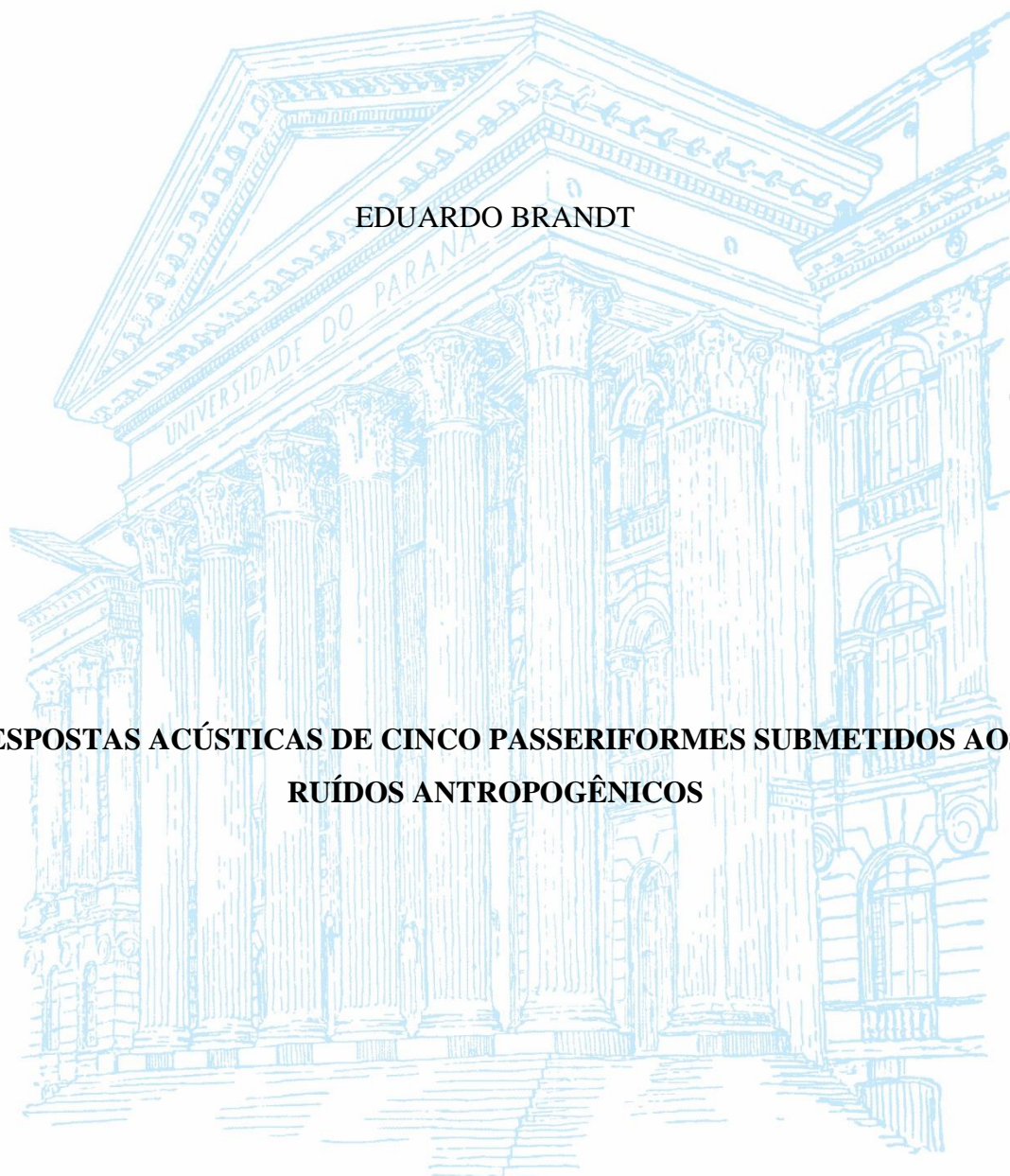


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO BRANDT

**RESPOSTAS ACÚSTICAS DE CINCO PASSERIFORMES SUBMETIDOS AOS  
RUÍDOS ANTROPOGÊNICOS**



CURITIBA  
2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**EDUARDO BRANDT**

**RESPOSTAS ACÚSTICAS DE CINCO PASSERIFORMES SUBMETIDOS AOS  
RUÍDOS ANTROPOGÊNICOS**

**CURITIBA  
2017**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO BRANDT

**RESPOSTAS ACÚSTICAS DE CINCO PASSERIFORMES SUBMETIDOS AOS  
RUÍDOS ANTROPOGÊNICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Zoologia, no Curso de Pós-Graduação em Zoologia, Setor de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Lilian Tonelli Manica

CURITIBA  
2017

Universidade Federal do Paraná  
Sistema de Bibliotecas

Brandt, Eduardo  
Respostas acústicas de cinco passeriformes submetidos aos ruídos antropogênicos. / Eduardo Brandt. – Curitiba, 2017.  
35 f. ; 30cm.

Orientador: Lilian Tonelli Manica

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

1. Ave 2. Urbanização 3. Plasticidade 4. Som produzido por animais  
I. Título II. Manica, Lilian Tonelli III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

CDD (20. ed.) 598



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
Programa de Pós-Graduação ZOOLOGIA

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **EDUARDO BRANDT** intitulada: **Respostas acústicas de cinco Passeriformes submetidos aos ruídos antropogênicos**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 27 de Junho de 2017.

LILIAN TONELLI MANICA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

MÁRCIO ROBERTO PIE

Avaliador Externo (UFPR)

JAMES JOSEPH ROPER

Avaliador Externo (UVV)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha orientadora, Prof. Dra. Lilian Tonelli Manica pela oportunidade de ingressar no Programa de Pós-Graduação (PPG), pela paciência, ensinamentos, respeito pessoal e profissional. Sua orientação foi fundamental para o bom desenvolvimento deste trabalho e, certamente, para o meu crescimento. Serei sempre grato pelas excelentes revisões em meus textos, as quais me tornaram mais crítico. É uma profissional exemplar, que admiro muito. Obrigado!

Agradeço também aos membros da banca que gentilmente se dispuseram a avaliar e contribuir com este trabalho, Prof. Dr. Márcio Pie, Prof. Dr. James Roper e ao Dr. Peterson Leivas.

Gostaria de agradecer também ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia (PPGZoo) por disponibilizar a estrutura onde foram realizadas várias atividades das disciplinas. À secretária Vanessa que sempre estava disponível para resolver todas as questões, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento ao Laboratório de Ecologia Comportamental e Ornitologia da UFPR.

Aos amigos de laboratório pela convivência durante esse período, pelas parcerias em campo, conversas e discussões sobre a história natural das aves e estatística. Não poderia deixar de citar, especialmente, dois grandes amigos que muito me ajudaram: Pedro e Gabriel. Também, agradeço à Letícia Antiquesves, Ana Beatriz, Rafael Fratoni e Thaís Verônica que gentilmente me acompanharam durante algumas etapas da coleta de dados.

Também agradeço aos amigos Pedro Calixto e Mariana Araki (japa) por dividirem comigo momentos de angústia durante as disciplinas e até aguentarem algumas grosserias minhas. No fim tudo acabou dando certo.

Gostaria também de agradecer ao Professor Dr. Luiz Fernando Fávoro, pela amizade e pelas longas conversas sobre as dificuldades encontradas na pós-graduação. Valeu, Zão!

Por fim, um agradecimento especial vai para minha esposa Luciana, que durante esses dois anos foi meu “pilar de sustentação”. Sempre acordando de madrugada para me levar aos pontos de encontro para o campo e me incentivando a seguir em frente. Obrigado por compartilhar comigo momentos incríveis.

## RESUMO

O ruído do ambiente pode prejudicar severamente a comunicação acústica dos animais. As principais fontes de ruído antropogênico são as indústrias e os meios de transporte. O ruído do tráfego pode causar impactos negativos nas populações de aves, levando à modificações nas vocalizações para evitar o mascaramento do som. Estudos indicam que o mascaramento pode interferir na comunicação, na defesa, na navegação e até na atração de parceiros. Nosso objetivo é testar se a vocalização das aves varia de acordo com o nível de ruído antropogênico. Entre outubro de 2015 e dezembro de 2016, realizamos gravações de 173 indivíduos das seguintes espécies: *Turdus rufiventris* (n=34), *Zonotrichia capensis* (n=32), *Troglodytes musculus* (n=45), *Sicalis flaveola* (n=24) e *Pitangus sulphuratus* (n=38). Os níveis de ruído em cada local de gravação foram obtidos através de um medidor de nível sonoro. Gravamos vocalizações dos indivíduos em 10 locais dentro da cidade de Curitiba, PR e em três locais rurais, distantes pelo menos 10 quilômetros de qualquer centro urbano. Para realizar as gravações, utilizamos um gravador digital Marantz PMD 661 acoplado a um microfone unidirecional Sennheiser K6/ME67 e o software Raven Pro® para analisar os seguintes parâmetros acústicos das vocalizações: duração, pico de frequência, frequência mínima e frequência máxima das notas e do canto. Realizamos análises de regressão linear para avaliar a influência do ruído nos parâmetros do canto e das notas e, também, análises de correlação entre as variáveis resposta. Nossos resultados indicam que *Z. capensis* aumenta a frequência de algumas notas em locais com alto ruído, enquanto que *T. rufiventris* canta com notas em frequências mais baixas. *Troglodytes musculus* pode alterar a duração do canto quando os ruídos são altos. *Sicalis flaveola* aumenta a frequência mínima e o pico de frequência do canto. Por fim, *P. sulphuratus* canta com notas em frequências maiores e duração do canto também aumenta quando os ruídos são elevados. Nossos resultados mostram evidências de várias adaptações onde os animais tendem a maximizar a transmissão de seus sinais de acordo com o ambiente em que vivem.

**Palavras chave: Urbanização, Aves, Vocalizações, Plasticidade.**

## ABSTRACT

Environmental noise can severely damage the acoustic communication of animals. Industries and traffic are the main sources of anthropogenic noise. Traffic noise can cause negative impacts on bird populations, leading to changes in their vocalizations to prevent the masking of their sound. Studies have indicated that masking can interfere the communication, defense, navigation and even sexual partner attraction. This study aimed to test if bird vocalization varies according to the level of anthropogenic noise. From October 2015 to December 2016, we recorded sounds of 173 individuals of the following species: *Turdus rufiventris* (n=34), *Zonotrichia capensis* (n=32), *Troglodytes musculus* (n=45), *Sicalis flaveola* (n=24) and *Pitangus sulphuratus* (n=38). Noise levels were obtained using a sound level meter in each recording location. We recorded bird vocalizations in 10 locations in the city of Curitiba, Paraná State, Brazil, and in three rural locations, distant at least 10 kilometers from any urban center. We used Marantz PMD 661 digital recorder coupled to a Sennheiser K6/ME67 unidirectional microphone to make the recordings, and the Raven Pro® software to analyze the following acoustic parameters of vocalizations: duration, peak frequency, minimum and maximum frequencies of notes and songs. We used linear regression analysis to evaluate the influence of noise on parameters of notes and songs, as well as correlation analysis between response variables. We found that *Z. capensis* increases the frequency of notes in places with high noise, whereas *T. rufiventris* produces notes in lower frequencies. *Troglodytes musculus* can change its song duration when noises are higher. Under this same condition, *S. flaveola* increases the minimum frequency and peak frequency of its songs. Finally, *P. sulphuratus* produce notes at higher frequencies and longer songs when noises are high. In sum, we found evidence of bird adaptations to maximize the transmission of their signals according to the environment in which they live.

**Keywords: Urbanization, Birds, Vocalizations, Plasticity.**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de um gráfico de espectro de potência ( <i>power spectrum</i> ) de uma nota de <i>Turdus rufiventris</i> , produzido no programa Raven Pro®. O eixo Y apresenta a escala em decibéis (dB) e o eixo X escala em kiloHertz (kHz). As frequências mínima e máxima são determinadas a partir da linha de corte de -24 dB em relação à amplitude máxima (i.e., 130,04 dB). .....	15
Figura 2: Notas compartilhadas por <i>Sicalis flaveola</i> em ambiente urbano e rural .....	15
Figura 3: Relação entre duração (esquerda) e frequência mínima (direita) da nota “A” com o ruído do ambiente em <i>Sicalis flaveola</i> .....	16
Figura 4: Notas compartilhadas por <i>Troglodytes musculus</i> em ambiente urbano e rural. ....	16
Figura 5: Relação entre duração do canto (esquerda) e duração da Nota “H” (direita) com ruído do ambiente em <i>Troglodytes musculus</i> .....	17
Figura 6: Notas compartilhadas por <i>Turdus rufiventris</i> em ambiente urbano e rural ....	17
Figura 7: Relação entre pico de frequência da nota “G” (esquerda) e frequência máxima da nota “BL” (direita) com nível de ruído ambiental em <i>Turdus rufiventris</i> .....	18
Figura 8: Notas compartilhadas por <i>Zonotrichia capensis</i> em ambiente urbano e rural.	18
Figura 9: Relação entre duração da nota “A” (esquerda) e pico de frequência da nota “J” (direita) com ruído do ambiente em <i>Zonotrichia capensis</i> .....	19
Figura 10: Relação entre frequência máxima (esquerda) e pico de frequência (direita) da nota “D” e ruído do ambiente em <i>Zonotrichia capensis</i> .....	19
Figura 11: Relação entre frequência mínima (esquerda) e frequência máxima (direita) da nota “J” e ruído do ambiente em <i>Zonotrichia capensis</i> .....	20
Figura 12: Notas produzidas por de <i>Pitangus sulphuratus</i> .....	20
Figura 13: Relação entre pico de frequência do canto e ruído do ambiente em <i>Pitangus sulphuratus</i> .....	21
Figura 14: Relação entre frequência máxima da nota “B” e ruído do ambiente em <i>Pitangus sulphuratus</i> .....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de <i>Sicalis flaveola</i> em função do ruído ambiental. Em negrito, valores significativos com $P < 0,05$	22
Tabela 2: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A” e “B” de <i>Sicalis flaveola</i> . * $P < 0,05$ .	23
Tabela 3: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “H”, “J”, “K”, e “R” de <i>Troglodytes musculus</i> . * $P < 0,05$ ; ** $P < 0,001$ .	24
Tabela 4: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de <i>Troglodytes musculus</i> em função do ruído ambiental	25
Tabela 5: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “G”, “L”, “BL”, “BF”, “BD”, “AM” e “AV” de <i>Turdus rufiventris</i> . * $P < 0,05$ .	26
Tabela 6: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de <i>Turdus rufiventris</i> em função do ruído ambiental. Em negrito, valores significativos com $P < 0,05$ .	27
Tabela 7: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “I” e “J” de <i>Zonotrichia capensis</i> . * $P < 0,05$ ; ** $P < 0,001$ .	29
Tabela 8: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de <i>Zonotrichia capensis</i> em função do ruído ambiental	30
Tabela 9: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “B” e “C” de <i>Pitangus sulphuratus</i> . * $P < 0,05$ ; ** $P < 0,001$ .	32
Tabela 10: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de <i>Pitangus sulphuratus</i> em função do ruído ambiental	33

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
2.1 Área de estudo.....	4
2.2 Coleta de dados .....	4
2.3 Análises acústicas .....	5
2.4 Análises estatísticas .....	5
3. RESULTADOS .....	6
3.1 <i>Sicalis flaveola</i> .....	6
3.2 <i>Troglodytes musculus</i> .....	6
3.3 <i>Turdus rufiventris</i> .....	7
3.4 <i>Zonotrichia capensis</i> .....	7
3.5 <i>Pitangus sulphuratus</i> .....	8
4. DISCUSSÃO .....	9
REFERÊNCIAS .....	12
APÊNDICE 1 - FIGURAS.....	15
APÊNDICE 2 - TABELAS .....	22
ANEXO 1: CATÁLOGO DE NOTAS DE <i>Turdus rufiventris</i> .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização é uma das transformações humanas mais acentuadas nos ambientes naturais (MCKINNEY, 2002). Esse processo envolve a remoção parcial ou total da vegetação abrindo espaço para edifícios, casas, estradas, entre outros, alterando a paisagem, geralmente, de formas irreversíveis e que podem ser intensificadas ao longo do tempo (ER *et al.*, 2005). Como consequência deste processo, as paisagens urbanas apresentam um mosaico de habitats altamente alterados, com algumas áreas de terras agrícolas ou vegetação nativa remanescente misturadas com áreas construídas (FULLER *et al.*, 2010). Diante de mudanças tão expressivas, muitos animais precisaram adaptar-se de forma rápida aos ambientes urbanos, onde recursos são mais limitantes. Tais modificações podem resultar, por exemplo, no declínio das populações (ER *et al.*, 2005) e apresentar um efeito negativo ainda mais agravado em locais onde a riqueza de espécies naturalmente é alta (MARZLUFF *et al.*, 1998).

O ruído associado às atividades humanas pode interferir nas características acústicas dos organismos que vivem em áreas impactadas. Ruídos antropogênicos apresentam baixas frequências, sendo que as principais fontes antrópicas de produção são as indústrias e os meios de transporte (SLABBEKOORN; RIPMEESTER, 2008). Em habitats urbanos, os ruídos de tráfego, especialmente, se sobrepõem com a faixa de frequência utilizada para comunicação entre aves (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006), principalmente aquelas que emitem notas de baixas frequências (1-2 kHz).

Um exemplo de impacto da atividade humana na vida animal é a influência do ruído antropogênico na comunicação acústica dos indivíduos. A comunicação é considerada um mecanismo importante no estudo do comportamento animal, pois todas as interações entre os indivíduos são baseadas na troca de informações (BRUMM, 2013). Sons não naturais podem interferir na detecção, reconhecimento e troca de informações entre animais que dependem deste canal. O sinal acústico da vocalização é essencial para sobrevivência e reprodução de muitos animais, inclusive as aves, pois o utilizam para anunciar potenciais predadores, defender território (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005) e atrair parceiros para cópulas (POESEL *et al.*, 2006). Dessa forma, os elevados níveis de ruído no ambiente aumentam a probabilidade de erro na recepção dos sinais e podem causar reduções do sucesso reprodutivo (REIJNEN *et al.*, 1995), na riqueza e diversidade (PERRILO *et al.*, 2017), assim como causar estresse físico e psicológico (KIGHT; SWADDLE, 2011; SLABBEKOORN *et al.*, 2010).

A vocalização das aves nos permite, portanto, compreender as plasticidades dos sinais produzidos por animais em diferentes ambientes. A hipótese da adaptação acústica (MORTON *et al.*, 1975) baseia-se no pressuposto de que sons utilizados na comunicação estão correlacionados com a característica acústica do habitat, ou seja, sons produzidos em determinadas frequências e/ou amplitude são resultados da interação do animal com o ambiente. EY; FISCHER (2009) propõem ainda, que as propriedades acústicas de um determinado habitat podem exercer pressão de seleção sob o sinal acústico, ou seja, o ambiente é a principal causa da modificação e alteração destes sinais.

A interferência do ruído urbano pode ocorrer por meio de dois processos: degradação, que é a redução da fidelidade do sinal, e atenuação, que corresponde à redução da intensidade (BLUMSTEIN, 2013). O mascaramento é resultado deste dois processos, sendo que a vocalização do emissor passa a não ser percebida pelo receptor prejudicando a comunicação. O mascaramento ocorre quando o nível da amplitude sonora provocada pelo ruído é maior do que a amplitude sonora emitida pela vocalização (DOOLING; BLUMENRATH, 2014). Este mascaramento pode ser reduzido através do ajuste da frequência, da duração, da estrutura e da performance da vocalização (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005). Assim, os indivíduos podem garantir a detecção pelos receptores e diminuir os prejuízos na troca de informações. Alternativamente, as aves podem, ainda, aumentar a amplitude das vocalizações ("efeito Lombard", BRUMM; ZOLLINGER, 2011) para superar o som dos ruídos.

O aumento da frequência mínima do canto foi observado em várias espécies como resposta aos ruídos, minimizando o efeito do mascaramento em ambientes urbanos. São vários os exemplos de espécies que vivem em ambientes urbanos e submetidas aos altos níveis de ruído que aumentam a frequência mínima da vocalização, diminuindo o efeito do mascaramento (SLABBEKOORN; PEET, 2003). A espécie europeia *Luscinia megarhynchos*, canta mais alto em condições barulhentas (BRUMM; TODT, 2002), enquanto que *Cinclus cinclus* utiliza particularmente altas frequências durante sua vocalização, frequências estas muito maiores do que as existentes em seu habitat natural (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005). A alteração do início e duração da atividade vocal das aves, quando expostas à poluição sonora de ruídos antropogênicos durante o dia, também pode ser uma boa estratégia, assim, algumas espécies podem cantar mais cedo ou manter tal comportamento ativo também durante a noite, horário onde os ruídos urbanos são menos intensos (FULLER *et al.*, 2007; GIL *et al.*, 2015;

NORDT; KLENKE, 2013). Ainda, a modificação das características do canto como adaptação a ruídos constantes pode ser exemplificada em *Phylloscopus magnirostris*. Esta espécie habita locais próximos a correntezas e cachoeiras na região da cordilheira do Himalaia onde os machos cantam com frequência acima de 6 kHz, maior que o ruído gerado pela correnteza, que não ultrapassa 4 kHz (DUBOIS; MARTENS, 1984). E, finalmente, o pico de atividade de canto também pode ser alterado em condições cujo ruído é provocado tanto pelos ventos quanto pelas chuvas, como ocorre em *Phylloscopus collybita* (BRUMM; NAGUIB, 2009).

Estudos bioacústicos na região Neotropical tornam-se relevantes uma vez que permitem comparar o canto de aves que apresentam o aprendizado em sua ontogenia do canto (oscines), com espécies cujo canto é predominantemente inato (suboscines) (CATCHPOLE; SLATER, 2008). Dessa forma, o objetivo do presente estudo é testar, dentro destes dois grupos taxonômicos, como cinco espécies de aves modificam suas vocalizações em condições de elevados e baixos níveis de intensidade sonora. Esperamos, portanto, que cada grupo apresente diferentes estratégias para lidar com os ruídos antropogênicos. Selecionamos quatro espécies de oscines, *Sicalis flaveola*, *Troglodytes musculus*, *Turdus rufiventris* e *Zonotrichia capensis*, e um suboscine, *Pitangus sulphuratus*. Mais especificamente, testamos se os parâmetros das vocalizações de indivíduos destas espécies estão relacionados à intensidade de ruído no ambiente. Nossas previsões são: 1) que oscines, por terem aprendizagem no canto, apresentarão maior capacidade de ajuste do canto adequando-se melhor às mudanças nas características acústicas do ambiente, enquanto que a espécie de suboscine apresentará limitações na capacidade de ajuste dos canto e 2) o canto e as notas produzidas por aves em ambientes com maior ruído urbano apresentarão frequência mais alta e terão duração mais longa do que em ambientes com menor ruído.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

Realizamos o estudo na região leste do estado do Paraná, em áreas rurais e urbanas, de forma a garantir a variação no nível de ruído nos locais amostrados. Seleccionamos três áreas rurais que não apresentam fontes de ruídos antropogênicos: Parque Estadual de Campinhos, localizado nos municípios de Tunas do Paraná e Cerro Azul, no Parque Estadual do Pico Marumbi - Reserva Mananciais da Serra, localizado no município de Piraquara e nas colônias Mergulhão e Murici, no município de São José dos Pinhais. Realizamos amostragens em áreas urbanas no município de Curitiba em locais com níveis elevados de ruídos: Campus Cento Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Parque Iguazu, Parque Náutico, Parque Barigui (limites com a rodovia 277 e Avenida Manoel Ribas) e Parque Tingui. Todas as áreas urbanas amostradas apresentam tráfego intenso durante praticamente todo o dia (Eduardo Brandt, comunicação pessoal).

### **2.2 Coleta de dados**

Realizamos a coleta de dados entre os meses de setembro de 2015 a dezembro de 2016 e gravamos as vocalizações com um gravador digital Marantz PMD 661 acoplado a um microfone unidirecional Sennheiser K6/ME67 com uma resolução de 16 bits e taxa de amostragem de 44,1 kHz. Realizamos as gravações preferencialmente no período da manhã, entre 07h00 e 11h00, e no final da tarde, entre 16h00 e 19h00 em condições meteorológicas ideais (sem chuva e vento). Para garantir que não fossem gravados os mesmos indivíduos de cada espécie, visitamos cada ponto de amostragem apenas uma vez e, em um mesmo dia de amostragem gravamos apenas indivíduos que estivessem a uma distância mínima de 100 metros um do outro.

Para a medição do ruído do ambiente utilizamos um decibelímetro digital Hikari HDB 882, considerando ponderação em (A), ideal para medir ruídos contínuos, e anotamos a pressão sonora (dB) registrada a cada 15 segundos durante 2 minutos imediatamente após o indivíduo parar de vocalizar, posicionando o microfone do decibelímetro o mais próximo possível do local onde a ave estava empoleirada. Utilizamos a média desses oito registros do decibelímetro para caracterizar o nível de ruído do local em que o indivíduo foi amostrado.

### 2.3 Análises acústicas

No programa Raven Pro ® 1.5 (Cornell Laboratory of Ornithology, New York), editamos as gravações e extraímos os seguintes parâmetros acústicos das vocalizações: frequência mínima e máxima, pico de frequência, duração do canto e de cada nota. Os valores de pico de frequência e duração foram obtidos automaticamente no software realizando uma seleção na porção de interesse. Medimos todos os atributos sonoros utilizando as seguintes configurações: Janela Hann, FFT com 512 pontos, brilho e contraste com 50%. Os valores de frequência mínima e máxima (em kHz) foram obtidos através do gráfico de espectro de potência (*power spectrum*), fazendo uma seleção sob a porção do canto considerada utilizando a linha de corte de -24 dB em relação à amplitude máxima. Este intervalo (amplitude máxima e -24dB) corresponde à 99% da energia de um sinal, uma vez que a escala em decibéis é exponencial (Figura 1, PODOS, 1997). Definimos nota como sendo uma unidade sonora que pode ser individualizada no sonograma e utilizamos apenas o harmônico fundamental para obter cada parâmetro. Todas notas de cada indivíduo foram identificadas e a cada uma foi atribuída uma letra do alfabeto, a fim de produzirmos um catálogo. Através deste catálogo buscamos as notas que são compartilhadas nos dois ambientes. Extraímos, pelo menos, 10 amostras de cada nota por indivíduo e, em casos onde não foi possível extrair essa quantidade de amostras, extraímos toda a quantidade disponível e utilizamos a média dos valores para realizar as análises estatísticas. Caracterizamos os cantos como sendo uma série de notas, iguais ou diferentes, produzidas em sequência que expressam uma melodia (CATCHPOLE, 1982). Também, apenas foram considerados aqueles cantos que apresentaram intervalos de 0,5 a 3,5 segundos entre o final de um canto e o início de outro (DABELSTEEN, 1984).

### 2.4 Análises estatísticas

Para testar se as vocalizações mudam sob a influência dos ruídos urbanos utilizamos regressões lineares incluindo como variável preditora o ruído do ambiente (dB) e como variáveis resposta a duração (s), frequência máxima (kHz), frequência mínima (kHz) e pico de frequência (kHz). Anteriormente às análises de regressão, realizamos testes de correlação de Pearson entre as variáveis resposta. A normalidade dos dados foi obtida através de um teste de Shapiro-Wilk e em casos de não-normalidade os dados foram transformados em escala logarítmica. As premissas de



linearidade e normalidade dos resíduos também foram testadas. Todos os testes foram realizados na plataforma R versão 3.2.1 (R CORE TEAM, 2015).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 *Sicalis flaveola*

Gravamos 24 indivíduos em ambientes onde os ruídos variaram entre 34 a 78 dB. Após analisar toda a amostragem, reconhecemos que a espécie produziu 41 notas distintas onde apenas 6 são compartilhadas entre ambos os ambientes (Figura 2). Dentre estas, a baixa amostragem das nota “R”, “S”, “AB” e “AJ” não nos permitiu obter resultados estatísticos sobre alterações nos parâmetros das notas. Os resultados obtidos para a espécie apresentaram diferenças em relação à duração de notas onde houve uma significativa redução em locais com perturbação acústica. Por outro lado, a frequência mínima da mesma nota foi maior neste ambiente.

Indivíduos de *S. flaveola* reduzem a duração da nota “A” e aumentam a frequência mínima da mesma nota (Figura 3) em ambiente onde os ruídos são elevados. Não encontramos relação entre ruído do ambiente e os parâmetros do canto e da nota “B” (Tabela 1). Entretanto, esses resultados devem ser interpretados com cautela uma vez que nossa amostragem foi relativamente baixa.

Alguns parâmetros das notas foram altamente correlacionados, como, a duração da nota “B” com frequência mínima e máxima e, também, encontramos correlação entre frequência máxima e mínima da nota “A”. Não encontramos correlação entre as variáveis do canto (Tabela 2).

#### 3.2 *Troglodytes musculus*

Gravamos o canto de 45 indivíduos onde os níveis de ruído do ambiente variaram entre 31 a 72 dB e constatamos que a espécie pode produzir até 30 notas distintas, destas, apenas 5 são compartilhadas em ambiente urbano e rural (Figura 4). Apenas as variáveis frequência máxima e mínima do canto foram correlacionadas e, em relação às notas, apenas “A”, “H”, “J” e “R” apresentaram correlações entre suas variáveis (Tabela 3). Nossos resultados para esta espécie apresentaram significativa redução na duração do canto e da nota “H” (Figura 5). Todas as outras notas produzidas pela espécie não variaram conforme o ruído (Tabela 4).

### 3.3 *Turdus rufiventris*

Gravamos o canto de 34 indivíduos em ambientes onde os ruídos variaram entre 35 e 78 dB e identificamos um total de 73 notas (anexo 1). De todas as notas identificadas, encontramos 23 que foram amostradas nos dois ambientes, entretanto, apenas as notas “G”, “L”, “AM”, “AV”, “BD”, “BF”, e “BL” (Figura 6) apresentaram uma amostragem adequada para os testes estatísticos. O canto desta espécie é muito variado e melodioso, sendo composto por 7 a 38 notas.

As variáveis resposta dos parâmetros do canto não estão correlacionadas entre si. Entretanto, as notas “G”, “L”, “BD”, “BF” apresentaram correlações entre suas variáveis, já as notas “BL”, “AM” e “AV” não apresentaram correlação entre as variáveis (Tabela 5). Os resultados obtidos para *T. rufiventris* mostraram que indivíduos reduzem os parâmetros de frequência de duas notas quando estão em condições ruidosas (Figura 7), porém, os demais parâmetros das vocalizações e das outras notas não variam conforme o ruído (Tabela 6).

### 3.4 *Zonotrichia capensis*

Gravamos o canto de 32 indivíduos em ambientes que variaram entre 32 a 58 dB e constatamos que a espécie pode produzir até 16 notas distintas, sendo 8 compartilhadas por indivíduos nos dois ambientes, rural e urbano (Figura 8). Destas, apenas a nota “G” apresentou uma baixa amostragem não sendo possível submetê-la às análises estatísticas.

Não encontramos correlação entre as variáveis do canto, entretanto, encontramos correlação entre as variáveis das notas “C”, “D”, “E”, “I” e “J” (Tabela 7). Nossos resultados para as análises de regressão linear nos mostraram que indivíduos de *Z. capensis* possuem grande plasticidade na produção de suas notas, onde aumentam a duração da nota “A” em ambientes ruidosos assim como também aumentam o pico de frequência da nota “J” (Figura 9). Ainda, reduzem a frequência máxima e o pico de frequência (Figura 10) da nota “D” quando o ruído ambiental é alto. A nota “J” também apresenta frequência mínima e máxima (Figura 11) mais altas em ambientes com ruído elevado. Não encontramos relação entre os parâmetros do canto e das notas “B”, “C”, “E” e “I” com o ruído do ambiente (Tabela 8).

### ***3.5 Pitangus sulphuratus***

Gravamos o canto de 38 indivíduos em ambientes onde os níveis de ruído variaram entre 33 e 73 dB e constatamos que a espécie possui um canto muito estereotipado e pode produzir apenas 3 notas distintas (Figura 12). Nossas análises de correlação entre as variáveis resposta dos parâmetros do canto não indicaram resultados significativos, entretanto, encontramos forte correlação entre as variáveis das notas “A”, “B” e “C” (Tabela 9).

Os resultados obtidos para a espécie nos mostraram que ocorrem modificação no pico de frequência do canto (Figura 13) e frequência máxima da nota B (Figura 14) em resposta aos ruídos. Não encontramos relação entre os parâmetros das notas “A” e “C” com o ruído ambiental (Tabela 10).

#### 4. DISCUSSÃO

Este estudo demonstrou que os indivíduos das cinco espécies estudadas ajustam a frequência de suas vocalizações em ambientes ruidosos. O ruído do ambiente pode representar um grande obstáculo na comunicação dos animais, particularmente em aves que utilizam o sinal acústico para a troca de informações. Entretanto, algumas espécies apresentam estratégias para minimizar o problema associado à existência de numerosas fontes de ruído em seus ambientes. No presente estudo, encontramos que tanto oscines como suboscines apresentam aparentes ajustes nas vocalizações em decorrência do ruído urbano. Dentre as cinco espécies estudadas, duas alteram a duração do canto e três alteram os parâmetros de frequência do mesmo. Estes resultados, suportam a hipótese que as aves podem ajustar seus cantos em resposta aos altos níveis de ruído, a fim de transmitirem sinais acústicos com maior eficiência (SLABBEKOORN & PEET, 2003; SLABBEKOORN & BOER-VISSER, 2006, RIOS-CHELEN, 2012a).

Existem duas possibilidades que podem explicar a alteração observada na frequência do canto. Uma delas é o ajuste de longo prazo, que é provocado por mudanças ontogenéticas na característica do sinal em função da longa exposição aos ruídos (SLABBEKOORN 2004). Alternativamente, estes ajustes podem ser de curto prazo, imediato e categórico, como uma resposta rápida à variação momentânea, fato já evidenciado em *Cinclus cinclus* que altera a intensidade e a duração (BRUMM *et al.*, 2004) do seu som de acordo com o nível de ruído. O aumento na duração do canto pode ser explicado pela teoria da detecção dos sinais (GREEN, D.M.; SWETS, J.A. 1966), onde os sinais mais longos tendem a ser detectados com maior facilidade em ambientes ruidosos. Já cantos mais curtos podem ser vantajosos quando as condições de ruído não são contínuas, isso aumentaria a chance de percepção do canto durante uma janela de silêncio, como evidenciado em *Parus major* (SLABBEKOORN; BOER-VISSER, 2006) e *Turdus merula* (NEMETH; BRUMM, 2009).

Em contraste com a nossa previsão, indivíduos de *S. flaveola* apresentaram cantos mais curtos em locais com perturbação acústica. Uma possível explicação para isso relaciona-se ao fato de que cantos mais curtos tendem a estar menos sobrepostos aos ruídos ou, ainda, a espécie pode reduzir o número de notas utilizando particularmente aquelas que irão transmitir os sinais de interesse. Essa redução do tempo na produção do som pode representar uma plasticidade da espécie em ambiente urbano, que é naturalmente mais aberto, reduzindo a necessidade de utilizar as baixas frequências para transmissões de longa distância, favorecendo a repetição de elementos mais curtos em

uma rápida velocidade (SLABBEKOORN & BOER-VISSER, 2006). Por outro lado, a frequência mínima foi maior em ambiente ruidoso, como previsto. O aumento da frequência mínima do canto apresenta uma importante função biológica para as aves, pois passam a cantar em frequências diferentes dos ruídos (SLABBEKOORN & PEET, 2003, FRANCIS *et al.*, 2011a, BERMUDEZ-CUAMATZIN, 2012) evitando assim o mascaramento do sinal. Esse resultado corrobora outro estudo realizado no México onde indivíduos desta espécie modificam a estrutura do canto em locais com muito ruído (LEÓN *et al.*, 2014), mas contrasta com RIOS-CHELEN *et al.*, (2012a) que apresentou baixa correlação entre frequência mínima do canto e ruído urbano. Essa diferença pode ser justificada em função do método de coleta de dados aplicado na pesquisa, onde muitas gravações foram obtidas em um banco de dados on-line e, possivelmente, não apresentavam medições corretas de ruído antrópico. Alternativamente a isso, existe também a possibilidade da variação em escala espacial dos indivíduos gravados que, naturalmente, podem apresentar diferenças no canto.

As respostas ainda podem variar dentro da mesma espécie, como observado em *T. merula* (MENDES *et al.*, 2011) onde ocorre a variação na duração das notas dependendo do nível do ruído, resultado similar ao que encontramos em *T. rufiventris*, que canta com notas em frequências mais baixas em locais ruidosos.

Os oscines, por apresentarem uma siringe mais complexa, possuem cantos mais melodiosos, como é o caso de *T. rufiventris*. Neste estudo, nossos resultados para a espécie foram contrários ao que prevíamos, onde as notas foram produzidas em frequências mais baixas em locais perturbados acusticamente em relação às mesmas em ambientes sem perturbação. Apesar de possuírem longos repertórios durante o canto, não encontramos nenhuma relação entre a duração do canto com o ruído do ambiente. O tamanho do repertório é uma característica sob intensa pressão da seleção sexual, pois as fêmeas tendem a escolher os machos que apresentam repertórios mais longos (BEECHER & BRENOWITZ, 2005). Portanto, é possível que na nossa população de *T. rufiventris* a força desta seleção predomine sobre a necessidade de ajuste à perturbação acústica do ambiente. Alternativamente, os indivíduos podem ter produzido mais repetições de notas sob menor influência do mascaramento, medida que não foram consideradas em nossas análises. Em *Pyrocephalus rubinus* (suboscine), de fato, indivíduos aumentam o número de elemento introdutórios do seu canto e, conseqüentemente, sua duração em locais perturbados sem alterar qualquer parâmetro de frequência (mínima, máxima ou pico). Indivíduos desta espécie, apresentam ainda,

uma plasticidade individual e podem cantar com mais ou menos notas dependendo do nível de perturbação (RIOS-CHELEN *et al.*, 2012b).

Encontramos que *Z. capensis* possui uma grande plasticidade na sua vocalização, alterando duração e frequência do canto e de suas notas. Notas que são produzidas em frequências máxima mais altas em áreas com alto ruído antropogênico, tendem a ser mais vantajosas pois são mais fáceis de detectar ou, talvez, machos que cantam em frequências elevadas são mais atraentes para as fêmeas (FRANCIS *et al.*, 2009). Especificamente para *Z. capensis*, algumas notas ainda são produzidas com frequência máxima mais baixa, indicando que investir energia nessas notas pode não apresentar vantagem alguma ou, que essas notas específicas não contenham os sinais de interesse.

*Pitangus sulphuratus* aumenta a duração do seu canto e, também, canta com notas em frequências mais altas. A mudança nos parâmetros da frequência do canto nesta espécie não corroboram com os resultados dos estudos de RIOS-CHELEN *et al.* (2012a) que apontou uma fraca correlação entre ruído do ambiente e frequência do canto. Além disso, machos de *P. rubinus*, também uma espécie suboscine, exibem uma variação sazonal e interindividual na estrutura do canto, além de emitirem cantos mais longos em locais com maior ruído (RIOS-CHELEN *et al.*, 2012a). RIOS-CHELEN *et al.*, (2012b) estudando a influência dos ruídos em outras sete espécies de suboscines, não encontrou qualquer alteração nos parâmetros do canto. Nossos resultados trazem novas evidências de adaptações de suboscines aos ruídos antropogênicos.

Em conclusão, nosso trabalho apresenta as primeiras informações sobre modificações no canto de *T. rufiventris* em resposta aos ruídos antropogênicos. Como esta espécie é amplamente distribuída no Brasil, é possível que exista, em outras populações, diferentes estratégias. Mais esforços seriam necessários para avaliá-las. Também, destacamos os resultados para o suboscine *P. sulphuratus* que são inéditas para a espécie, mostrando que indivíduos desta espécie são menos vulneráveis às perturbações acústicas, pois apresentam diversas estratégias de modificações do canto. Somado à isso, ainda realizamos um refinado catálogo de notas para todas as espécies, identificando quais são compartilhadas nos dois ambientes, assim, conseguimos reconhecer quais notas são alteradas em resposta aos ruídos. Nossos resultados adicionam-se às muitas outras evidências encontradas na literatura justificando a forte influência que o ruído vem causando sobre a comunicação das aves, bem como as estratégias encontradas para cada uma para que seu canto não fique mascarado.

## REFERÊNCIAS

- BEECHER, M. D.; BRENOWITZ, E. A. Functional aspects of song learning in songbirds. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 3, p. 143-149, 2005.
- BERMUDEZ-CUAMATZIN, E.; RIOS-CHELEN, A. A.; GIL, D.; GARCIA, C. M. Experimental evidence for realtime song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. **Biology Letters**, **7**, 36 – 38, 2011.
- BLUMSTEIN, D. T. Attention, habituation, and antipredator behaviour: implications for urban birds. In **Avian Urban Ecology**. GIL, D.; BRUMM, H. (Editors). 41-53, 2013.
- BRUMM, H.; NAGUIB, M. **Environmental Acoustics and the Evolution of Bird Song**. 1. ed. [s.l.] Elsevier Inc., v. 40, 2009.
- BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic Communication in Noise. **Advances in the Study of Behavior**, v. 35, n. 5, p. 151–209, 2005.
- BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic Communication in Noise. **Advances in the Study of Behavior**, v. 35, n. 5, p. 151–209, 2005.
- BRUMM, H.; TODT, D. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. **Animal Behaviour**, v. 63, n. 5, p. 891–897, 2002.
- BRUMM, H.; VOSS, K.; KOLLMER, I.; TODT, D. Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. **Journal of Experimental Biology** 207:443–448, 2004.
- BRUMM, H.; ZOLLINGER, S. A. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. **Behaviour**, v. 148, n. 11–13, p. 1173–1198, 2011.
- BRUMM, H. **Animal communication and noise**. Springer, 2013.
- CATCHPOLE, C. K. The evolution of bird sounds in relation to mating and spacing behavior. In: Kroodsma D.E., Miller E.H., editors. **Acoustic communication in birds**. vol. 1. Academic Press; London, UK: pp. 297–319, 1982.
- CATCHPOLE, C. K.; SLATER, P. J. B. **Bird song: biological themes and variations**. Cambridge: University Press. 348 p., 2008.
- DABELSTEEN, T.; PEDERSEN, S. B. Correspondence between messages in the full song of the blackbird *Turdus merula* and meanings to territorial males, as inferred from responses to computerized modifications of natural song. **Zeitschrift für Tierpsychologie**, **69**, 149–165, 1985.
- DOOLING, R. J.; BLUMENRATH, S. H. Avian sound perception in noise. In Brumm, H.; ed., **Acoustic Communication and Noise**. Springer, Heidelberg, in press. 2014.
- DUBOIS, A.; MARTENS, J. A case of possible vocal convergence between frogs and a bird in Himalayan torrents. **Journal of Ornithology**, v. 125, p.455-463, 1984.

- ER, K. B. H.; INNES, J. L.; MARTIN, K.; KLINKENBERG, B. Forest loss with urbanization predicts bird extirpations in Vancouver . **Biological Conservation**, **126**, 410 – 419, 2005.
- EY, E.; FISCHER, J. The “acoustic adaptation hypothesis:” a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics** 19: 21–48, 2009.
- FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. Noise pollution changes avian communities and species interactions . **Current Biology**, **19**, 1415 – 1419, 2009.
- FRANCIS, C.D.; ORTEGA, C.P.; CRUZ, A. Different behavioural responses to anthropogenic noise by two closely related passerine birds. **Biology Letters** 7:850–852, 2011a.
- FULLER, R. A.; TRATALOS, J.; WARREN, P. H.; DAVIES, R. G.; GASTON, K. J. Environment and Biodiversity . In M. JENKS, M.; C. JONES, C. eds. **Dimensions of the Sustainable City**, pp. 75 – 103 . Springer , London, 2010.
- FULLER, R. A.; WARREN, P. H.; GASTON, K. J. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. **Biology letters**, v. 3, n. 4, p. 368–70, 2007.
- GIL, D.; HONARMAND, M.; PASCUAL, J.; MENA-PÉREZ, E.; GARCIA, M.C. Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. **Behavioral Ecology**, v. 26, n. 2, 2015.
- GREEN, D. M.; SWETS, J. A. **Signal Detection Theory and Psychophysics**. Wiley, New York, 1966.
- KIGHT, C. R.; SWADDLE, J. P. How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. **Ecology Letters**, v. 14, n. 10, p. 1052–1061, 2011.
- LEÓN, E.; BELTZER, A.; QUIROGA, M. El jilguero dorado (*Sicalis flaveola*) modifica la estructura de sus vocalizaciones para adaptarse a hábitats urbanos. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 85, n. 2, p. 546–552, 2014.
- MARZLUFF, J. M.; GEHLBACH, F. R.; MANUWAL, D. A. Urban environments: influences on avifauna and challenges for the avian conservationist. In J. M. Marzluff and R. Sallabanks , eds. **Avian Conservation: Research and Management**, pp. 283–305. Island Press , Washington, 1998.
- MCKINNEY, M. L. Urbanization, biodiversity, and conservation . **Bioscience**, **52**, 883 – 890, 2002.
- MENDES, S.; COLINO-RABANAL, J.V.; PERIS, J.S. Bird song variations along na urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). **Landscape and Urban Planning** 99: 51-57, 2011.
- MORTON, E. S. Ecological Sources of Selection on Avian Sounds. **The American Society of Naturalists**, v. 109, n. 965, p. 17–34, 1975.
- NEMETH, E.; BRUMM, H. Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? **Animal Behaviour**, v. 78, n. 3, p. 637–641, 2009.



NORDT, A.; KLENKE, R. Sleepless in Town - Drivers of the Temporal Shift in Dawn Song in Urban European Blackbirds. *PLoS ONE*, v. 8, n. 8, p. 1–10, 2013.

PATRICELLI, G.; BLICKLEY, J. J. L. Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk*, v. 123, n. 3, p. 639–649, 2006.

PERILLO, A.; MAZZONI, L. G.; PASSOS, L. F.; GOULART, V. D.L.R.; DUCA, C.; YOUNG, R. J. Anthropogenic noise reduces bird species richness and diversity in urban parks. *Ibis*. 2017

PODOS, J. A. Performance constraint on the evolution of trilled vocalization in a songbird family (passeriformes:emberizidae). *Evolution*: v. 51, n. 2, p. 537–551, 1997.

POESEL, A.; KUNC, H.P.; FOERSTER, K.; JOHNSENS, A.; KEMPENAERS, B. Early birds are sexy: male age, dawn song and extrapair paternity in blue tits, *Cyanistes* (formerly *Parus*) *caeruleus*. *Animal Behaviour*, v. 72, n. 3, p. 531–538, 2006.

R CORE TEAM, R. **R: A language and environment for statistical computing**. R. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2014.

REIJNEN, R.; FOPPEN, R.; BRAAK, C.T.; THISSEN, J. The Effects of Car Traffic on Breeding Bird Populations in Woodland. III. Reduction of Density in Relation to the Proximity of Main Roads. *Source Journal of Applied Ecology*, v. 32, n. 32, p. 187– 202, 1995.

RÍOS-CHELÉN, A. A.; SALABERRIA, C.; BARBOSA, I.; MACÍAS GARCIA, C.; GIL, D. The learning advantage: bird species that learn their song show a tighter adjustment of song to noisy environments than those that do not learn. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 25, 2171-2180, 2012.

RIOS-CHELÉN, A.A.; QUIRÓS-GUERRERO, E.; GIL, D.; MACÍAS-GARCIA, C. Dealing with urban noise: vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology Sociobiology* 67:145–152, 2013.

SLABBEKOORN, H. Singing in the wild: the ecology of birdsong . In P. Marler and H. Slabbekoorn, eds, **Nature's Music: the science of birdsong**. pp. 178 – 205. Elsevier Academic Press, San Diego, CA, 2004.

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N.; OPZEELAND, I.V.; COERS, A.; CATE, T.C.; POPPER, N.A. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 25, n. 7, p. 419–427, 2010.

SLABBEKOORN, H.; DEN BOER-VISSER, A. Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, v. 16, n. 23, p. 2326–2331, 2006.

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

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

## APÊNDICE 1 - FIGURAS

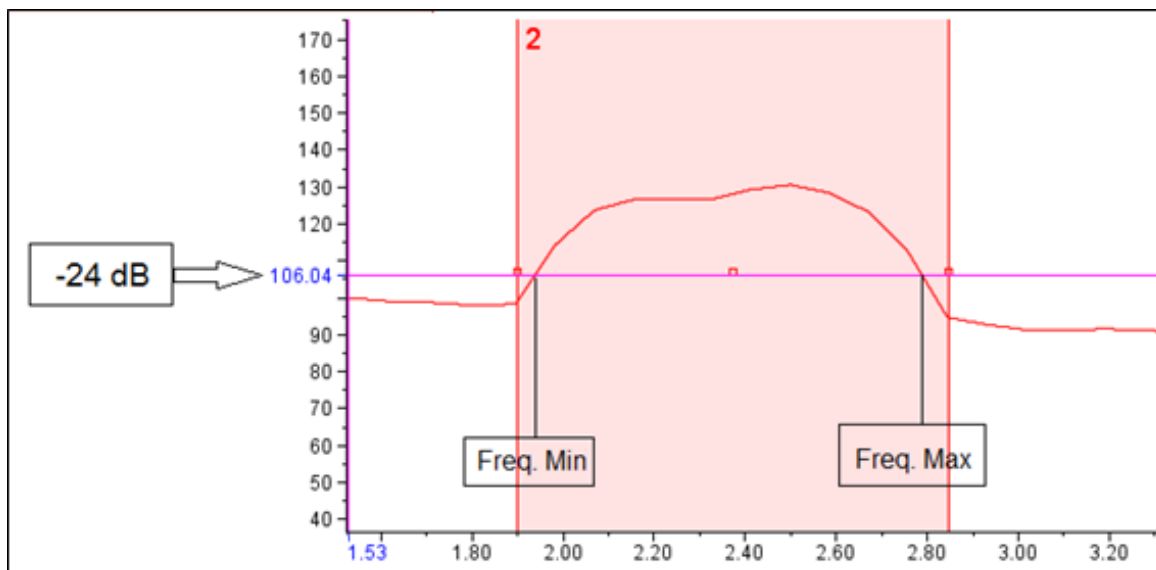


Figura 1: Exemplo de um gráfico de espectro de potência (*power spectrum*) de uma nota de *Turdus rufiventris*, produzido no programa Raven Pro®. O eixo Y apresenta a escala em decibéis (dB) e o eixo X escala em kiloHertz (kHz). As frequências mínima e máxima são determinadas a partir da linha de corte de -24 dB em relação à amplitude máxima (i.e., 130,04 dB).

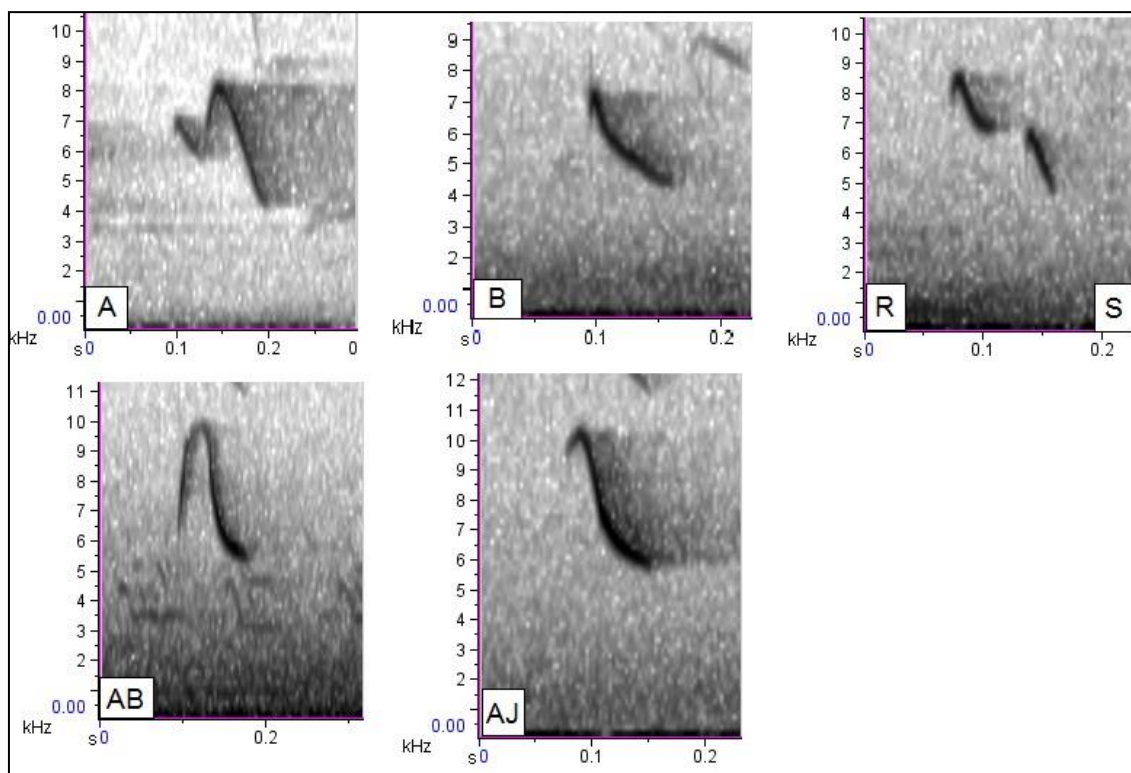
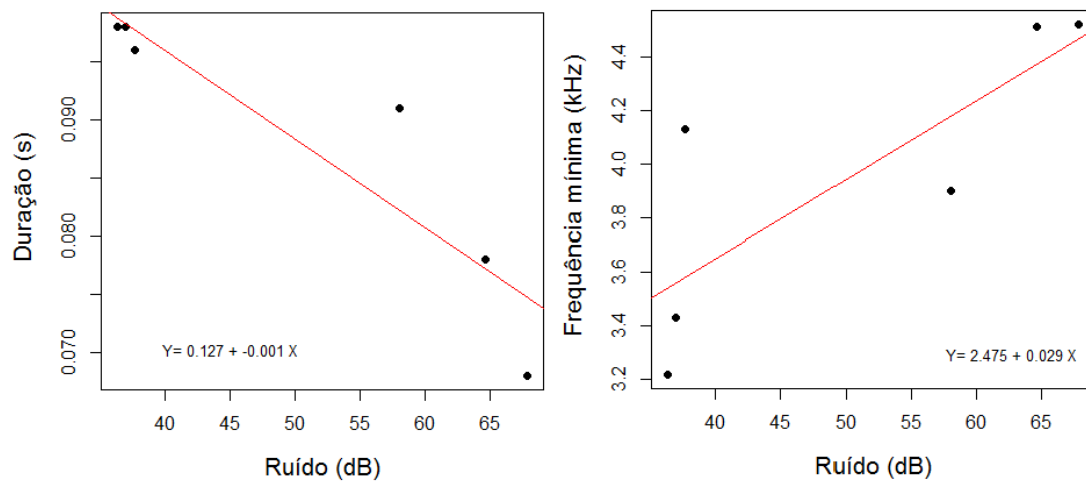
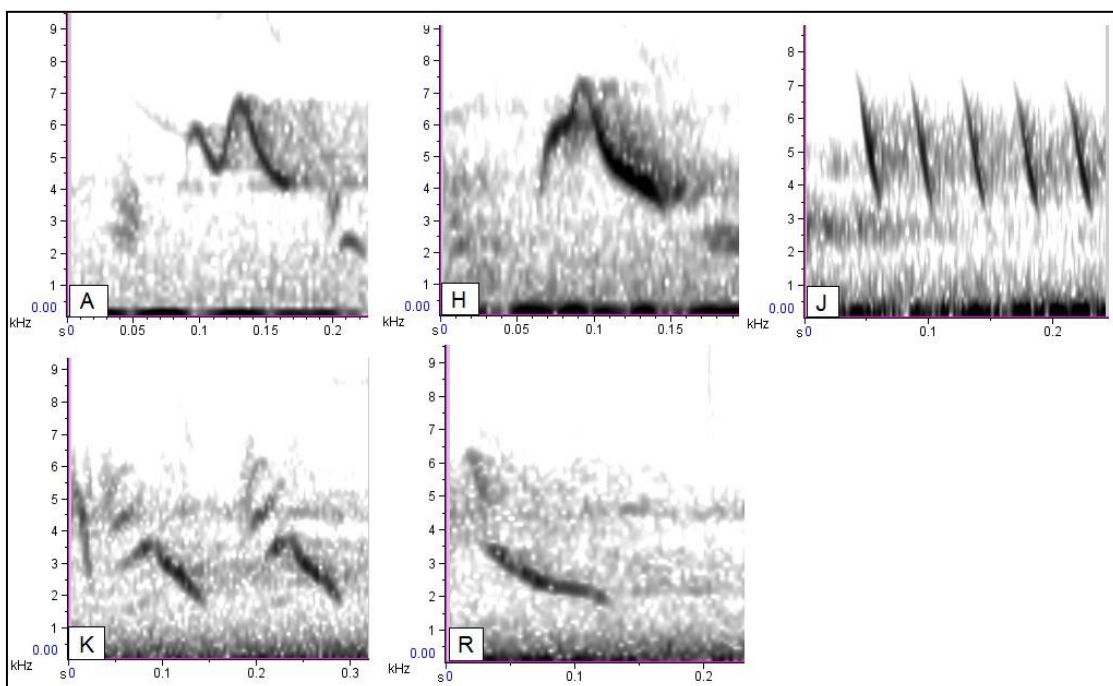


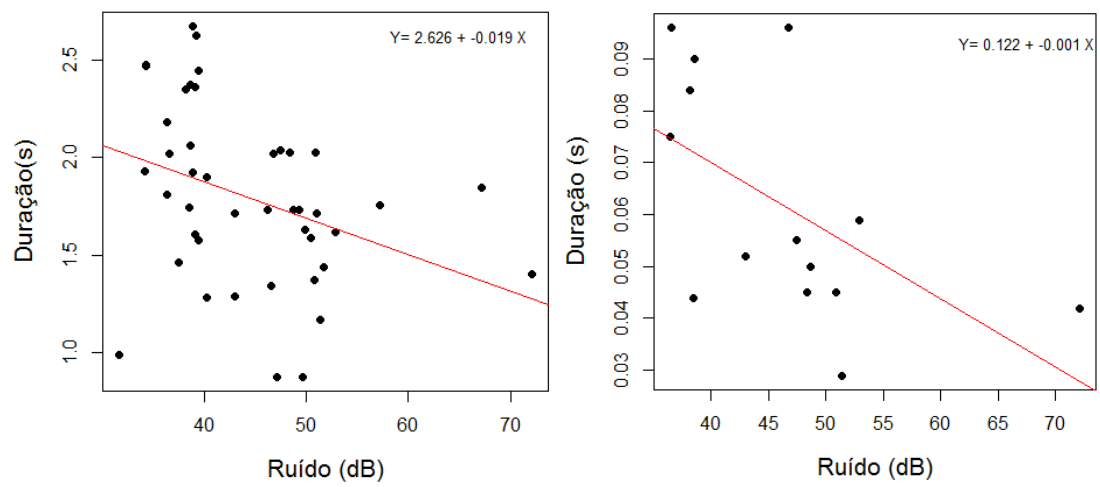
Figura 2: Notas compartilhadas por *Sicalis flaveola* em ambiente urbano e rural.



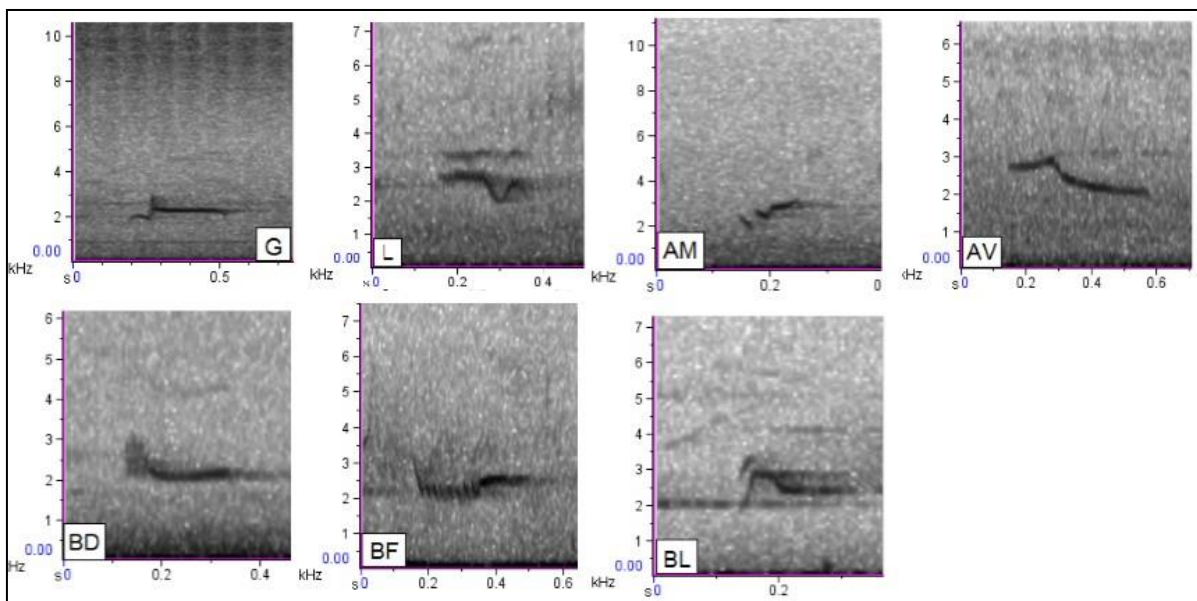
**Figura 3: Relação entre duração (esquerda) e frequência mínima (direita) da nota “A” com o ruído do ambiente em *Sicalis flaveola*.**



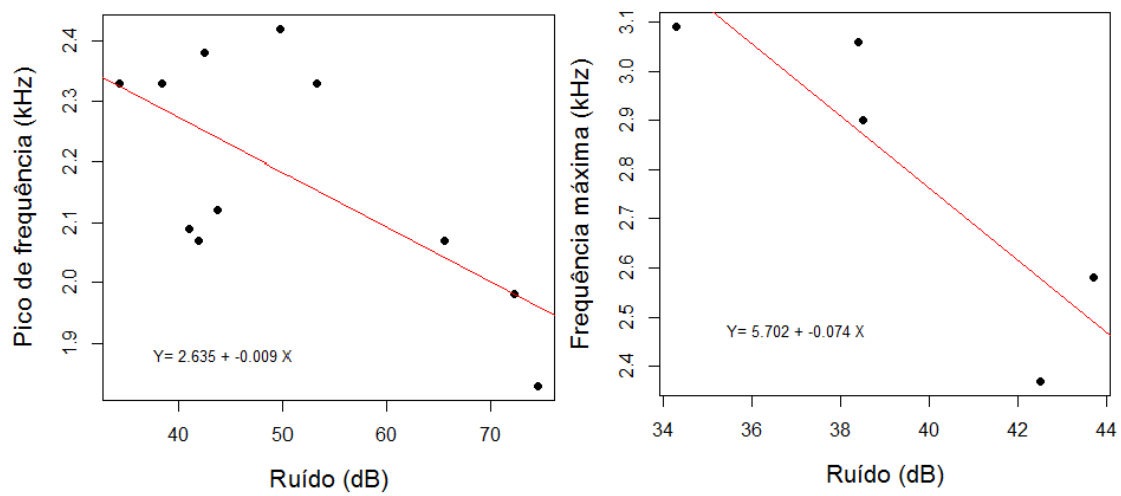
**Figura 4: Notas compartilhadas por *Troglodytes musculus* em ambiente urbano e rural.**



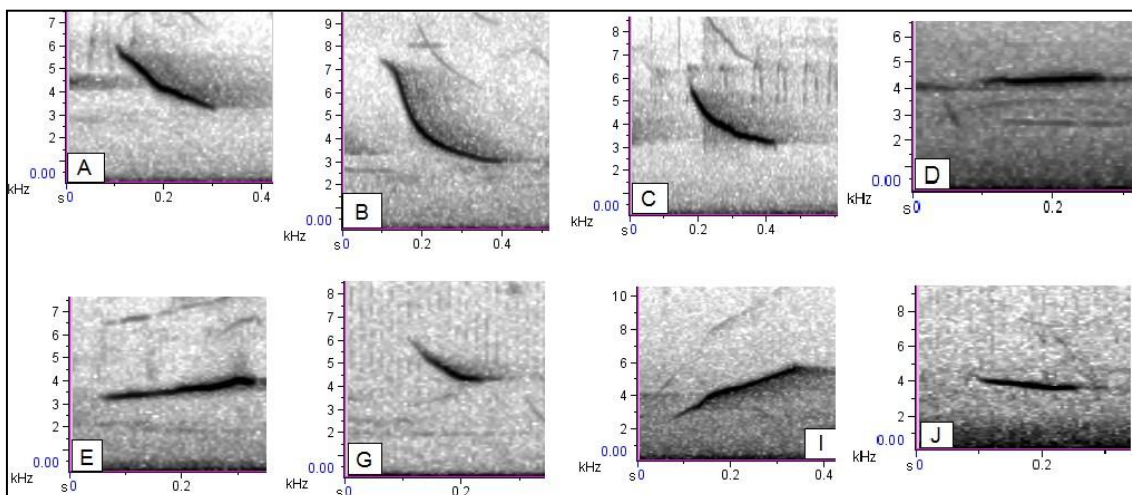
**Figura 5: Relação entre duração do canto (esquerda) e duração da Nota “H” (direita) com ruído do ambiente em *Troglodytes musculus*.**



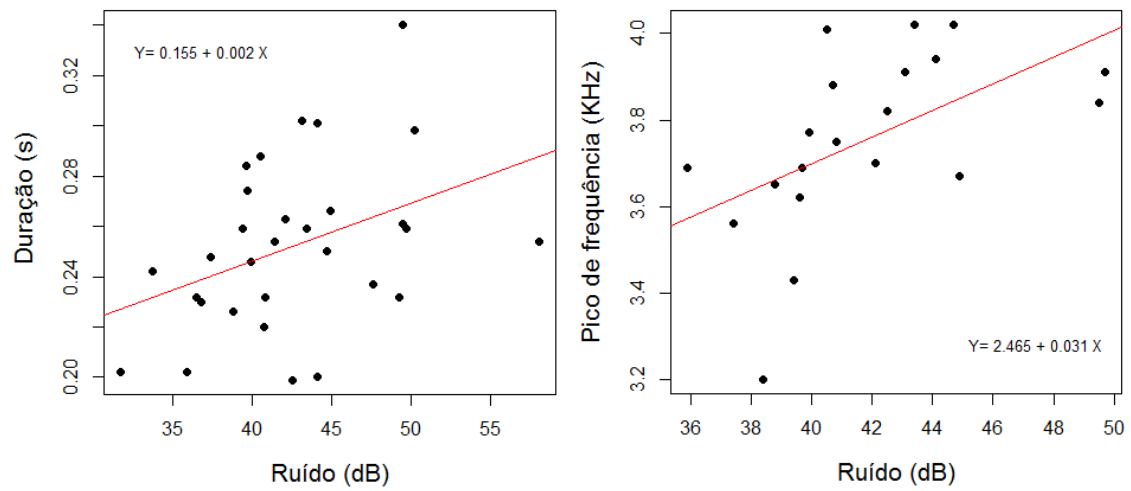
**Figura 6: Notas compartilhadas por *Turdus rufiventris* em ambiente urbano e rural.**



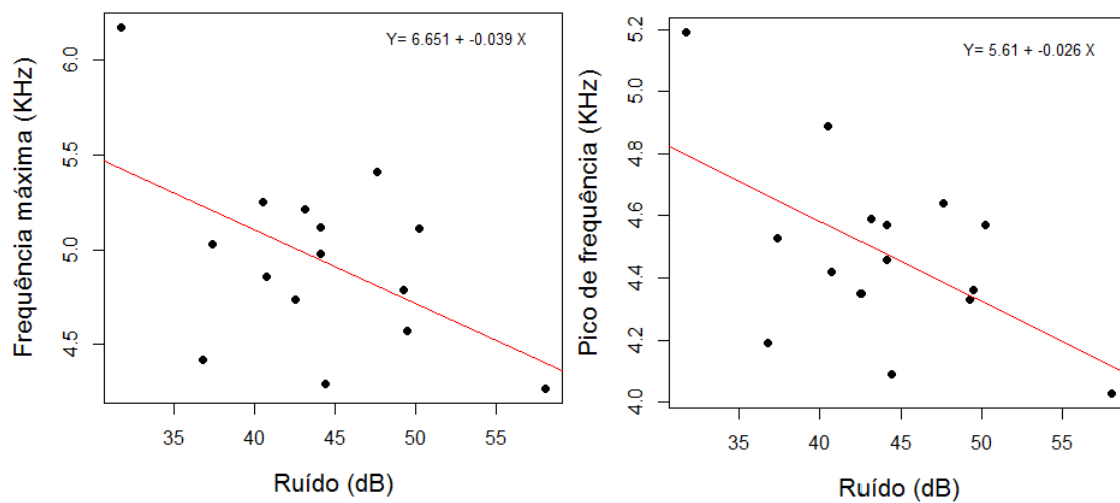
**Figura 7: Relação entre pico de frequência da nota “G” (esquerda) e frequência máxima da nota “BL” (direita) com nível de ruído ambiental em *Turdus rufiventris*.**



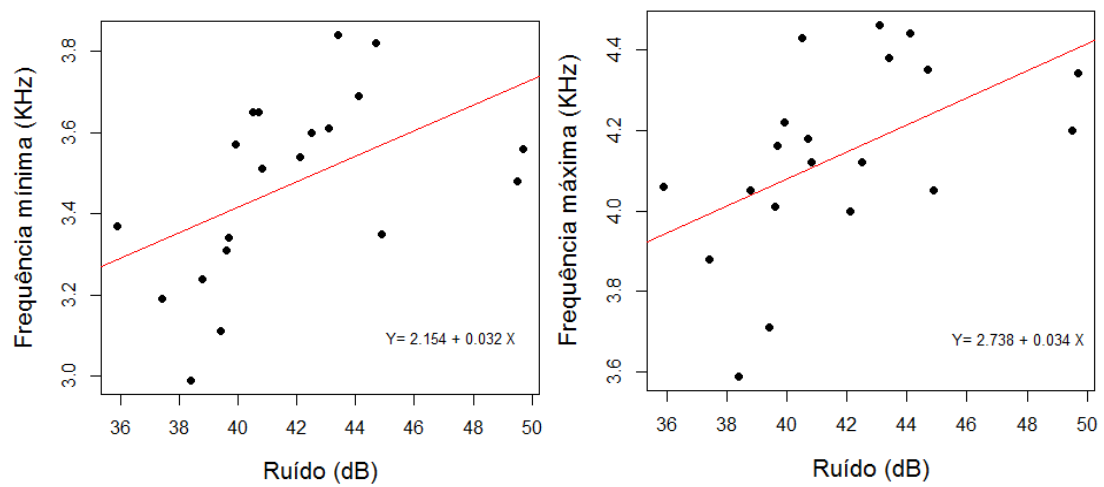
**Figura 8: Notas compartilhadas por *Zonotrichia capensis* em ambiente urbano e rural.**



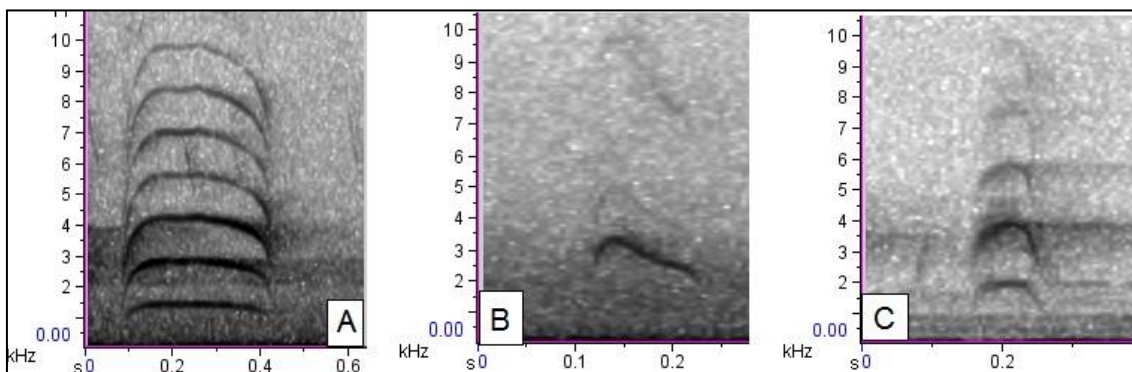
**Figura 9: Relação entre duração da nota “A” (esquerda) e pico de frequência da nota “J” (direita) com ruído do ambiente em *Zonotrichia capensis*.**



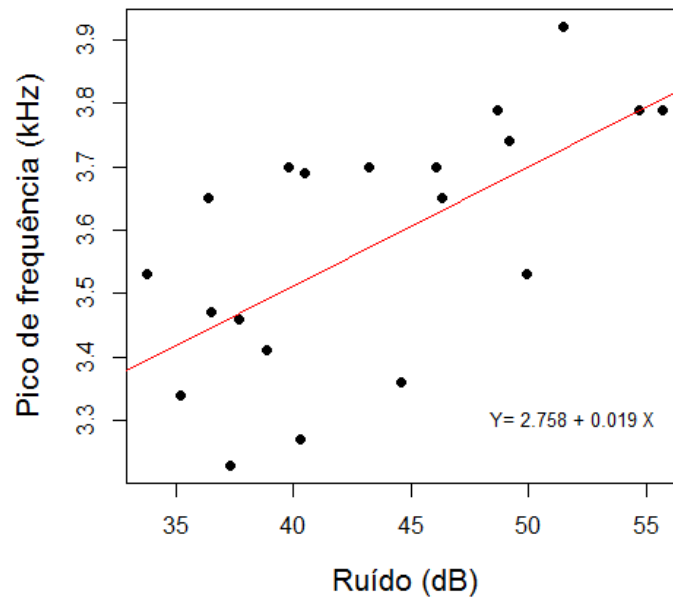
**Figura 10: Relação entre frequência máxima (esquerda) e pico de frequência (direita) da nota “D” e ruído do ambiente em *Zonotrichia capensis*.**



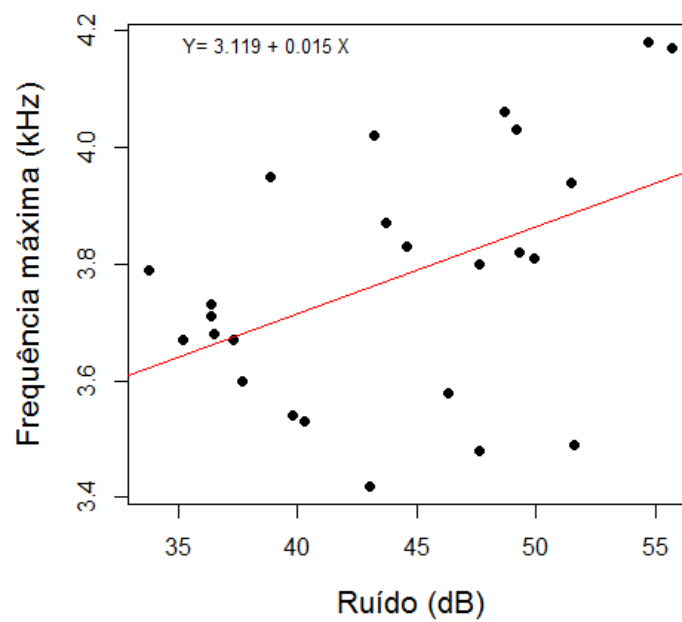
**Figura 11: Relação entre frequência mínima (esquerda) e frequência máxima (direita) da nota “J” e ruído do ambiente em *Zonotrichia capensis*.**



**Figura 12: Notas produzidas por de *Pitangus sulphuratus*.**



**Figura 13: Relação entre pico de frequência do canto e ruído do ambiente em *Pitangus sulphuratus*.**



**Figura 14: Relação entre frequência máxima da nota "B" e ruído do ambiente em *Pitangus sulphuratus*.**



## APÊNDICE 2 - TABELAS

**Tabela 1: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de *Sicalis flaveola* em função do ruído ambiental. Em negrito, valores significativos com  $P < 0,05$**

Parâmetros da vocalização	Coefficiente de regressão ( $\pm EP$ )	$R^2$	t	P
<u>Canto (N=24)</u>				
Duração	0,25 $\pm$ 0,21	0,02	1,22	0,23
Frequência mínima	0,27 $\pm$ 0,20	0,03	1,32	0,19
Frequência máxima	-0,19 $\pm$ 0,21	0,03	-0,91	0,37
Pico de frequência	0,16 $\pm$ 0,21	0,02	0,75	0,45
<u>Nota A (N=6)</u>				
Duração	-0,91 $\pm$ 0,20	0,79	-4,50	<b>0,01</b>
Frequência mínima	0,80 $\pm$ 0,29	0,55	2,70	<b>0,05</b>
Frequência máxima	0,60 $\pm$ 0,39	0,20	1,50	0,20
Pico de frequência	0,21 $\pm$ 0,48	0,19	0,44	0,67
<u>Nota B (N=7)</u>				
Duração	-0,70 $\pm$ 0,31	0,39	-2,22	0,07
Frequência mínima	0,78 $\pm$ 0,44	0,06	0,17	0,86
Frequência máxima	-0,14 $\pm$ 0,44	0,01	-0,31	0,76
Pico de frequência	-0,14 $\pm$ 0,44	0,02	-0,32	0,76

**Tabela 2: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A” e “B” de *Sicalis flaveola*. \*P<0,05.**

	Frequência Máxima	Pico de Frequência	Duração
<u>Canto (N=24)</u>			
Frequência Mínima	0,22	-0,17	-0,31
Frequência Máxima	-	0,02	-0,01
Pico de Frequência	-	-	0,31
<u>Nota A (N=06)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,78*</b>	0,18	-0,45
Frequência Máxima	-	-0,03	0,01
Pico de Frequência	-	-	0,23
<u>Nota B (N=07)</u>			
Frequência Mínima	0,75	0,55	<b>-0,83*</b>
Frequência Máxima	-	-0,04	<b>-0,85*</b>
Pico de Frequência	-	-	-0,04

**Tabela 3: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “H”, “J”, “K”, e “R” de *Troglodytes musculus*. \*P<0,05; \*\*P<0,001.**

	Frequência Máxima	Pico de Frequência	Duração
<u>Canto (N=45)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,42*</b>	0,10	-0,28
Frequência Máxima	-	0,01	0,18
Pico de Frequência	-	-	-0,02
<u>Nota A (N=27)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,79**</b>	<b>0,70*</b>	0,27
Frequência Máxima	-	<b>0,67*</b>	0,34
Pico de Frequência	-	-	0,41
<u>Nota H (N=14)</u>			
Frequência Mínima	0,15	<b>0,92**</b>	-0,43
Frequência Máxima	-	0,37	0,32
Pico de Frequência	-	-	-0,40
<u>Nota J (N=06)</u>			
Frequência Mínima	0,08	0,08	-0,50
Frequência Máxima	-	<b>0,97**</b>	<b>-0,81*</b>
Pico de Frequência	-	-	<b>-0,81*</b>
<u>Nota K (N=05)</u>			
Frequência Mínima	-0,70	<b>0,84*</b>	-0,42
Frequência Máxima	-	-0,77	<b>0,94*</b>
Pico de Frequência	-	-	-0,52
<u>Nota R (N=05)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,93*</b>	<b>0,93*</b>	<b>0,91*</b>
Frequência Máxima	-	<b>0,88*</b>	<b>0,87*</b>
Pico de Frequência	-	-	<b>0,79*</b>

**Tabela 4: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de *Troglodytes musculus* em função do ruído ambiental.**

Parâmetros da vocalização	Coefficiente de regressão ( $\pm$ EP)	R <sup>2</sup>	t	P
<u>Canto (N=45)</u>				
Duração	-0,35 $\pm$ 0,14	0,10	-2,40	<b>0,02</b>
Frequência mínima	-0,25 $\pm$ 0,15	0,04	-1,67	0,10
Frequência máxima	-0,22 $\pm$ 0,15	0,02	-1,48	0,14
Pico de frequência	0,05 $\pm$ 0,15	0,02	0,33	0,73
<u>Nota A (N=27)</u>				
Duração	-0,28 $\pm$ 0,19	0,04	-1,46	0,15
Frequência mínima	0,14 $\pm$ 0,19	0,02	0,73	0,46
Frequência máxima	0,14 $\pm$ 0,19	0,02	0,73	0,47
Pico de frequência	0,20 $\pm$ 0,19	0,02	1,02	0,31
<u>Nota H (N=14)</u>				
Duração	-0,55 $\pm$ 0,24	0,25	-2,31	<b>0,03</b>
Frequência mínima	0,47 $\pm$ 0,25	0,16	1,87	0,08
Frequência máxima	0,08 $\pm$ 0,28	0,06	0,28	0,78
Pico de frequência	-0,35 $\pm$ 0,28	0,04	-1,25	0,23
<u>Nota J (N=6)</u>				
Duração	-0,35 $\pm$ 0,46	0,12	-0,75	0,49
Frequência mínima	0,08 $\pm$ 0,49	0,07	0,17	0,86
Frequência máxima	-0,19 $\pm$ 0,49	0,03	-0,39	0,71
Pico de frequência	-0,20 $\pm$ 0,48	0,04	-0,41	0,69
<u>Nota K (N=5)</u>				
Duração	0,05 $\pm$ 0,57	0,02	0,09	0,93
Frequência mínima	0,72 $\pm$ 0,39	0,37	1,84	0,16
Frequência máxima	-0,22 $\pm$ 0,56	0,05	-0,40	0,71
Pico de frequência	0,67 $\pm$ 0,42	0,27	1,58	0,21
<u>Nota R (N=5)</u>				
Duração	-0,53 $\pm$ 0,48	0,05	-1,10	0,34
Frequência mínima	-0,54 $\pm$ 0,48	0,06	-1,13	0,33
Frequência máxima	-0,46 $\pm$ 0,51	0,21	-0,91	0,42
Pico de frequência	-0,52 $\pm$ 0,49	0,03	-1,07	0,36

**Tabela 5: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “G”, “L”, “BL”, “BF”, “BD”, “AM” e “AV” de *Turdus rufiventris*. \* $P < 0,05$ .**

	Frequência Máxima	Pico de Frequência	Duração
<u>Canto (N=34)</u>			
Frequência Mínima	0,04	0,02	-0,29
Frequência Máxima	-	0,13	-0,19
Pico de Frequência	-	-	0,23
<u>Nota G (N=11)</u>			
Frequência Mínima	-0,04	<b>0,71*</b>	-0,30
Frequência Máxima	-	-0,14	0,08
Pico de Frequência	-	-	-0,20
<u>Nota L (N=09)</u>			
Frequência Mínima	0,55	<b>0,73*</b>	-0,38
Frequência Máxima	-	0,45	-0,05
Pico de Frequência	-	-	-0,24
<u>Nota BL (N=05)</u>			
Frequência Mínima	0,80	0,80	0,70
Frequência Máxima	-	0,70	0,27
Pico de Frequência	-	-	0,30
<u>Nota BF (N=05)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,97*</b>	<b>0,97*</b>	<b>-0,87*</b>
Frequência Máxima	-	<b>0,77*</b>	<b>-0,95*</b>
Pico de Frequência	-	-	-0,57
<u>Nota BD (N=07)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,89*</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,93*</b>
Frequência Máxima	-	<b>0,77*</b>	<b>-0,95*</b>
Pico de Frequência	-	-	-0,69
<u>Nota AM (N=05)</u>			
Frequência Mínima	0,65	0,82	-0,15
Frequência Máxima	-	0,15	-0,49
Pico de Frequência	-	-	0,20

**Tabela 6: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de *Turdus rufiventris* em função do ruído ambiental. Em negrito, valores significativos com  $P < 0,05$ .**

Parâmetros da vocalização	Coeficiente de regressão ( $\pm$ EP)	R <sup>2</sup>	t	P
<u>Canto (N=34)</u>				
Duração	-0,09 $\pm$ 0,17	0,08	-0,52	0,60
Frequência mínima	0,11 $\pm$ 0,11	0,01	0,66	0,50
Frequência máxima	0,78 $\pm$ 0,17	0,06	0,44	0,65
Pico de frequência	-0,10 $\pm$ 0,17	0,01	-0,61	0,54
<u>Nota L (N=09)</u>				
Duração	0,41 $\pm$ 0,37	0,01	0,11	0,91
Frequência mínima	0,35 $\pm$ 0,35	0,01	1,00	0,34
Frequência máxima	-0,03 $\pm$ 0,37	0,01	-0,10	0,91
Pico de frequência	0,56 $\pm$ 0,31	0,22	1,82	0,11
<u>Nota AM (N=05)</u>				
Duração	0,60 $\pm$ 0,46	0,14	1,30	0,28
Frequência mínima	0,16 $\pm$ 0,56	0,29	0,28	0,79
Frequência máxima	0,26 $\pm$ 0,55	0,06	0,47	0,66
Pico de frequência	0,17 $\pm$ 0,56	0,29	0,31	0,77
<u>Nota BD (N=07)</u>				
Duração	-0,26 $\pm$ 0,43	0,03	-0,61	0,56
Frequência mínima	-0,06 $\pm$ 0,44	0,21	-0,15	0,88
Frequência máxima	0,11 $\pm$ 0,44	0,01	0,25	0,81
Pico de frequência	-0,16 $\pm$ 0,44	0,07	-0,36	0,73
<u>Nota BF (N=05)</u>				
Duração	-0,52 $\pm$ 0,49	0,02	-1,05	0,36
Frequência mínima	-0,17 $\pm$ 0,56	0,01	-0,30	0,78
Frequência máxima	0,48 $\pm$ 0,50	0,23	0,95	0,41
Pico de frequência	0,03 $\pm$ 0,57	0,01	0,06	0,95
<u>Nota BL (N=05)</u>				
Duração	-0,44 $\pm$ 0,51	0,19	-0,86	0,45

*Continua...*

*Continuação da tabela 6.*

Frequência mínima	$-0,73 \pm 0,39$	0,37	-1,85	0,16
Frequência máxima	$-0,87 \pm 0,28$	0,68	-3,12	<b>0,05</b>
Pico de frequência	$-0,26 \pm 0,55$	0,07	-0,48	0,66
<u>Nota G (N=11)</u>				
Duração	$-0,19 \pm 0,32$	0,03	-0,60	0,55
Frequência mínima	$-0,22 \pm 0,32$	0,05	-0,70	0,50
Frequência máxima	$0,43 \pm 0,29$	0,10	1,45	0,17
Pico de frequência	$-0,66 \pm 0,24$	0,38	-2,68	<b>0,02</b>

**Tabela 7: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “I” e “J” de *Zonotrichia capensis*. \*P<0,05; \*\*P<0,001.**

	Frequência Máxima	Pico de Frequência	Duração
<u>Canto (N=32)</u>			
Frequência Mínima	0,15	0,29	-0,15
Frequência Máxima	-	0,27	0,25
Pico de Frequência	-	-	0,11
<u>Nota A (N=30)</u>			
Frequência Mínima	0,05	0,05	0,05
Frequência Máxima	-	0,19	0,43
Pico de Frequência	-	-	0,09
<u>Nota B (N=29)</u>			
Frequência Mínima	0,12	0,29	-0,14
Frequência Máxima	-	0,07	0,08
Pico de Frequência	-	-	-0,10
<u>Nota C (N=28)</u>			
Frequência Mínima	<b>-0,51*</b>	0,32	<b>-0,74*</b>
Frequência Máxima	-	-0,20	<b>0,46*</b>
Pico de Frequência	-	-	-0,15
<u>Nota D (N=15)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,72*</b>	<b>0,77*</b>	-0,11
Frequência Máxima	-	<b>0,91*</b>	-0,11
Pico de Frequência	-	-	-0,10
<u>Nota E (N=06)</u>			
Frequência Mínima	0,69	0,74	0,47
Frequência Máxima	-	<b>0,89*</b>	0,30
Pico de Frequência	-	-	0,22
<u>Nota I (N=06)</u>			
Frequência Mínima	-0,05	0,60	0,09
Frequência Máxima	-	0,22	-0,54
Pico de Frequência	-	-	<b>-0,90*</b>
<u>Nota J (N=20)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,87**</b>	<b>0,87*</b>	-0,20
Frequência Máxima	-	<b>0,91*</b>	0,04
Pico de Frequência	-	-	-0,09



**Tabela 8: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de *Zonotricha capensis* em função do ruído ambiental.**

Parâmetros da vocalização	Coefficiente de regressão ( $\pm$ EP)	R <sup>2</sup>	t	P
<u>Canto (N=32)</u>				
Duração	0,18 $\pm$ 0,17	0,01	1,02	0,31
Frequência mínima	-0,08 $\pm$ 0,18	0,07	-0,48	0,63
Frequência máxima	-0,01 $\pm$ 0,18	0,01	-0,06	0,94
Pico de frequência	-0,08 $\pm$ 0,18	0,06	-0,44	0,65
<u>Nota A (N=30)</u>				
Duração	0,38 $\pm$ 0,17	0,12	2,23	<b>0,03</b>
Frequência mínima	0,19 $\pm$ 0,18	0,04	1,06	0,29
Frequência máxima	0,03 $\pm$ 0,18	0,09	0,16	0,87
Pico de frequência	-0,08 $\pm$ 0,18	0,02	0,47	0,63
<u>Nota B (N=29)</u>				
Duração	0,18 $\pm$ 0,18	0,03	0,98	0,33
Frequência mínima	0,09 $\pm$ 0,19	0,09	0,52	0,60
Frequência máxima	0,12 $\pm$ 0,19	0,01	0,66	0,50
Pico de frequência	-0,22 $\pm$ 0,18	0,01	-1,21	0,23
<u>Nota C (N=28)</u>				
Duração	-0,13 $\pm$ 0,19	0,01	-0,67	0,50
Frequência mínima	-0,04 $\pm$ 0,19	0,01	-0,22	0,82
Frequência máxima	0,02 $\pm$ ,019	0,08	0,14	0,88
Pico de frequência	-0,25 $\pm$ 0,18	0,02	-1,32	0,19
<u>Nota D (N=15)</u>				
Duração	0,12 $\pm$ 0,27	0,01	0,45	0,65
Frequência mínima	-0,23 $\pm$ 0,26	0,05	-0,87	0,40
Frequência máxima	-0,51 $\pm$ 0,23	0,20	-0,21	<b>0,05</b>
Pico de frequência	-0,55 $\pm$ 0,22	0,26	-0,24	<b>0,03</b>
<u>Nota E (N=06)</u>				
Duração	-0,08 $\pm$ 0,49	0,07	-0,17	0,86
Frequência mínima	-0,04 $\pm$ 0,49	0,16	-0,08	0,93
Frequência máxima	-0,09 $\pm$ 0,49	0,08	-0,19	0,85

Continua...

*Continuação da tabela 8*

Pico de frequência	-0,08 ± 0,49	0,08	-0,18	0,86
<u>Nota I (N=06)</u>				
Duração	0,03 ± 0,49	0,01	0,06	0,95
Frequência mínima	-0,05 ± 0,50	0,02	-0,01	0,99
Frequência máxima	-0,60 ± 0,39	0,20	-1,51	0,20
Pico de frequência	-0,41 ± 0,45	0,16	-0,90	0,41
<u>Nota J (N=20)</u>				
Duração	-0,03 ± 0,23	0,01	-0,15	0,87
Frequência mínima	0,49 ± 0,20	0,20	2,43	<b>0,02</b>
Frequência máxima	0,51 ± 0,20	0,22	2,55	<b>0,02</b>
Pico de frequência	0,53 ± 0,19	0,24	2,70	<b>0,01</b>

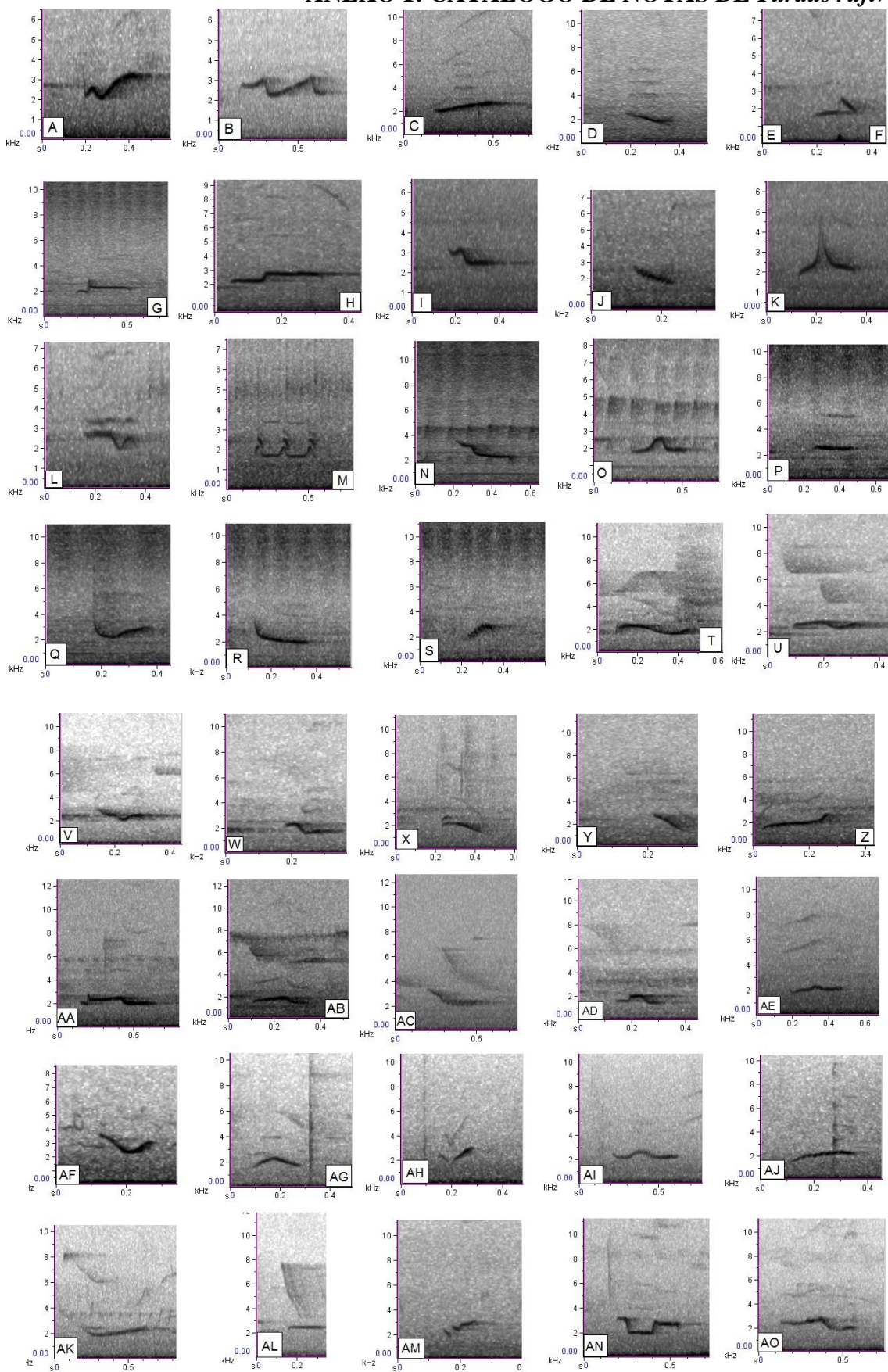
**Tabela 9: Correlação entre as variáveis resposta do canto e das notas “A”, “B” e “C” de *Pitangus sulphuratus*. \*P<0,05; \*\*P<0,001.**

	Frequência Máxima	Pico de Frequência	Duração
<u>Canto (N=23)</u>			
Frequência Mínima	0,22	0,59	0,04
Frequência Máxima	-	0,27	-0,38
Pico de Frequência	-	-	0,09
<u>Nota A (N=31)</u>			
Frequência Mínima	0,27	0,44	-0,33
Frequência Máxima	-	<b>0,84**</b>	0,50
Pico de Frequência	-	-	0,31
<u>Nota B (N=28)</u>			
Frequência Mínima	0,51	0,39	0,04
Frequência Máxima	-	<b>0,77**</b>	0,36
Pico de Frequência	-	-	0,11
<u>Nota C (N=20)</u>			
Frequência Mínima	<b>0,80**</b>	<b>0,91**</b>	-0,13
Frequência Máxima	-	<b>0,87**</b>	-0,10
Pico de Frequência	-	-	<-0,01

**Tabela 10: Resultado da regressão linear dos parâmetros duração do canto (s), frequência mínima (kHz), frequência máxima (kHz) e pico de frequência (kHz) de *Pitangus sulphuratus* em função do ruído ambiental.**

Parâmetros da vocalização	Coefficiente de regressão ( $\pm$ EP)	R <sup>2</sup>	t	P
<u>Canto (N=23)</u>				
Duração	0,33 $\pm$ 0,20	0,07	1,63	0,11
Frequência mínima	0,26 $\pm$ 0,21	0,02	1,27	0,21
Frequência máxima	0,33 $\pm$ 0,20	0,07	1,63	0,11
Pico de frequência	0,62 $\pm$ 0,17	0,35	3,47	<b>&lt;0,01</b>
<u>Nota A (N=31)</u>				
Duração	0,20 $\pm$ 0,18	0,07	1,10	0,27
Frequência mínima	-0,04 $\pm$ 0,18	0,01	-0,23	0,81
Frequência máxima	-0,15 $\pm$ 0,18	0,02	-0,84	0,40
Pico de frequência	-0,20 $\pm$ 0,18	0,06	-1,10	0,28
<u>Nota B (N=28)</u>				
Duração	0,01 $\pm$ 0,19	0,01	0,06	0,94
Frequência mínima	0,18 $\pm$ 0,19	0,03	0,95	0,34
Frequência máxima	0,44 $\pm$ 0,18	0,16	2,40	<b>0,02</b>
Pico de frequência	0,58 $\pm$ 0,16	0,06	1,36	0,18
<u>Nota C (N=20)</u>				
Duração	0,01 $\pm$ 0,23	0,03	0,07	0,94
Frequência mínima	-0,10 $\pm$ 0,23	0,01	-0,43	0,66
Frequência máxima	0,17 $\pm$ 0,23	0,03	0,77	0,45
Pico de frequência	-0,16 $\pm$ 0,23	0,02	-0,71	0,48

**ANEXO 1: CATÁLOGO DE NOTAS DE *Turdus rufiventris*.**



*continua*

*Continuação do anexo 1...*