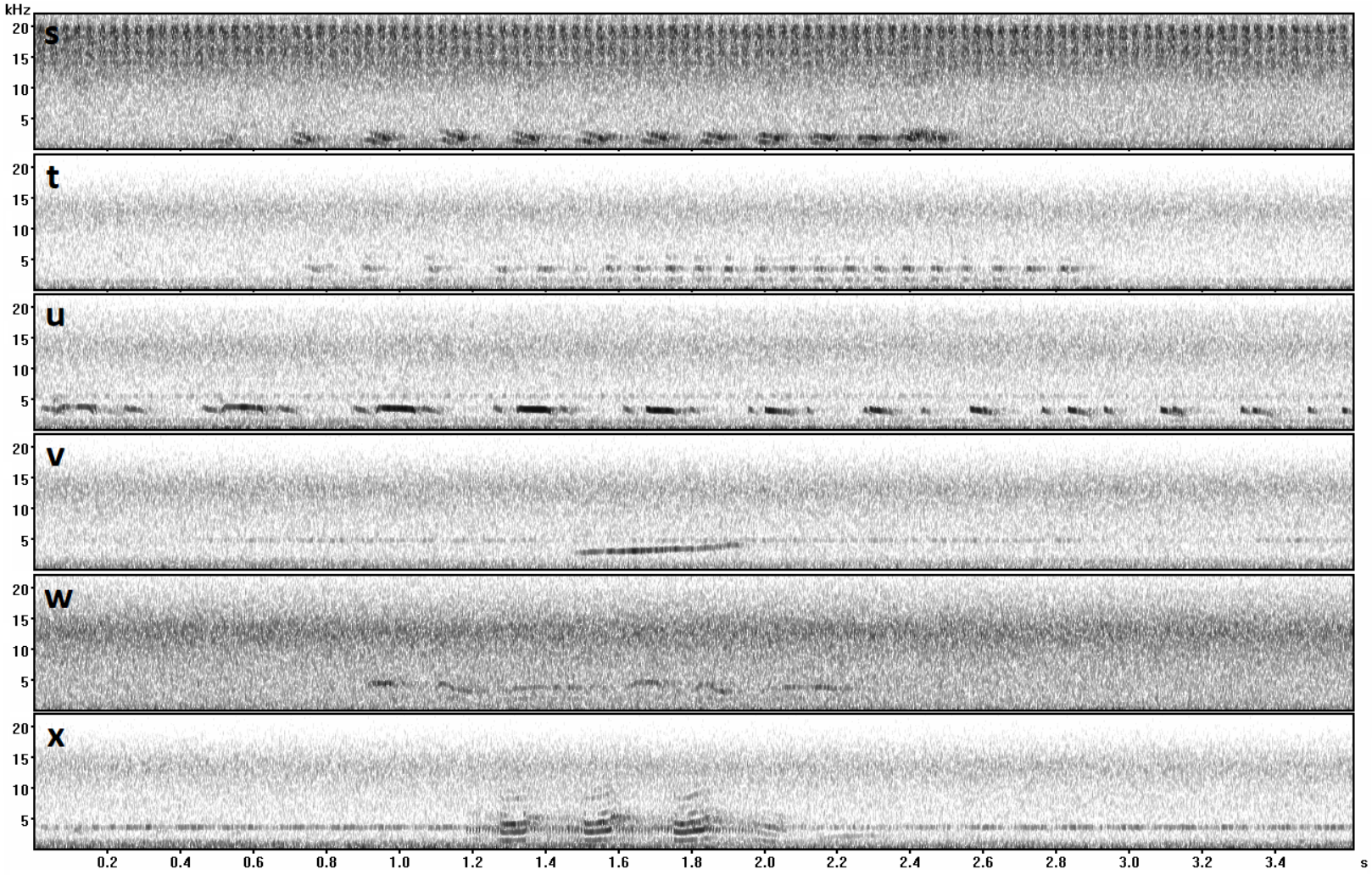
... continua...

Anexo 2, cont.



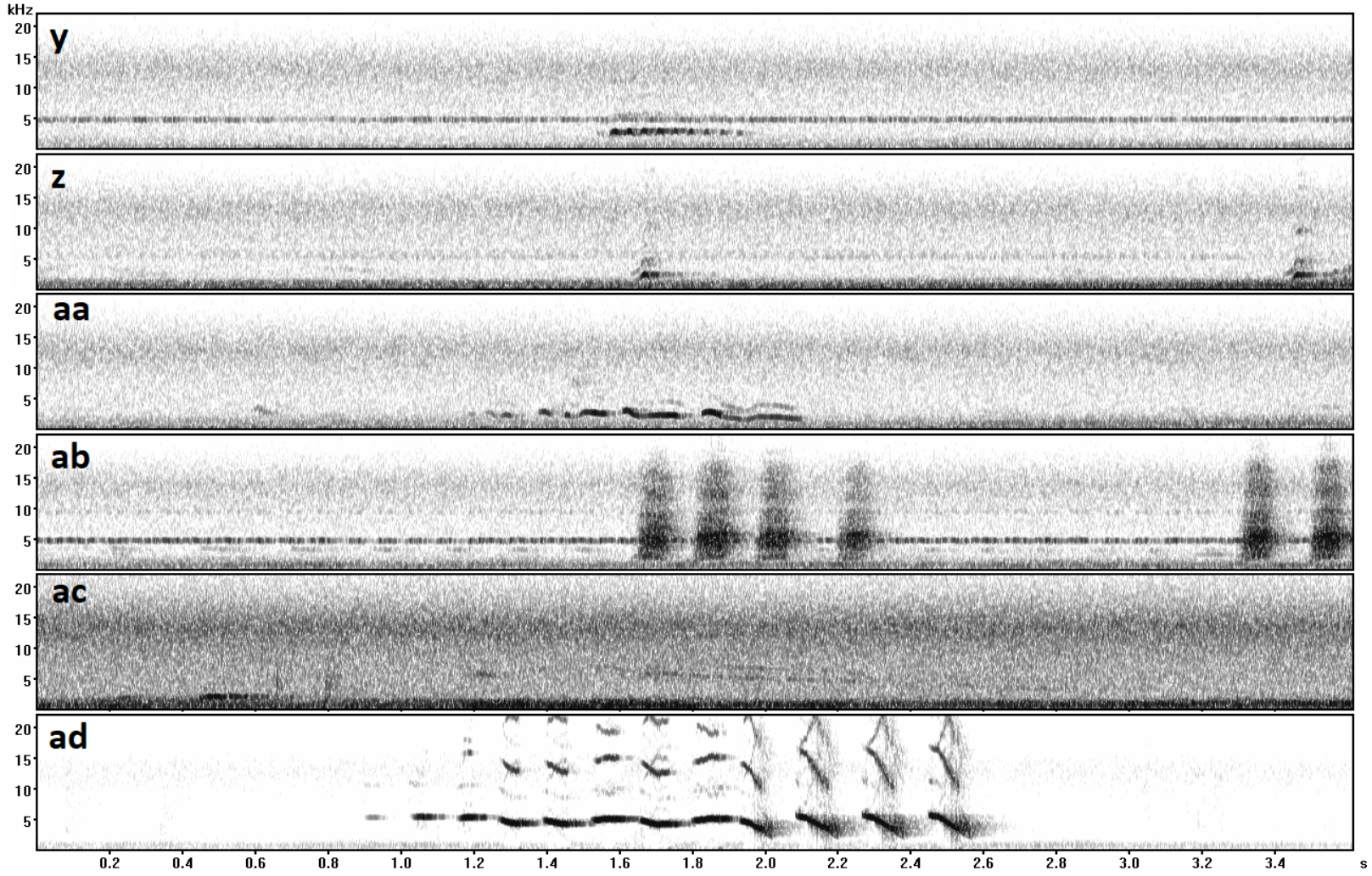
... continua...

Anexo 2, cont.



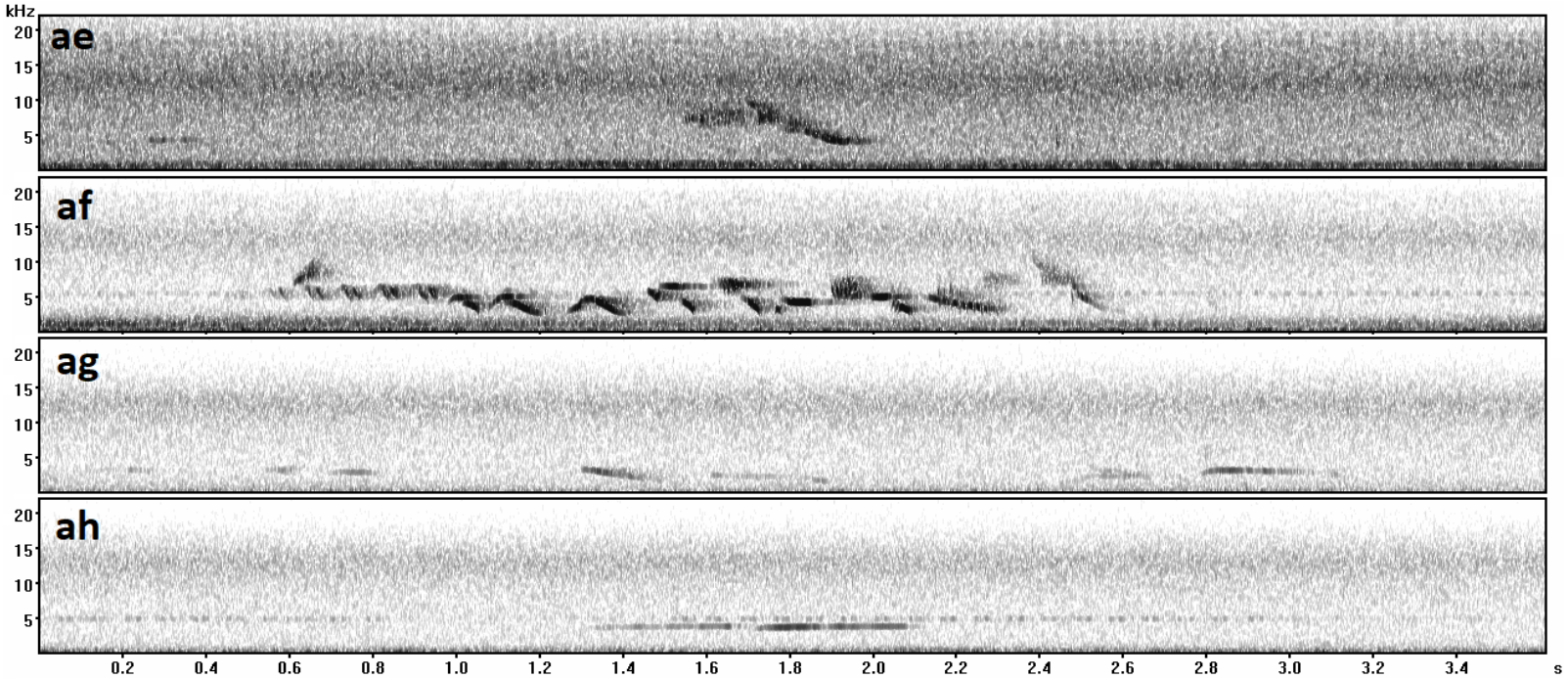
... continua...

Anexo 2, cont.



... continua...

Anexo 2, cont.



Anexo 2. Sonogramas dos sinais acústicos produzidos pelas espécies registradas no estudo, utilizando gravadores acústicos SM2 (*Wildlife Acoustics, Inc*), no Clube Caça e Pesca Itororó Uberlândia (CPIU) e na Reserva Ecológica do Panga (REP), entre os meses de março e julho de 2019; (a)*Crypturellus undulatus*; (b)*Crypturellus parvirostris*; (c)*Nothura maculosa*; (d)*Crax fasciolata*; (e)*Theristicus caudatus*; (f)*Rupornis magnirostris*; (g)*Caracara plancus*; (h)*Hepertothes cachinnans*; (i)*Cariama cristata*; (j)*Columbina talpacoti*; (k)*Columbina squammata*; (l)*Patagioenas picazuro*; (m)*Zenaida auriculata*; (n)*Megascops choliba*; (o)*Nyctidromus albicollis*; (p)*Nystalus maculatus*; (q)*Ramphastos toco*; (r)*Picumnus albosquamatus*; (s)*Thamnophilus doliatus*; (t)*Certhiaxis cinnamomeus*; (u)*Phacellodomus ruber*; (v)*Cnemotriccus fuscatus*; (w)*Pitangus sulphuratus*; (x)*Megarynchus pitangua*; (y)*Myiarchus ferox*; (z)*Myiarchus tyrannulus*; (aa)*Cyclarhis gujanensis*; (ab)*Turdus leucomelas*; (ac)*Anthus lutescens*; (ad)*Myiothlypis flaveola*; (ae)*Volatinia jacarina*; (af)*Sporophila caerulescens*; (ag)*Gnorimopsar chopi*; (ah) *Euphonia chlorotica*.