



Universidade de Brasília
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

***Competição por espaço acústico:
adaptações de cantos de aves em uma zona
de alta biodiversidade do Brasil Central***

Alexandre Ferreira de Souza Dias

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Regina H. F. Macedo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ecologia.

Brasília – DF

2013

ALEXANDRE FERREIRA DE SOUZA DIAS

Competição por espaço acústico: adaptações de cantos de aves em uma zona de alta biodiversidade do Brasil Central

Tese aprovada junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Regina H. F. Macedo
Orientadora – UnB

Prof. Dr. Ricardo B. Machado
Membro Titular – UnB

Prof^a. Dr^a. Rosana Tidon
Membro Titular – UnB

Prof. Dr. Diego Gil
Membro Titular (externo) - Museo Nacional de Ciencias Naturales (Espanha)

Prof^a. Dr^a. Patrícia Monticelli-Almada
Membro Titular (externo) – USP - Ribeirão Preto (SP)

Prof^a. Dr^a. Ludmilla Aguiar
Suplente – UnB

Brasília, julho de 2013

Agradecimentos

À minha mãe e meu pai, a quem sou infinitamente grato pelo incomensurável apoio, amor e oportunidades que me deram durante toda minha vida.

A meus avós maternos, avós paternos, e tia Myrinha, por todo o infinito carinho

À minha amada esposa, Graziella Joanitti, pelo amor e enorme ajuda, e que me apoiou em todos os obstáculos sempre me dando forças.

À minha orientadora, Regina Macedo, a quem não tenho palavras para expressar como admiro seu trabalho como professora e pesquisadora.

Ao colega Rafael Braga, cuja ajuda foi imprescindível no trabalho de campo

Ao colega Daniel Gressler, pela sua incomparável ajuda e perícia em identificar cantos de aves

Aos colegas Debora Goedert e Raphael Igor Dias, pela imensa ajuda com as gravações nos territórios de cerrado na FAL

Aos Prof. Dr. Diego Gil, prof. Dr. Alejandro Rios-Chelén e Prof. Dr. Constantino Macías Garcia pelas estimulantes ideias iniciais e discussões

Aos colegas Renata Alquezar e Diego de Araújo, pela ajuda e insights com o programa Song Scope

Aos professores Ricardo B. Machado, Rosana Tidon, Diego Gil, Patrícia Monticelli-Almada e Ludmilla Aguiar, por aceitarem o convite para participar da banca

A todos os colegas do laboratório, pelo companheirismo em sala de aula e em viagens a congressos, em especial Raphael Igor Dias, Lilian Manica, Rafael Maia, Paula Sicsu, Leonardo Castilho e Pedro Diniz.

E, finalmente, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento através da bolsa de estudos.

Sumário

Lista de figuras	5
Lista de tabelas	7
Resumo	9
Abstract.....	10
Breve histórico da bioacústica no Brasil	11
Capítulo 1. Descrição do Coro Matutino de Áreas do Cerrado	14
Introdução	14
Material e Métodos	17
Resultados	18
Discussão	20
Capítulo 2. Competição acústica interespecífica em aves do Cerrado	23
Introdução	23
Material e Métodos	25
Resultados.....	28
Discussão	32
Capítulo 3. Adaptações do canto de aves aos ruídos urbanos	34
Introdução	34
Material e Métodos	38
Resultados.....	42
Discussão	44
Capítulo 4. Reconhecimento automático de cantos de aves do Cerrado	47
Introdução	47
Material e Métodos	51
Resultados.....	56
Discussão	59
Referências bibliográficas	63
Anexo I	76
Anexo II.....	79
Anexo III	83
Anexo IV	85

Lista de figuras

- Figura 1. Número de trabalhos acadêmicos publicados por década com os termos [bioacoustic(s) Brazil], de acordo com o Google Acadêmico.....12
- Figura 2. Mapa da Fazenda Água Limpa (reserva de propriedade da Universidade de Brasília), indicando os locais onde foram realizadas as gravações em áreas de cerrado (círculos) e de borda de mata (quadrados).....18
- Figura 3. Número de espécies de aves vocalmente ativas identificadas (presença-ausência) por estrato de tempo (de cinco em cinco minutos, entre 6 e 7h da manhã), referentes a cinco gravações realizadas em áreas de cerrado na Fazenda Água Limpa nos dias 5, 9, 10 e 12 de setembro de 2009.....19
- Figura 4. Número de espécies de aves vocalmente ativas identificadas (presença-ausência) por estrato de tempo (de cinco em cinco minutos, entre 6 e 7h da manhã), referentes a seis gravações realizadas em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa nos dias 7, 8, 9 e 15 de agosto de 2009 e 9 e 10 de fevereiro de 2011.....20
- Figura 5. Mapa da Fazenda Água Limpa (reserva de propriedade da Universidade de Brasília), indicando os locais onde foram realizadas as gravações em áreas de cerrado (círculos) e de borda de mata (quadrados).....26
- Figura 6. Gráficos exibindo o número médio de cantos por estratos de cinco minutos entre 6h e 7h da manhã em gravações realizadas na Fazenda Água Limpa entre os meses de agosto e setembro de 2009, para pares de espécies com cantos agudos (freq. média > 3000 Hz), e pares de espécies com cantos graves (freq. média < 3000 Hz), de um total de 6h de gravações por fisionomia. (A) espécies de canto agudo em áreas de cerrado: *C. obsoletum* (azul) e *Z. capensis* (vermelho); (B) espécies de canto grave em áreas de cerrado: *C. gujanensis* (vermelho) e *S. similis* (azul); (C) espécies de canto agudo em áreas de borda de mata: *T. melancholicus* (azul) e *C. obsoletum* (vermelho); (D) espécies de canto grave em áreas de borda de mata: *C. gujanensis* (vermelho) e *S. similis* (azul).....29
- Figura 7. Gráficos de dispersão para a diferença em módulo entre frequências médias (Hz) dos cantos de cinco espécies e percentual de interseção entre áreas dos gráficos de

pares de espécies em áreas de cerrado (A) e borda de mata (B), totalizando 6 pares de espécies por fisionomia.....31

Figura 8. Mapa de Brasília indicando os pontos em que cada espécie foi gravada, incluindo a Fazenda Água Limpa (no topo à esquerda) e quadras residenciais (à direita). Mapa A: *C. gujanensis* (azul); *C. flaveola* (vermelho); *S. nigricollis* (verde). Mapa B: *F. rufus* (vermelho); *T. musculus* (azul).....38

Figura 9. Espectrogramas dos cantos de (de cima para baixo) *Troglodytes musculus*, *Furnarius rufus*, *Coereba flaveola*, *Cyclarhis gujanensis*, e *Sporophila nigricollis*. Em todos é possível ver a presença do ruído ambiente nas frequências mais graves (< 1 kHz).....39

Figura 10. Espectrograma do canto de um indivíduo de *Troglodytes musculus* no programa Raven Pro 1.4, com a janela de seleção englobando o canto (evidenciada em vermelho), a partir da qual são extraídas as medidas de frequência mínima e frequência máxima.....41

Figura 11. Gráficos de amplitude do ruído ambiente (dB) x Frequência mínima (Hz) dos cantos de (A) *Furnarius rufus* (n = 52) e (B) *Troglodytes musculus* (n = 35).....43

Figura 12. Exemplo de uma amostra do canto de *C. gujanensis* no programa Song Scope. À esquerda é mostrado seu espectrograma. À direita são exibidos dois gráficos de escala de frequência logarítmica com níveis de energia normalizados, da mesma amostra, que indicam como o programa interpreta o sinal. No gráfico do meio, o programa não é capaz de perceber o sinal, porque o parâmetro de tamanho do canto está com um valor menor do que a duração real do canto. O gráfico da direita indica que o programa é capaz de perceber o sinal após o ajuste deste parâmetro.....54

Figura 13. Exemplos de espectrogramas dos cantos das seis espécies na maneira como foram utilizadas para gerar os reconhecedores no programa Song Scope. (A) *T. musculus*, (B) *S. nigricollis*, (C) *R. rufescens*, (D) *C. gujanensis*, (E) *C. leucotis* (três sílabas), (F) *V. jacarina*. Em A, B os retângulos indicam o trecho do canto utilizado nos reconhecedores.....54

Lista de tabelas

Tabela 1. Frequências médias ((freq. máxima + freq. mínima)/2), dos cantos das cinco espécies analisadas. Os valores são apresentados como média ± desvio padrão. A média de cada espécie foi obtida a partir de 10 amostras de cantos de cinco gravações diferentes para cada fisionomia (cerrado ou borda de mata).....27

Tabela 2. Diferenças em módulo entre as frequências médias de cada par de espécies, e o respectivo percentual de interseção de área dos gráficos de número médio de cantos vs. horário para cada par de espécies. Gravações realizadas entre agosto e setembro de 2009 em áreas de cerrado e borda de mata da Fazenda Água Limpa, totalizando 6h de gravações por fisionomia.....30

Tabela 3. Médias dos parâmetros de frequência mínima (Freqmin), frequência máxima (Freqmax), frequência de pico (Freqpico) e range do nível de ruído urbano registrados para as espécies *Cyclarhis gujanensis*, *Coereba flaveola*, *Furnarius rufus*, *Sporophila nigricollis* e *Troglodytes musculus*, gravados em Brasília, Brasil, entre outubro/2010 e março/2011. O tamanho amostral está indicado entre parênteses.....42

Tabela 4. Correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de frequência e nível de ruído ambiente (dB) para os indivíduos das espécies *Cyclarhis gujanensis*, *Coereba flaveola*, *Furnarius rufus*, *Sporophila nigricollis* e *Troglodytes musculus*, gravados em Brasília, Brasil, entre outubro/2010 e março/2011. Freqmin = frequência mínima (Hz), Freqmax = frequência máxima (Hz), Freqpico = frequência de pico (Hz), r = coeficiente de correlação, p = probabilidade. O tamanho amostral está indicado entre parênteses.....42

Tabela 5. Parâmetros utilizados para gerar os reconhecedores de seis espécies (*Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens*, *Cyclarhis gujanensis*, *Volatinia jacarina*, *Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus*) no programa Song Scope (Wildlife Acoustics Inc).....52

Tabela 6. Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para as espécies *Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens*, *Cyclarhis gujanensis*, *Volatinia jacarina*, *Cantorchilus leucotis*, *Troglodytes musculus* em gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de borda de mata e cerrado na Fazenda Água Limpa em 2009,

2011, 2012 e 2013, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.....	57
--	----

Resumo

Cada vez mais estudos têm mostrado que aves são capazes de modificar seu canto quando sujeitas a ruídos interferentes, sejam de fonte antrópica (como ruídos urbanos) ou biótica (cantos de outras aves). O presente estudo investigou comunidades de aves no Cerrado registradas com gravadores automáticos Song Meter e em regiões urbanas de Brasília gravadas com microfone direcional, analisando-se a influência de diferentes níveis de ruído urbano no canto de cinco espécies, e o grau de sobreposição da atividade de canto de cinco espécies durante o coro matutino em áreas de cerrado e borda de mata na Fazenda Água Limpa. Inicialmente apresentamos uma descrição do coro matutino, composto por 111 espécies, e a quantidade de espécies que exibem atividade vocal por estrato de tempo. Observamos uma tendência à redução no número de espécies entre 6h e 7h nas áreas de cerrado ($r = -0.53$, $p = 0.07$) e um aumento no número de espécies em áreas de borda de mata para o mesmo horário ($r = 0.82$, $p = 0.001$). A hipótese de que espécies com cantos com maior similaridade, ou seja, que utilizam bandas de frequência mais próximas, distribuem temporalmente os seus cantos de modo a não se sobreponem ao longo do tempo não se confirmou, porém encontramos indícios de particionamento do espaço acústico nos dados que indicam picos assíncronos de atividade de canto para os pares de espécies *Camptostoma obsoletum* & *Tyrannus melancholicus*, e *Cyclarhis gujanensis* & *Saltator similis* gravadas em áreas de borda de mata. Já os resultados relativos às espécies gravadas em áreas urbanas mostraram uma correlação positiva significativa entre a frequência mínima do canto e o nível de ruído urbano para as espécies *Troglodytes musculus* ($r = 0,67$, $p < 0.001$), e *Furnarius rufus* ($r = 0.46$, $p < 0.001$). Por fim, foi analisada a eficácia do programa Song Scope em gerar reconhecedores automáticos para seis espécies. Para quatro espécies o programa apresentou um alto índice de detecções corretas (acima de 50%), enquanto que para duas delas, cujos cantos são mais complexos e mais variáveis, o índice de positivos verdadeiros foi abaixo de 30%. Tais dados mostram o alto potencial de reconhecedores automáticos para se avaliar comunidades de aves em áreas grandes onde o emprego de observadores humanos qualificados é limitado.

Palavras-chave: Bioacústica; coro matutino; competição acústica; cantos de aves; Brasil; Cerrado; ruído urbano; gravadores automáticos; reconhecedores automáticos;

Abstract

A growing body of studies show that birds are capable of modifying their song when subject to interfering noises, either anthropogenic (*e.g.* urban noise) or biotic (songs from other birds). The present study investigated bird communities in the Cerrado biome recorded with Song Meter automatic equipment and in urban regions in Brasília, Brazil, recorded with a directional microphone, by analyzing the influence of different levels of urban noise on the song of five species, and the degree of overlap of singing activity between five species during the dawn chorus in cerrado and gallery forest edge areas at the Água Limpa Farm. Initially we present a description of the dawn chorus, comprising 111 species, and the number of species exhibiting vocal activity by time strata. We observed a trend towards reduction in the number of species vocally active between 6h and 7h in cerrado areas ($r = -0.53$, $p = 0.07$) and an increase in the number of species in gallery forest edge areas for the same period ($r = 0.82$, $p = 0.001$). The hypothesis that species with more similar songs, *i.e.* which sing in closer frequency bandwidths, distribute their songs temporally so that they do not overlap over time was not confirmed; however we found evidence of acoustic space partition in the data that indicate asynchronous peaks of song activity for the species pairs *Camptostoma obsoletum* & *Tyrannus melancholicus*, and *Cyclarhis gujanensis* & *Saltator similis* recorded in forest gallery areas. The results relative to species recorded in urban areas showed a positive significant correlation between minimum song frequency and the level of urban noise for the species *Troglodytes musculus* ($r = 0.67$, $p < 0.001$), and *Furnarius rufus* ($r = 0.46$, $p < 0.001$). Finally, we analyzed the effectiveness of the Song Scope software in generating automatic recognizers for six species. For four species the software showed high indexes of correct detections (above 50%), whereas for two of them, whose songs are more complex and more variable, the false positive index was below 30%. Such data show the high potential of automatic recognizers to evaluate bird communities in large areas where the use of qualified human observers is limited.

Keywords: Bioacoustics; dawn chorus; acoustic competition; Bird song; Brazil; Cerrado; urban noise; automatic recorders; automatic recognizers;

Breve histórico da bioacústica no Brasil

Os primeiros registros de sons de animais no Brasil precedem a época das gravações, e foram realizados por Hercule Florence, que participou da expedição de Langsdorff no Brasil entre 1825 e 1829. O artista belga descreveu e registrou em partitura os cantos de algumas espécies de aves, como o João-corta-pau (*Antrostomus rufus*) e o Jaó (*Crypturellus undulatus*) (Vielliard, 1993). Em meados do século XIX, consta que o botânico inglês Richard Spruce utilizou técnica similar, ao transcrever a melodia do canto do Uirapuru (*Cyphorhinus arada*) durante sua expedição ao Brasil (Cascardo, 1971). Uma maneira mais direta e acessível de se descrever o canto de uma ave é por meio de sílabas onomatopeicas, tradicionalmente usadas por guias de campo para ornitólogos e por Sick (1997), porém este método é subjetivo e sujeito a ambigüidades.

Embora a gravação de som tenha sido inventada em 1877, foi apenas a partir da década de 1960 que sua prática tornou-se viável em grande escala, com o surgimento dos gravadores portáteis de fita magnética. Nesta época surgiram as primeiras gravações de aves realizadas em áreas naturais no Brasil, por Johan Dalgas Frisch, que produziu diversos LPs, popularizando os primórdios da bioacústica no Brasil.

Paralelamente, pesquisadores estrangeiros passaram a realizar gravações de aves no Brasil, depositando-as em bancos de sons internacionais, como a Macaulay Library (Universidade de Cornell, Ithaca, EUA), que reúne 150.000 gravações de animais, sendo cerca de 11.000 realizadas no Brasil.

Em 1973, foi iniciada a gravação sistemática de vozes de aves no Brasil, com a vinda do ornitólogo francês Jacques Vielliard para a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Estas gravações integraram o que depois se tornou o Arquivo Sonoro Neotropical (1978) (renomeado Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard após a morte do pesquisador), parte do Laboratório de Bioacústica do Departamento de Zoologia da UNICAMP, que hoje conta com 25.000 gravações, e que posteriormente passou a integrar o Arquivo dos Sons da Amazônia, em cooperação com a Universidade Federal do Pará - UFPA.

Outros acervos de sons de animais no Brasil são o Arquivo Sonoro Elias P. Coelho (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), que conta com 5.000 gravações; Banco de Sons do Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da Universidade Estadual de Londrina - UEL, com cerca de 5.000 gravações; Arquivo Sonoro de

Mamíferos (ARQSOMA) USP/UDESC, em fase de constituição; e Acervo do Arquivo Bioacústico Catarinense da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/CCB/ECZ/Laboratório de Bioacústica). Os acervos bioacústicos constituem importante referência para identificações de espécies, e fornecem amplo material de pesquisa para diversas linhas de pesquisa. Gravações vindas dos acervos brasileiros são frequentemente organizadas em CDs comerciais.

A partir da década de 1980, com o surgimento e popularização de gravadores digitais e programas específicos, tornou-se possível adquirir equipamentos de alta tecnologia de gravação, para uso pessoal. A partir dos anos 2000, tornaram-se disponíveis gravadores automáticos que podem ser programados para armazenar dezenas de horas em campo sem interferência humana. Este maior acesso aos equipamentos de gravação resultou na criação de *sites* colaborativos que disponibilizam gravações feitas por amadores, em geral em formatos de áudio comprimido, como Xeno-canto (com 18.717 gravações realizadas no Brasil, abrangendo 1414 espécies, até 2013) e WikiAves (número total de gravações não informado).

O aumento no interesse pela bioacústica no Brasil é refletido no número de publicações nas últimas décadas. O portal do Google Acadêmico registra 1.500 artigos que contêm os termos [bioacoustic(s) Brazil], evidenciando um crescimento pronunciado nas duas últimas décadas (Figura 1).

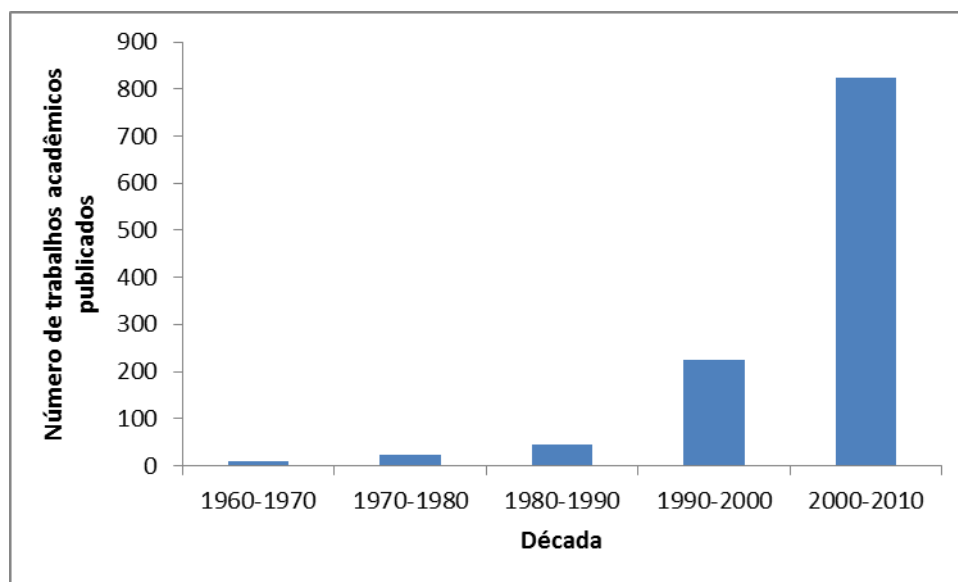


Figura 1. Número de trabalhos acadêmicos publicados por década com os termos [bioacoustic(s) Brazil], de acordo com o Google Acadêmico.

Já o banco de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes lista 73 teses/dissertações defendidas com o assunto “bioacústica”. Os trabalhos abordam diversos grupos taxonômicos, incluindo principalmente aves, anfíbios, insetos, mamíferos aquáticos e primatas. As principais linhas de pesquisa envolvem: análise filogenética de parâmetros bioacústicos em aves; comportamento de comunicação por meio de sinais sonoros, incluindo o estudo do repertório vocal das espécies; neurociências e psicologia experimental, a respeito das questões de aprendizagem, memorização e reconhecimento de padrões; fisiologia da emissão e da recepção do sinal acústico; ecologia, sobre as adaptações do sinal às condições ambientais de propagação; biologia da conservação, como ferramenta de procura e levantamento de espécies e comunidades; e evolução das estratégias de comunicação (Vielliard e Silva, 2010).

Atualmente há diversos laboratórios voltados para a bioacústica no Brasil, que frequentemente estão relacionados a cursos de pós-graduação com enfoque em bioacústica. Dentre eles estão o Laboratório de Bioacústica da UNICAMP, Laboratório de Bioacústica da UFRJ, Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da UFPA, Laboratório de Etologia e Bioacústica (EBAC) da USP, Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da UFU, Laboratório de Bioacústica de Cetáceos da UFRRJ, Laboratório de Bioacústica do Museu de Ciências Naturais da PUC Minas, Laboratório de Bioacústica Catarinense da UFSC, Laboratório de Mamíferos Aquáticos do INPA e Laboratório de Comportamento Animal da Universidade de Brasília - UnB. Além disso, há 26 grupos de pesquisa de universidades brasileiras cadastrados no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq em 2013 que possuem bioacústica como uma das linhas de pesquisa.

É importante mencionar que cada vez mais disciplinas de bioacústica têm surgido em cursos de Biologia, incluindo uma parceria recente entre a UnB e o Laboratório de Ornitologia de Cornell, que viabilizou o curso de bioacústica de Cornell no Brasil em 2012. Congressos de ornitologia e de etologia frequentemente apresentam minicursos de bioacústica, e em 2003 e 2013 vemos a realização do International BioAcoustics Congress no Brasil, contribuindo para a consolidação desta ciência no país.

Capítulo 1. Descrição do Coro Matutino de Áreas do Cerrado

Introdução

O coro matutino [*dawn chorus*] é um dos fenômenos diários mais conspícuos e complexos realizados por Passeriformes, consistindo em um pico de atividade vocal logo no início da manhã, começando cerca de uma hora antes do nascer do sol (Catchpole e Slater, 2008). Embora exista também um pico de atividade vocal no crepúsculo, é no alvorecer que as aves concentram sua atividade de canto (Catchpole e Slater, 2008). Este fenômeno ainda é pouco compreendido, e a maior parte dos estudos e registros sobre o coro matutino foi feita em regiões temperadas. Regiões tropicais provavelmente possuem um coro matutino menos pronunciado, devido à sazonalidade menos pronunciada que regiões temperadas. Porém, presume-se que regiões com maior sazonalidade entre as estações chuvosa e seca, como o Brasil central, exibam um coro matutino mais acentuado na estação chuvosa. Sabe-se que cada espécie inicia seu canto em momentos diferentes, em geral seguindo uma sequência regular e previsível. O número de cantos emitidos neste período, e até mesmo o tipo de canto, diferem dos cantos emitidos ao longo do dia em algumas espécies. Os cantos do alvorecer em geral são emitidos em uma taxa muito mais alta, e, caso a espécie tenha um grande repertório, ela pode expô-lo muito mais rapidamente do que durante as outras horas do dia (Kroodsma, 2005). Machos da espécie *Dendroica petechia* (Parulidae), por exemplo, emitem cerca de 12 cantos nos primeiros 30 minutos da manhã, alternando-os rapidamente, e depois passam a cantar um único tipo de canto, emitido ao longo do dia (Kroodsma, 2004). Esse padrão em que a ave alterna entre diferentes tipos de canto rapidamente só é retomado durante o dia quando ocorre confronto com outros machos, indicando que no coro matutino são emitidos cantos agressivos. O mesmo tipo de variação na quantidade de cantos emitidos entre o alvorecer e o restante do dia é observado nas espécies *Setophaga ruticilla* (Parulidae) e *Contopus virens* (Tyrannidae) (Kroodsma, 2004).

Existem diversas hipóteses que procuram explicar por que este pico de produção sonora ocorre no amanhecer (ver revisão em Mace, 1987). Kacelnik e Krebs (1982) argumentam que três das principais vantagens em se cantar no alvorecer são:

- 1) A transmissão do som é particularmente eficaz nesse período do dia. Certas condições microclimáticas são favoráveis para a transmissão do som, como a baixa

intensidade de vento e turbulência de ar. Segundo o modelo de Henwood e Fackrick (1979), a transmissão no alvorecer poderia ser até 20 vezes mais eficaz do que ao meio-dia. Por exemplo, evidências mostram que a qualidade da transmissão dos cantos de *Melospiza melodia* (Emberizidae) e *Zonotrichia albicollis* (Emberizidae) é significativamente mais consistente no alvorecer do que ao meio-dia (Brown e Handford, 2003). Curiosamente, Mantheyon *et al.* (2004) também argumentam que o alto nível de ruído ambiente no alvorecer, resultante da atividade vocal simultânea de várias espécies diferentes, pode constituir uma boa oportunidade para comunicação particular entre dois indivíduos, devido ao efeito de mascaramento da paisagem sonora.

2) A maioria dos pássaros não é capaz de enxergar o suficiente para forragear neste horário devido à baixa intensidade de luz, tornando difícil caçar visualmente, especialmente se considerarmos presas crípticas. Além disso, as baixas temperaturas da manhã devem reduzir a atividade de invertebrados, novamente tornando-os mais difíceis de serem detectados. Portanto, esse período poderia ser reservado pelas aves para a emissão de cantos.

3) Devido à mortalidade durante a noite, o alvorecer é quando os territórios vagos se tornam aparentes. Machos invasores teriam mais chance de assegurar um território vago, e seriam mais propensos a tentar uma invasão. O alvorecer é um período importante para que os residentes defendam seus territórios com o canto. Machos recém-chegados são uma ameaça constante, explorando a área em busca de territórios vagos e talvez também avaliando os machos residentes que estão cantando.

No entanto, o coro matutino também pode ter como função atrair fêmeas. Mace (1986, 1987) destacou que, na espécie *Parus major* (Paridae), o coro matutino principal só acontece durante o período fértil da fêmea, coincidindo com o período de postura de ovos. Este autor também sugere que o coro matutino de *Parus major* tem a importante função de assegurar a paternidade do macho, através de guarda da fêmea. Como muitas aves, as fêmeas desta espécie realizam a postura durante o alvorecer, e então ficam no seu estágio mais fértil à medida que o próximo ovo percorre o oviduto para ser fertilizado. Durante esse curto período, a paternidade estaria bastante ameaçada por invasões de machos rivais e tentativas de cópulas extra-par.

Sabe-se que machos de *Parus caeruleus* (Paridae) que começam a cantar mais cedo no alvorecer têm mais chances de realizar cópulas extra-par (Poesel *et al.*, 2006). Esses machos tendem a ser mais velhos, então talvez as fêmeas sejam capazes de utilizar o canto do alvorecer como um indicador de qualidade e viabilidade do macho.

É interessante notar que espécies com maior tamanho de olho tendem a entrar antes no coro matutino (Armstrong, 1973 *in* Catchpole e Slater, 2008). Também já foi constatado que existe uma correlação entre tamanho de olho e diâmetro da pupila com o horário em que 57 espécies europeias começam a cantar (Thomas *et al.*, 2002). Foi observado que espécies com olhos maiores começam a cantar antes, apoiando a hipótese de que a capacidade visual em baixos níveis de luz determina quando uma espécie em particular se tornará vocalmente ativa pela manhã. Berg *et al.* (2006) realizaram um estudo comparativo similar com 57 espécies tropicais de 27 famílias e chegaram a uma conclusão similar. Porém, embora espécies com olhos maiores começassem a cantar mais cedo, a altura de forrageamento foi o melhor preditor de horário inicial de canto, sendo que espécies de copa começavam antes do que espécies em estratos mais baixos e mais escuros.

Outra hipótese é a de que o alvorecer é o momento do dia em que as reservas de energia estão em seu mínimo, e alguns indivíduos não possuem energia para cantar (Montgomerie, 1985). Portanto, se um indivíduo tem reservas suficientes, este é o melhor momento para anunciar seu vigor (similar ao princípio da desvantagem; Zahavi, 1975). Assim, o horário do canto, e não apenas a taxa de canto ou outra característica acústica, seria um sinal honesto para as fêmeas. Montgomerie (1985) argumenta que esta hipótese é consistente com o caso atípico de *Calcarius lapponicus* (Emberizidae), que nidifica em altas latitudes do ártico e possui um “coro matutino” depois de um período de inatividade, apesar dos dias com 24 horas de luz.

Existe uma grande lacuna de conhecimento em relação ao coro matutino, apesar das observações e experimentos feitos até o momento, tornando difícil interpretar se um macho cantando durante sua estação reprodutiva no alvorecer está repelindo outros machos, atraindo e estimulando sua fêmea antes da cópula, atraindo outras fêmeas para obter cópulas extra-par, ou talvez combinando todas estas importantes funções em seu canto (Podulka *et al.*, 2004; Catchpole e Slater, 2008).

O bioma Cerrado é um dos 34 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Conservation International, 2010), contendo pelo menos 837 espécies, das quais 355 ocorrem dentro das quatro principais reservas de Brasília, incluindo a Fazenda Água Limpa (FAL) (Braz e Cavalcanti, 2001). Durante os últimos 35 anos, aproximadamente metade do Cerrado (1.000.000 km²) sofreu extenso desmatamento, a uma taxa de 0,5% ao ano, maior do que a da floresta amazônica (MMA e IBAMA, 2009; Klink e

Machado, 2005), e é o segundo em termos de número de espécies ameaçadas de aves no Brasil (Marini e Garcia, 2005).

Um número crescente de estudos bioacústicos tem sido publicado em diversos países, com múltiplas implicações para a conservação e para o conhecimento do comportamento animal (Slabbekoorn e Peet, 2003; Patricelli e Blickley, 2006; Tumer e Brainard, 2007; Planqué e Slabbekoorn, 2008; Luther, 2009). No entanto, poucos foram realizados no Brasil (Luther, 2008a; Luther, 2009) e, surpreendentemente, nenhum estudo analisou coro matutino do Cerrado. O conhecimento básico de muitas das espécies de aves deste bioma é notavelmente escasso, e estudos sobre comportamento vocal podem ser de grande importância em delimitar a ocorrência de espécies e fornecer informações sobre características de história de vida.

Este estudo tem como objetivo fornecer uma descrição inicial do coro matutino de aves em diferentes áreas de cerrado e borda de mata do Brasil central. Os dados obtidos incluem a identificação de espécies nos diferentes ambientes e a sequência de entrada de cada uma no coro matutino. Pressupomos que haverá uma maior diversidade de aves nas áreas de borda de mata, por serem áreas de transição entre fisionomias.

Material e Métodos

Foram realizadas 11 gravações de 1h durante o alvorecer (0600 a 0700 h) nos dias 7, 8, 9 e 15 de agosto de 2009 e 9 e 10 de fevereiro de 2011 em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa (FAL) (15°56'S 47°56'W), reserva propriedade da Universidade de Brasília, e nos dias 5, 9, 10 (em dois locais diferentes) e 12 de setembro de 2009 em áreas de cerrado da FAL (ver mapa na Figura 2), utilizando-se três gravadores Song Meter modelo SM1 (Wildlife Acoustics, Inc.) com microfones omnidirecionais embutidos, projetados especificamente para gravação de cantos de aves no campo. As gravações foram registradas em arquivos não-comprimidos .wav, com taxa de amostragem de 44.1 kHz e 16 bits.



Figura 2. Mapa da Fazenda Água Limpa (reserva de propriedade da Universidade de Brasília), indicando os locais onde foram realizadas as gravações em áreas de cerrado (círculos) e de borda de mata (quadrados).

Um ornitólogo especialista (Daniel Gressler) fez uma varredura manual nas 11 gravações, utilizando a visualização de espectrogramas do editor de som Audacity 2.0.3, e as espécies vocalmente ativas foram registradas em uma tabela, sendo uma linha para cada espécie, e uma coluna para cada estrato de 5 minutos. Em cada célula foi marcada presença ou ausência de cada espécie. Espécies não-identificadas, ou identificadas apenas no nível de família, foram desconsideradas.

Foi gerado um gráfico com o somatório do número de espécies (presença-ausência) das cinco gravações feitas em áreas de cerrado e outro com um somatório do número de espécies (presença-ausência) das seis gravações feitas em áreas de borda de mata, que exibem a distribuição do número de espécies por estrato de tempo entre os horários de 0600 e 0700 h. Os testes de correlação de Pearson entre o número de espécies e o estrato de tempo foram realizados com o programa R v.2.13.2 (R Development Core Team).

Resultados

Foram identificadas 111 espécies vocalmente ativas nas 11 gravações analisadas. Destas, 64 espécies foram identificadas nas áreas de borda de mata e 85 nas áreas de cerrado, sendo 34 espécies comuns aos dois grupos (Anexo I). A média de espécies

vocalmente ativas por dia é praticamente a mesma nas duas áreas, sendo $37,6 \pm 13,6$ nas áreas de cerrado, e $37,5 \pm 1,91$ nas áreas de borda de mata.

No Anexo II são apresentadas as tabelas com as espécies identificadas nas áreas de cerrado e borda de mata, respectivamente, dispostas por ordem em que começam a cantar, juntamente com o somatório do número de vezes que cada espécie foi identificada em cada estrato de tempo, e o somatório do número de espécies identificadas em cada estrato (presença-ausência).

As Figuras 3 e 4 exibem os gráficos de número de espécies identificadas (presença-ausência) por estrato de tempo para as áreas de cerrado e borda de mata, respectivamente. Nota-se que nas gravações realizadas em áreas de cerrado o número de espécies vocalmente ativas às 6h começa em torno de 40 e reduz gradualmente para cerca de 30 às 7h. Já nas gravações realizadas em áreas de borda de mata, nota-se um aumento linear de espécies desde as 6h (cerca de 10 espécies) até as 6:30, quando alcança um patamar com cerca de 30 espécies.

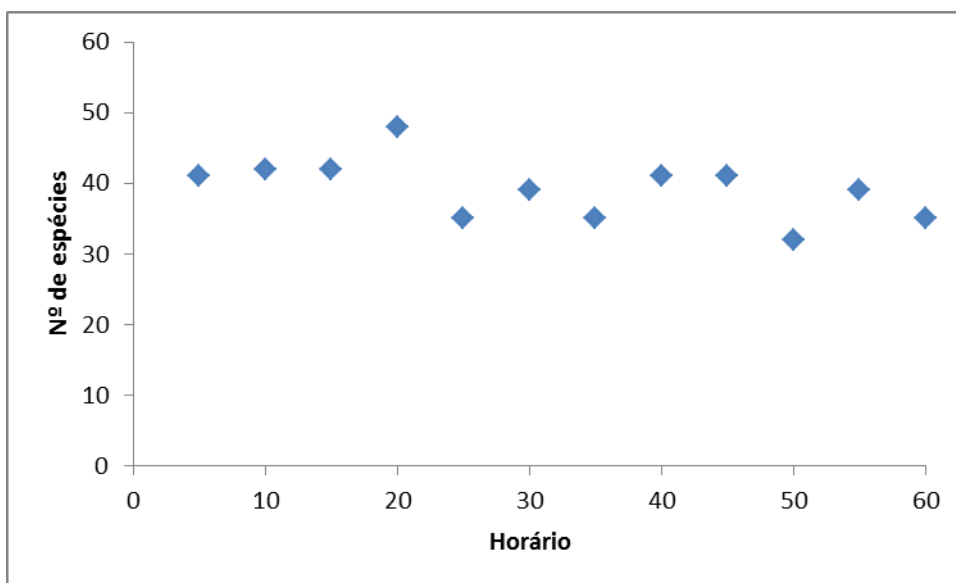


Figura 3. Número de espécies de aves vocalmente ativas identificadas (presença-ausência) por estrato de tempo (de cinco em cinco minutos, entre 6 e 7h da manhã), referentes a cinco gravações realizadas em áreas de cerrado na Fazenda Água Limpa nos dias 5, 9, 10 e 12 de setembro de 2009.

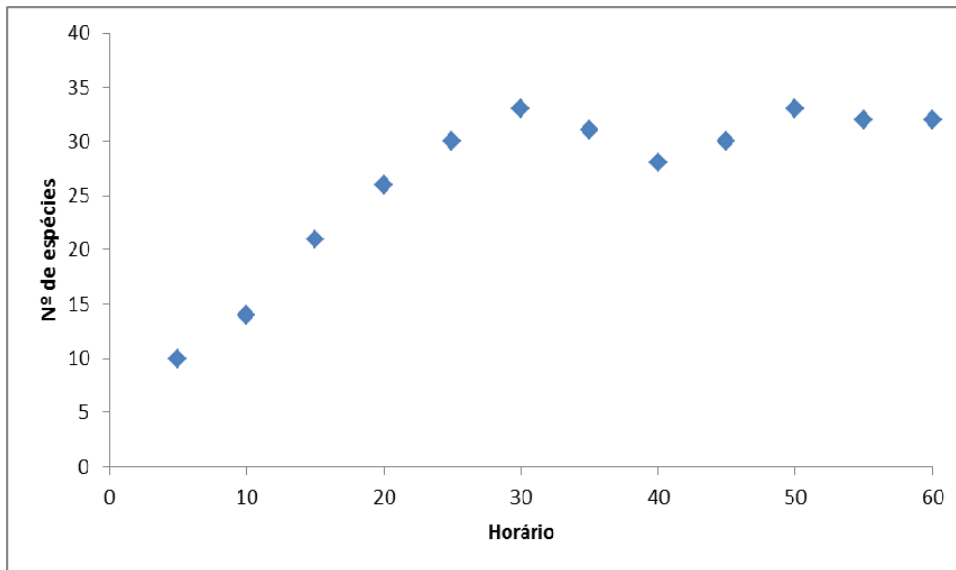


Figura 4. Número de espécies de aves vocalmente ativas identificadas (presença-ausência) por estrato de tempo (de cinco em cinco minutos, entre 6 e 7h da manhã), referentes a seis gravações realizadas em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa nos dias 7, 8, 9 e 15 de agosto de 2009 e 9 e 10 de fevereiro de 2011.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre número de espécies vocalmente ativas (presença) e estrato de tempo são $r = -0.53$, $p = 0.07$, para o somatório das áreas de cerrado; e $r = 0.82$, $p = 0.001$ para o somatório das áreas de borda de mata.

Discussão

Os resultados mostram que há um número alto de espécies (111) vocalizando entre os horários de 0600 e 0700 h nas áreas amostradas. É interessante observar que as áreas de cerrado apresentaram um número maior de espécies vocalizando (85) do que nas áreas de borda de mata (64), sendo 34 espécies (31%) espécies comuns às duas fisionomias. Este resultado foi relativamente inesperado, pois pressupomos que haveria uma maior diversidade de aves nas bordas de mata, considerando que são áreas de transição entre fisionomias. Porém são necessárias amostras de mais áreas para se compreender melhor este padrão.

A contagem do número de espécies vocalizando por estrato de hora mostrou que nas áreas de cerrado um número maior (41) já estava vocalizando entre 6h00 e 6h05, enquanto que nas áreas de borda de mata apenas 10 espécies foram identificadas no mesmo estrato de tempo.

Outra diferença marcante entre as duas áreas, quanto ao coro matutino, é a maneira como a quantidade de espécies mudou ao longo do tempo. Nas áreas de cerrado vemos um pequeno e constante decréscimo no número de espécies vocalmente ativas (de aproximadamente 40 para cerca de 35) entre as 6h e 7h, com uma correlação negativa de $r = -0.53$. Já nas áreas de borda mata, houve um aumento linear no número de espécies até 6h30 (aumentando de 10 espécies até cerca de 35), quando alcançou um padrão similar a uma assíntota de curva de acumulação de espécies (apresentando uma correlação total de $r = 0.82$). A causa de tal diferença pode estar relacionada à quantidade de luz que penetra em cada ambiente: como as áreas de mata são mais fechadas, o ambiente é mais escuro, resultando em espécies que começam a cantar mais tarde. É possível observar que algumas poucas espécies cantaram em todo o tempo amostrado (como *Rhynchotus rufescens*, *Emberizoides herbícola* e *Ammodramus humeralis*), enquanto que uma grande parte cantou de maneira esparsa ao longo do mesmo período (como *Tangara sayaca*, *Furnarius rufus* e *Phacellodomus ruber*). Porém há outras espécies que parecem se distribuir em blocos ao longo da manhã. Por exemplo, nas gravações realizadas em bordas de mata, cinco espécies consistentemente começavam a cantar apenas no estrato de 6h05-6h10, dez espécies começavam apenas entre 6h10-6h15, sete apenas entre 6h15-6h20, nove entre 6h20-6h25, sete entre 6h25-6h30, quatro entre 6h30-6h35, e cinco nos estratos restantes. Um padrão similar, porém menos acentuado, pode ser visto nas gravações em áreas de cerrado.

A ordem em que começam a cantar quatro espécies amazônicas foi relatada por Luther (2008a), e a ordem do coro matutino composto por 82 espécies amazônicas foi relatada por Luther (2009), além de apresentar evidências de que as espécies se dividem no espaço acústico de modo a minimizar a interferência de outras espécies. Não encontramos na literatura trabalhos que tenham realizado gravações no Brasil com gravadores Song Meter, embora o número de trabalhos com este gravador venha crescendo em outros países (Williams *et al.*, 2010; Ross *et al.*, 2011; Buxton e Jones, 2012; Sueur *et al.*, 2012, Digby *et al.*, 2013), inclusive com anuros (Waddle *et al.*, 2009), morcegos (Adams *et al.*, 2012; Stahlschmidt e Brühl, 2012) e primatas (Ramsier *et al.*, 2012; Gursky-Doyen, 2013).

Observa-se também que unidades de gravação automática, como o Song Meter, oferecem uma maneira promissora para complementar os estudos de monitoramento de populações e da diversidade da avifauna. No presente estudo foram identificadas 91 espécies (44%) que constam da listagem de 205 espécies relatadas por Braz e

Cavalcanti (2001) para a reserva da Fazenda Água Limpa, além de 19 espécies que não constam deste levantamento (*Amazona amazônica*, *Anumbius annumbi*, *Basileuterus hypoleucus*, *Crotophaga ani*, *Furnarius rufus*, *Guira guira*, *Herpsilochmus longirostris*, *Hydropsalis albicollis*, *Hylocryptus rectirostris*, *Micropygia schomburgkii*, *Molothrus bonariensis*, *Porzana albicollis*, *Progne chalybea*, *Syrigma sibilatrix*, *Tachornis squamata*, *Thamnophilus torquatus*, *Theristicus caudatus*, *Tolmomyias flaviventris*, *Vanellus chilensis*). Isto mostra que com um número relativamente baixo de gravações (total de 11h) é possível amostrar uma parte expressiva da avifauna de uma área, e é provável que com número maior de gravações a quase totalidade de espécies seja identificada.

Este é o primeiro estudo a fornecer uma descrição inicial do coro matutino do cerrado, utilizando-se gravadores automáticos e fornecendo a ordem em que cada espécie começa a cantar. No entanto, ressaltamos a necessidade de se realizar estudos que analisem também gravações realizadas em outros meses que incluam a estação seca, período em que a atividade vocal das aves é menos pronunciada e sobre o qual também se sabe pouco em relação ao coro matutino.

Capítulo 2. Competição acústica interespecífica em aves do Cerrado

Introdução

As aves são conhecidas pelo uso proeminente que fazem de sinais acústicos para se comunicarem. Tais sinais são chamados de cantos ou vocalizações e compreendem uma ampla gama de funções, incluindo atração de parceiros, defesa de territórios, contato para manter o par social, manutenção de coesão do grupo, interação com a prole e alarmes contra predadores, entre outras possibilidades (Marler e Slabbekoorn, 2004). No entanto, cada sinal acústico pode sofrer interferência de ruídos no ambiente. Ruídos são em geral definidos como qualquer som que interfira na transmissão de um sinal acústico, do emissor ao receptor (Brumm e Slabbekoorn, 2005). A “razão sinal/ruído” é uma ferramenta conceitual amplamente utilizada na bioacústica e indica que, para um sinal ser transmitido com eficácia, ele deve superar o ruído-ambiente existente, ficando acima do limiar de detecção do receptor (Marten e Marler, 1977). O ruído-ambiente pode dificultar a comunicação acústica, especialmente quando sua frequência (kHz) se sobrepõe à do sinal. Tais ruídos podem consistir de ruídos abióticos, como cachoeiras e o vento, ou bióticos, como os próprios sinais acústicos de outras aves co-específicas e hetero-específicas.

Muitas aves utilizam comunicação a longa distância, e ruídos-ambiente podem frequentemente limitar as interações entre emissores e receptores. Um receptor deve ser capaz de detectar um sinal e distingui-lo na presença de muitos outros sinais similares vindos de outras espécies (Luther, 2008b). Para aumentar a detectabilidade de um sinal, o emissor deve maximizar o contraste entre seu sinal e o ruído ambiente, diminuindo assim erros na comunicação.

Existem três estratégias básicas que aves podem utilizar para maximizar a transmissão de seu sinal em situações de ruído (Brumm e Slabbekoorn, 2005; Ríos-Chélen, 2009). Uma primeira estratégia seria ajustando **parâmetros temporais** (*timing*) do canto. Ao ajustar os momentos em que irá cantar, o indivíduo pode evitar que haja uma sobreposição temporal entre seu sinal e a fonte de ruído. Uma segunda alternativa seria ajustando **parâmetros de frequência** (*pitch*) do canto. Ruídos-ambiente (incluindo ruídos urbanos) em geral possuem frequências baixas (graves). Ao aumentar a frequência (kHz) de seu canto como um todo, ou de partes dele, uma ave poderá evitar

sobreposição acústica com outros sinais. Desta forma ambos os sinais podem ocorrer simultaneamente e ainda serem distinguíveis. Finalmente, uma terceira estratégia seria ajustando **parâmetros de amplitude** (volume) do canto. Esta estratégia é conhecida como o Efeito Lombard, em que indivíduos passam a emitir sinais com maior volume na medida em que o ruído também aumenta em amplitude.

O alvorecer é a parte do dia em que as aves são particularmente mais ativas vocalmente, e este fenômeno é chamado de “coro matutino” (*dawn chorus*) (Catchpole e Slater, 2008). Tal momento constitui um exemplo de comunicação na presença de altos níveis de ruído-ambiente vindos de indivíduos hetero-específicos e co-específicos. Como cantos emitidos simultaneamente e em uma mesma banda de frequência podem sofrer interferência a ponto de prejudicar a comunicação, devemos considerar o espaço acústico como um recurso ecológico passível de competição entre diferentes indivíduos e espécies.

Durante o coro matutino, sabe-se que algumas espécies divergem em seu *timing*, evitando sobreposição temporal com outras espécies. Cody e Brown (1969) forneceram a primeira evidência para isso ao analisarem duas espécies de Troglodytidae. Foi constatado que indivíduos das espécies *Thryomanes bewickii* e *Chamaea fasciata* possuíam picos de taxa de canto a cada 50 minutos, no entanto os ciclos das duas espécies eram marcadamente assíncronos, indicando uma possível adaptação para evitarem sobreposição temporal. Não só isso, mas constataram também que *T. bewickii* é sempre a primeira espécie a cantar pela manhã, iniciando assim o ciclo que *C. fasciata* é obrigada a seguir para evitar competição direta. Isto indica que uma espécie pode estar exercendo controle sobre a outra.

A competição interespecífica por espaço acústico também já foi relatada para anfíbios (Gerhardt e Klump 1988; Wollerman e Wiley, 2002) e em cigarras (Maccagnan, 2008). Neste último estudo, uma análise dos padrões de canto de sete espécies de cigarras em São Paulo, Brasil, mostrou que estas vocalizam em diferentes faixas de frequência, e em períodos diferentes ao longo da estação chuvosa, diminuindo assim a competição por nichos acústicos.

Evidência adicional sobre competição acústica inter-específica já foi relatada para outras espécies. Por exemplo, um estudo realizado nos EUA mostrou que indivíduos das espécies *Vireo olivaceus* e *Empidonax minimus* também evitam competição direta, sendo que *E. minimus* evita cantar quando *V. olivaceus* encontra-se cantando (Ficken *et al.*, 1974). Similarmente, foi observado que quatro espécies de aves

de floresta temperada também evitavam sobreposição temporal de seus cantos, frequentemente cantando assim que surgia um intervalo (Popp *et al.*, 1985), e o mesmo padrão foi observado para quatro espécies das famílias *Thamnophilidae* e *Formicariidae* no estado do Mato Grosso (Luther, 2008a).

No entanto existem poucos dados sobre como o grau de similaridade acústica dos cantos se correlaciona com a distribuição temporal no coro matutino. Hipotetiza-se que cantos que possuam mais frequências em comum se sobreponham menos ao longo da manhã do que cantos com menos frequências em comum (Luther, 2008a).

Luther (2009) mostrou que dentre 82 espécies tropicais analisadas, aquelas que cantavam no mesmo estrato e no mesmo intervalo de 30 min tinham cantos mais diferentes entre si do que espécies que cantavam em estratos diferentes e ao longo de toda a manhã, levando à conclusão de que cantos de espécies que cantam fisicamente mais próximo e simultaneamente provavelmente co-evoluíram para reduzir a interferência acústica entre si.

Um dos poucos estudos que examinou esta hipótese em uma ampla comunidade de aves (no Peru, com 20 espécies) encontrou evidência de padrões de canto que minimizam a sobreposição (Planqué e Slabbekoorn, 2008). Este padrão foi específico para alguns pares de espécies, e foi encontrada ampla sobreposição temporal e de frequências em muitas das espécies estudadas. Porém, foi visto que nas frequências mais usadas por múltiplas espécies, havia menos sobreposição temporal do que esperado para uma distribuição aleatória de cantos.

O objetivo do presente estudo é testar a hipótese de adaptação acústica relacionada à competição inter-específica de aves pelo espaço acústico em áreas de cerrado e borda de mata. Tem-se a expectativa de que as espécies com cantos com maior similaridade, ou seja, que utilizam bandas de frequência mais próximas, distribuem temporalmente os seus cantos de modo a não se sobreporem ao longo do tempo. E ao contrário, aquelas com cantos menos similares não exibiriam um deslocamento temporal tão acentuado.

Material e Métodos

Foram realizadas 12 gravações de cantos de aves durante o alvorecer por 1 hora entre 0600 e 0700 h, horário que corresponde a um período de pronunciada atividade vocal de Passeriformes, utilizando-se três gravadores automáticos Song Meter (Wildlife

Acoustics Inc.) na Fazenda Água Limpa (15°56'S 47°56'W), reserva de propriedade da Universidade de Brasília. Seis gravações foram realizadas em áreas de cerrado nos dias 5, 10 (duas gravações em áreas diferentes), 11, 12 e 17 de setembro de 2009; e seis em áreas de borda de mata nos dias 6, 7, 8, 9, 11 e 15 de agosto de 2009 (Figura 5). Um ornitólogo especialista (Daniel Gressler) identificou as espécies vocalmente ativas em cada gravação (ver capítulo 1).

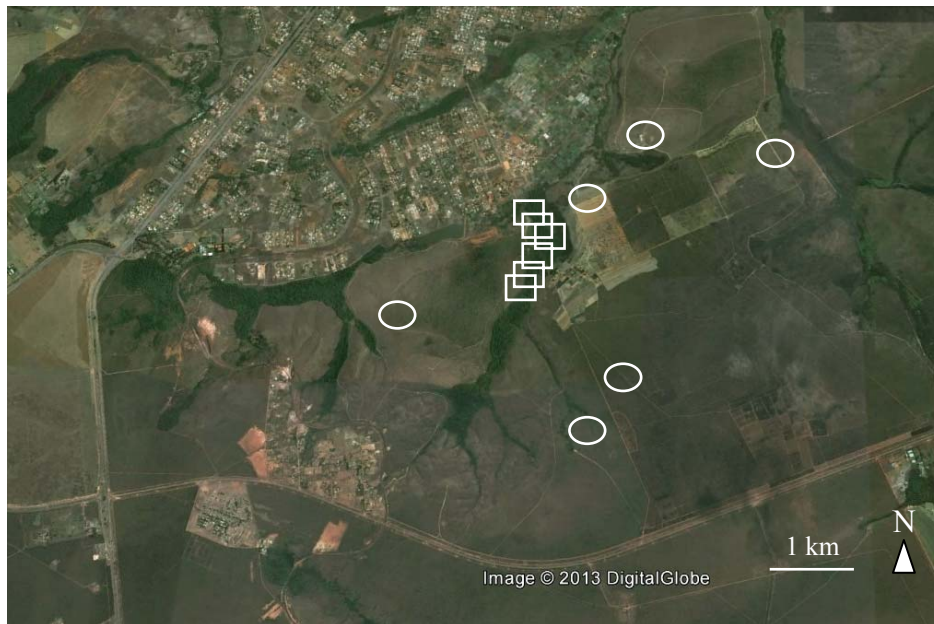


Figura 5. Mapa da Fazenda Água Limpa (reserva de propriedade da Universidade de Brasília), indicando os locais onde foram realizadas as gravações em áreas de cerrado (círculos) e de borda de mata (quadrados).

A partir da listagem de aves identificadas nas gravações, foram escolhidas cinco espécies de Passeriformes que emitiam cantos frequentemente nas gravações: *Camptostoma obsoletum* (risadinha), *Cyclarhis gujanensis* (pitiguari) e *Saltator similis* (trinca-ferro-verdadeiro), que ocorriam em ambas as áreas; *Tyrannus melancholicus* (suiriri), que ocorria nas áreas de borda de mata; e *Zonotrichia capensis* (tico-tico), que ocorria nas áreas de cerrado. O Anexo III apresenta exemplos de sonogramas dos cantos das referidas espécies. Foram extraídas 10 amostras de cantos de cada espécie de cinco gravações diferentes para cada fisionomia (cerrado ou borda de mata), e através do programa Raven Pro 1.4 (The Cornell Lab of Ornithology), foram calculadas a frequência mínima e frequência máxima de cada amostra, posicionando-se a janela de

seleção abrangendo as frequências fundamentais dos elementos do canto no espectrograma, desde as extremidades mais graves, até as mais agudas. A partir destes dados foi calculado o ponto médio entre frequência mínima e frequência máxima ($(\text{freq. máxima} + \text{freq. mínima})/2$), que aqui chamamos de frequência média. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão.

Os dados relativos às frequências médias para os cantos das cinco espécies analisadas (Tabela 1) indicam que há duas espécies com frequências médias acima de 3000 Hz e duas abaixo de 3000 Hz, para cada fisionomia. Classificamos *C. obsoletum*, *Z. capensis* e *T. melancholicus* como espécies de canto agudo; e *C. gujanensis* e *S. similis* como espécies de canto grave.

Tabela 1. Frequências médias ($(\text{freq. máxima} + \text{freq. mínima})/2$), dos cantos das cinco espécies analisadas. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão. A média de cada espécie foi obtida a partir de 10 amostras de cantos de cinco gravações diferentes para cada fisionomia (cerrado ou borda de mata).

Espécie	Frequência média (Hz)	
	Cerrado	Borda de mata
<i>Camptostoma obsoletum</i>	3001,5 \pm 307,8	4173,4 \pm 311,3
<i>Zonotrichia capensis</i>	4345,4 \pm 106,2	--
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	2717,7 \pm 280,7	2506,3 \pm 226,6
<i>Saltator similis</i>	2984,5 \pm 120,8	2749,6 \pm 153,7
<i>Tyrannus melancholicus</i>	--	5596,3 \pm 185,8

Em seguida, cada gravação de uma hora foi analisada no editor de som Cool Edit Pro 2.1, utilizando-se a visualização de espectrogramas em conjunto com a reprodução do som, e foi registrado o número de cantos emitidos por cada espécie-alvo para cada estrato de cinco minutos. A média do número de cantos emitido por cada espécie para cada estrato de tempo foi calculada, e com estes dados foram gerados gráficos por pares de espécies, pareando entre si as espécies com cantos mais agudos (com frequências médias de canto acima de 3000 Hz), e as com cantos mais graves (frequências médias abaixo de 3000 Hz), para facilitar a visualização da distribuição dos cantos (total de quatro espécies por fisionomia, sendo um par de espécies com canto agudo e um par de espécies com canto grave para cada fisionomia).

Posteriormente, para cada estrato de tempo foi calculada a área abaixo da linha do gráfico de cada espécie, por meio da área do trapézio $(Y_1 + Y_2)/2$, onde Y_1 é o valor de Y para o primeiro estrato, e Y_2 é o valor de Y para o estrato seguinte. A partir destes

dados, foi calculada a interseção de área entre cada par de espécies em uma mesma fisionomia (total de seis pares para cada fisionomia), gerando-se o somatório da menor área para cada estrato de cada par. Para que a intersecção de áreas pudesse ser comparada entre pares de espécies, foi calculada a percentagem de interseção dividindo-se a área sobreposta pela área total do gráfico de cada par de espécies (área da espécie 1 + área da espécie 2). Em seguida foi calculada a diferença em módulo (diferença absoluta) entre a frequência média de cada par de espécies.

O teste da hipótese baseia-se na expectativa de existência de uma correlação positiva entre a diferença de frequências entre cantos de pares de espécies em uma mesma fisionomia e a respectiva sobreposição temporal do número de cantos ao longo do intervalo de 1h. Portanto, realizou-se um teste de correlação de Pearson com o programa R v.2.13.2 (R Development Core Team) entre a diferença de frequências de cada par de espécies gravadas em uma mesma fisionomia vegetal (cerrado ou borda de mata) e o respectivo percentual de interseção.

Resultados

Os gráficos da distribuição de cantos por estrato de tempo mostram uma tendência à distribuição assincrônica para as espécies de borda de mata. Na Figura 6 (painel C) é possível observar que *T. melancholicus* e *C. obsoletum* divergiram quanto à posição dos picos de canto, sendo que o maior pico para *C. obsoletum* ocorreu por volta de 6:15 e em seguida ocorreu o pico de *T. melancholicus* às 6:25 h. Um padrão similar pode ser visto para as espécies *C. gujanensis* e *S. similis* (painel D), com o pico da primeira ocorrendo por volta de 6:30 e o pico da segunda por volta de 6:50.

Para as espécies gravadas em áreas de cerrado foi vista uma tendência à distribuição sincrônica de picos de canto *C. gujanensis* e *S. similis* (painel B), sendo que o maior pico para ambas ocorre por volta de 6:10, com picos subsequentes em 6:20 e 6:50. As espécies *C. obsoletum* e *Z. capensis* (painel A) exibiram uma distribuição mista com alguns picos próximos, em torno de 6:15 e 6:35, e um pico divergente em 6:50.

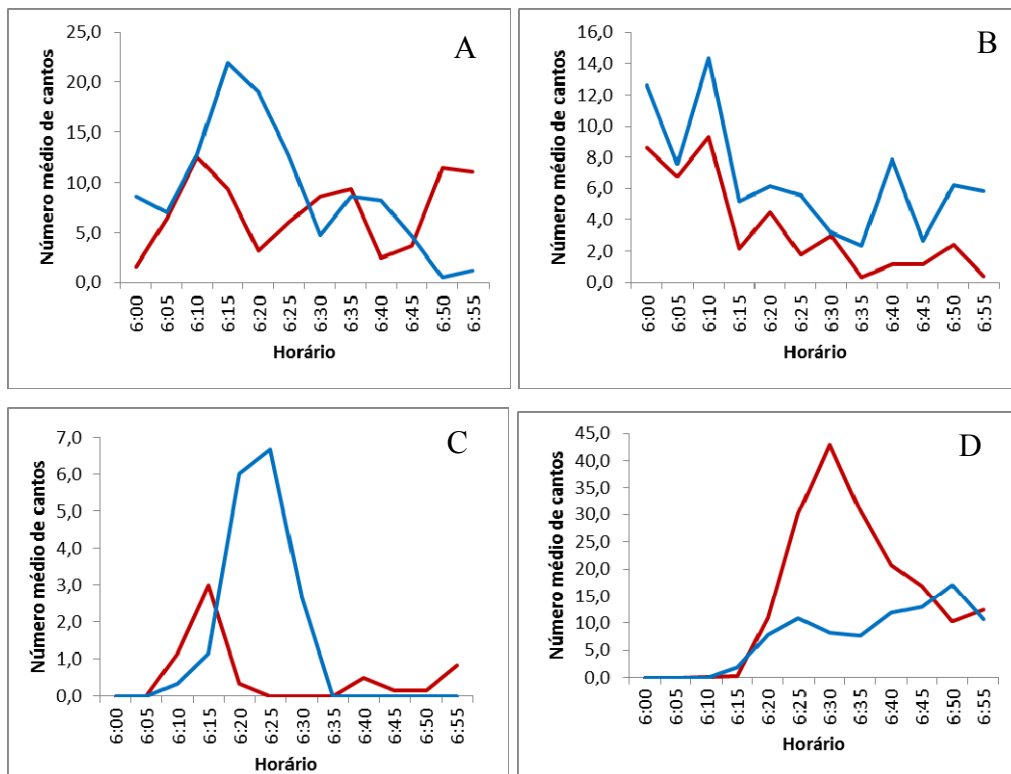


Figura 6. Gráficos exibindo o número médio de cantos por estratos de cinco minutos entre 6h e 7h da manhã em gravações realizadas na Fazenda Água Limpa entre os meses de agosto e setembro de 2009, para pares de espécies com cantos agudos (freq. média > 3000 Hz), e pares de espécies com cantos graves (freq. média < 3000 Hz), de um total de 6h de gravações por fisionomia. (A) espécies de canto agudo em áreas de cerrado: *C. obsoletum* (azul) e *Z. capensis* (vermelho); (B) espécies de canto grave em áreas de cerrado: *C. gujanensis* (vermelho) e *S. similis* (azul); (C) espécies de canto agudo em áreas de borda de mata: *T. melancholicus* (azul) e *C. obsoletum* (vermelho); (D) espécies de canto grave em áreas de borda de mata: *C. gujanensis* (vermelho) e *S. similis* (azul).

A Tabela 2 apresenta as diferenças em módulo entre as frequências médias de cada par de espécies, e o respectivo percentual de interseção de área dos gráficos (que indica a quantidade de sobreposição temporal entre os cantos de cada par de espécies). Para as espécies gravadas em áreas de cerrado, o percentual de sobreposição variou de 26 a 40%, e nas áreas de borda de mata o percentual apresentou valores mais baixos, variando de 2 a 31%.

Tabela 2. Diferenças em módulo entre as frequências médias de cada par de espécies, e o respectivo percentual de interseção de área dos gráficos de número médio de cantos vs. horário para cada par de espécies. Gravações realizadas entre agosto e setembro de 2009 em áreas de cerrado e borda de mata da Fazenda Água Limpa, totalizando 6h de gravações por fisionomia.

Espécies	Cerrado			Borda de mata		
	Diferença entre frequências médias (Hz)	Proporção de sobreposição	Espécies	Diferença entre frequências médias (Hz)	Proporção de sobreposição	Espécies
<i>Z. capensis</i> - <i>C. gujanensis</i>	1627,7	0,29	<i>C. gujanensis</i> - <i>S. similis</i>	243,3	0,31	
<i>Z. capensis</i> - <i>S. similis</i>	1360,9	0,40	<i>C. gujanensis</i> - <i>C. obsoletum</i>	1667,1	0,02	
<i>Z. capensis</i> - <i>C. obsoletum</i>	1343,9	0,33	<i>C. gujanensis</i> - <i>T. melancholicus</i>	3090,0	0,09	
<i>C. gujanensis</i> - <i>S. similis</i>	266,8	0,35	<i>S. similis</i> - <i>C. obsoletum</i>	1423,8	0,05	
<i>C. gujanensis</i> - <i>C. obsoletum</i>	283,8	0,26	<i>S. similis</i> - <i>T. melancholicus</i>	2846,7	0,17	
<i>S. similis</i> - <i>C. obsoletum</i>	17,0	0,34	<i>C. obsoletum</i> - <i>T. melancholicus</i>	1422,9	0,12	

A Fig.7 apresenta os gráficos de dispersão entre as mesmas variáveis “Diferença entre frequências médias dos cantos” e “Percentual de sobreposição”. O teste de correlação de Pearson indicou uma correlação positiva porém não significativa para as espécies de cerrado: $r = 0.14$, $p = 0.79$; e uma correlação negativa não significativa para as espécies de borda de mata: $r = -0,46$, $p = 0.36$.

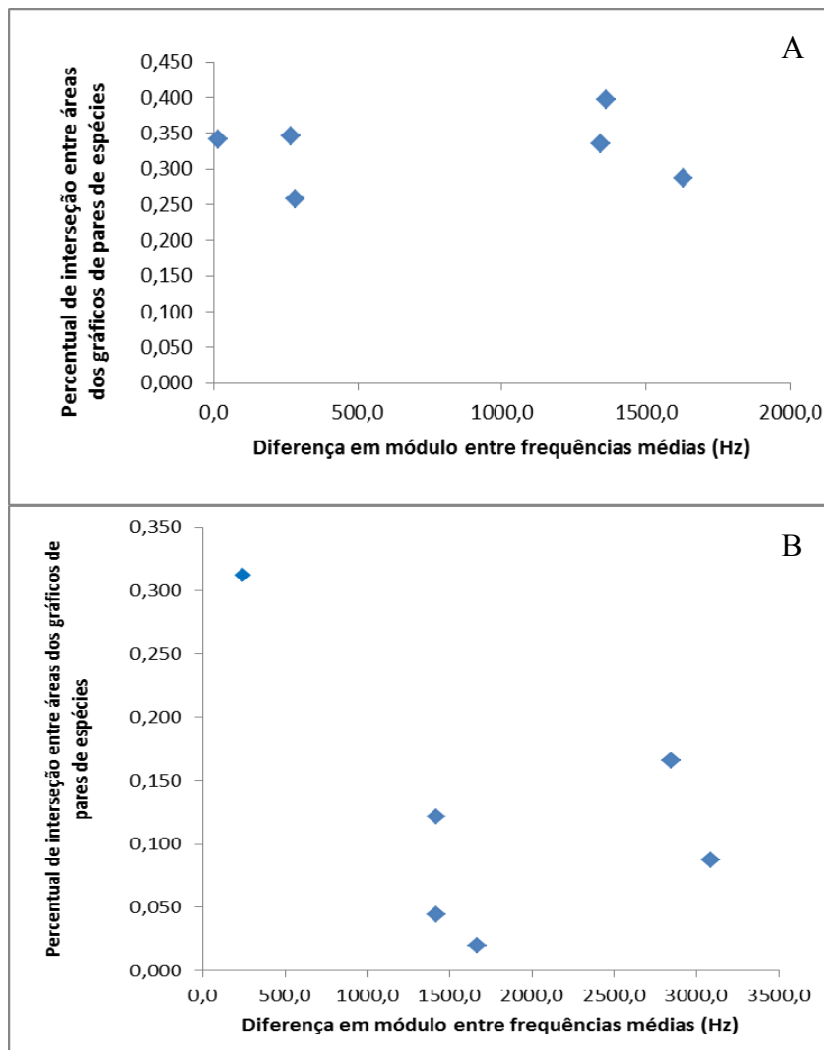


Figura 7. Gráficos de dispersão para a diferença em módulo entre frequências médias (Hz) dos cantos de cinco espécies e percentual de interseção entre áreas dos gráficos de pares de espécies em áreas de cerrado (A) e borda de mata (B), totalizando 6 pares de espécies por fisionomia.

Discussão

Os valores de correlação indicam o quanto espécies que emitem cantos em bandas de frequência mais distantes tendem a sobrepor o seu canto temporalmente; uma correlação positiva indica que há uma tendência à sobreposição temporal entre pares de espécies que emitem cantos em bandas de frequência mais distantes, e também que espécies que ocupam nichos acústicos mais próximos tendem a sobrepor menos os seus cantos, gerando um particionamento do tempo.

Os testes de correlação apresentaram resultados que refutam a hipótese, pois não foram encontradas correlações significativas para as espécies de cerrado ($r = 0.14$, $p = 0.79$); nem para as espécies de borda de mata ($r = -0,46$, $p = 0.36$). No gráfico para as espécies de mata, nota-se um valor extremo no ponto $x = 243,3$ $y = 0,31$, que, se retirado, deslocaria a correlação para $r = 0,49$, $p = 0,41$, porém este ponto não é um *outlier*, estando a 1,5 desvio padrão de distância da média. Salientamos que um número maior de amostras poderia alterar padrão encontrado.

No entanto, inspecionando-se os gráficos de distribuição de cantos por estrato de tempo, agrupados por pares de espécies com cantos agudos e espécies com cantos graves, nota-se a presença de alguns picos assíncronos, especialmente nos gráficos de espécies de borda de mata. *C. obsoletum* exibiu um pico de cantos no horário de 6:15, enquanto que *T. melancholicus* exibiu um pico em 6:25, com 12% de sobreposição de áreas. O gráfico indica que estas duas espécies concentram os seus cantos de maneira pronunciada em estratos diferentes da manhã. As espécies *C. gujanensis* e *S. similis* apresentaram um padrão similar de assincronia, com picos em 6:30 e 6:50, respectivamente, e 31% de sobreposição. Estes dados indicam um particionamento temporal de nichos acústicos.

No entanto, para as áreas de cerrado, o padrão de distribuição de cantos tende para uma sincronia de picos para espécies *C. gujanensis* e *S. similis*, com picos sucessivos em 6:10, 6:20 e 6:50 (35% de sobreposição), e para um padrão misto para as espécies *C. obsoletum* e *Z. capensis*, exibindo tanto picos próximos em 6:15 e 6:35, como um assíncrono em 6:50 (33% de sobreposição). As diferenças de sincronia de picos entre os locais podem estar relacionadas ao número total de cantos emitidos por todas as espécies, que, embora não tenha sido quantificado, estima-se ser maior nas áreas de borda de mata.

A tendência de particionamento de espaço acústico encontrada nas espécies gravadas em regiões de borda de mata vai ao encontro de outros trabalhos que encontraram um padrão de assincronia de atividade vocal entre diferentes espécies, como *Hryomanes bewickii* e *Chamaea fasciata* (Cody e Brown, 1969), *Vireo olivaceus* e *Empidonax minimus* (Ficken *et al.*, 1974), quatro espécies de floresta temperada (Popp *et al.*, 1985), e quatro espécies das famílias *Thamnophilidae* e *Formicariidae* no estado do Mato Grosso (Luther, 2008a). Além disso, Luther (2009) forneceu evidências que dentre 82 espécies tropicais analisadas, aquelas que cantavam no mesmo estrato e no mesmo intervalo de 30 min tinham cantos mais diferentes entre si do que espécies que cantavam em estratos diferentes e ao longo de toda a manhã, reduzindo a interferência acústica entre si.

O presente estudo é o primeiro a investigar competição de aves por nichos acústicos no cerrado, apresentando dados sobre como algumas espécies distribuem seus cantos no coro matutino, embora sejam necessárias mais amostras, e um maior número de espécies para se observar padrões mais nítidos.

Capítulo 3. Adaptações do canto de aves aos ruídos urbanos

Introdução

Para que a comunicação entre indivíduos ocorra, é necessário que o som se propague através de um meio entre o emissor e o receptor. As vocalizações transmitidas de modo eficaz em um determinado habitat são aquelas favorecidas pela seleção natural. Uma comunicação acústica eficaz pode determinar se um macho será bem sucedido no pareamento com fêmeas, na defesa de um território, e na detecção de predadores (Brum e Slabbekoorn, 2005). A hipótese da adaptação acústica (Morton, 1975), e suas subsequentes interpretações (Wiley e Richards, 1978; Richards e Wiley, 1980; Ryan e Brenowitz, 1985) forneceram as bases para o conceito de *drive* sensorial (Endler, 1992), que descreve como um ambiente pode influenciar a evolução de sistemas sensoriais e sinais de todas as modalidades.

Um dos fatores ambientais que exerce pressão seletiva sobre sinais acústicos é o ruído-ambiente (Patricelli e Blickley, 2006). Para obterem resposta de um receptor, os sinais devem ser detectáveis quando inseridos em um ruído-ambiente. A detectabilidade de um sinal é determinada pela razão sinal-ruído e pelo limiar de detecção auditiva do receptor (Marten e Marler, 1977; Brenowitz, 1982; Dooling, 2004). Em ambientes urbanos, o ruído antropogênico pode mascarar os cantos de aves, especialmente as notas que ocorrem em frequências mais baixas (1-2kHz). Ruídos constantes em uma determinada banda de frequência presentes durante um tempo significativo podem funcionar como pressão seletiva sobre a evolução de sinais acústicos em um determinado ambiente (Brumm e Slabbekoorn, 2005).

Cada vez mais dados empíricos têm mostrado que diversas espécies de aves adaptam seu canto a níveis altos e constantes de ruído através da modificação de diversas características de seus sinais, reduzindo assim a interferência acústica do ruído. Um exemplo disso é a espécie *Phylloscopus magnirostris* (Phylloscopidae), que ocupa locais próximos a cachoeiras e águas torrenciais no Himalaia e cujos machos produzem cantos com frequências (*pitch*) em torno de 6 kHz (acima do ruído das torrentes, que chega apenas a 4 kHz) (Dubois e Martens, 1984).

Aves que vivem em ambientes urbanos também podem modificar seus cantos, em particular as notas de frequências baixas, para minimizar o mascaramento causado pelo ruído urbano (revisões em Brumm e Slabbekoorn, 2005; Patricelli e Blickley,

2006; Ortega, 2012). Slabbekoorn e Peet (2003) produziram o primeiro estudo relatando uma adaptação no canto em resposta a ruídos urbanos. Foi observado que machos da espécie *Parus major* (Paridae) tendem a cantar com uma frequência mínima mais alta em áreas urbanas expostas a ruídos intensos de baixa frequência do que indivíduos em áreas florestais. Esse resultado foi confirmado posteriormente em uma comparação entre diferentes populações (Slabbekoorn e den Boer-Visser, 2006), que mostrou que machos de *Parus major* em dez capitais na Europa emitiam cantos mais agudos do que suas contrapartes em florestas. Este resultado também foi corroborado por estudos subsequentes que analisaram a mesma espécie (Huffeldt e Dabelsteen, 2013; Hamao *et al.*, 2011; Salaberria e Gil, 2010). Essa correlação positiva entre frequência de cantos e nível de ruído urbano também foi encontrada nas espécies *Agelaius phoeniceus* (Icteridae) (Hanna *et al.*, 2011), *Cardinalis cardinalis* (Cardinalidae) (Seeger-Fullam *et al.*, 2011), *Carpodacus mexicanus* (Fringillidae) (Fernández-Jurizic *et al.* 2005), *Colluricincla harmonica* (Pachycephalidae) (Parris & Schneider, 2008), *Dumetella carolinensis* (Mimidae) (Dowling *et al.*, 2012), *Junco hyemalis* (Emberizidae) (Slabbekoorn *et al.*, 2007), *Melospiza melodia* (Emberizidae) (Wood e Yezerinac, 2006), *Myiarchus cinerascens* (Tyrannidae) (Francis *et al.*, 2011b.), *Poecile atricapillus* (Paridae) (Proppe *et al.*, 2012), *Vireo plumbeus* e *Vireo vicinior* (Vireonidae) (Francis *et al.*, 2011a), *Troglodytes aedon* (Troglodytidae) (Redondo *et al.*, 2013), *Turdus merula* (Turdidae) (Nemeth e Brumm, 2009), *Turdus merula* (Turdidae) (Mendes *et al.*, 2011), *Zonotrichia leucophrys* (Emberizidae) (Luther e Baptista, 2010; Luther e Derryberry, 2012), e *Zosterops lateralis* (Zosteropidae) (Potvin *et al.*, 2011).

Como as aves utilizam o canto para defender territórios e atrair parceiros, o efeito de mascaramento que o ruído urbano tem sobre sinais acústicos pode ter efeitos mais profundos em sua história de vida. Halfwerk *et al.* (2011) forneceram evidência de que o ruído urbano tem um efeito negativo no sucesso reprodutivo de *Parus major*, com fêmeas botando menos ovos e gerando menos filhotes em áreas com maiores níveis de ruído. A variação do ruído de tráfego na banda de frequência que mais se sobrepõe com as frequências mais graves do canto de *Parus major* é a variável que melhor explicou a variação observada. Além disso, Schroeder *et al.* (2012) mostraram que casais de *Passer domesticus* expostos a altos níveis de ruído urbano produziram menores ninhadas e com ninhegos de menor massa corporal. Foi observado que a mãe levou menos comida para o ninho, o que pode significar que o ruído mascarou a comunicação entre ninhegos e pais. Outro estudo mostrou que casais de *Sialia sialis* também

produziam ninhadas menores quando expostos a maiores ruídos antropogênicos (Kight *et al.*, 2012).

O ruído urbano influencia também o horário em que algumas espécies começam a cantar (Arroyo-Solís *et al.*, 2013), o grau de socialidade (*Poecile carolinensis*: Owens *et al.*, 2012), e aspectos da fisiologia (*Zonotrichia leucophrys*: Crino *et al.*, 2013). No mesmo sentido, outros estudos apontam que o ruído urbano, considerado separadamente, reduz a riqueza de espécies e a abundância relativa em áreas diferentes (Bayne *et al.*, 2008; Francis *et al.* 2009; Goodwin & Shriver, 2010; Arévalo & Newhard, 2011; Patón *et al.* 2012; Blickley *et al.*, 2012). Aparentemente, aves com cantos mais graves tendem a ter sua abundância reduzida em áreas com altos níveis de ruído urbano, quando comparadas a aves com cantos mais agudos (Proppe *et al.*, 2013; Herrera-Montes e Aide, 2011; Francis *et al.*, 2011c). No entanto, diferentemente do esperado, em alguns casos o ruído facilita indiretamente o sucesso reprodutivo de aves que fazem ninho em áreas com níveis de ruído mais altos, como um resultado da ruptura de interações predador-presa (Francis *et al.*, 2009).

É possível que tais modificações das frequências de canto representem uma adaptação em longo prazo resultante do processo evolutivo, porém pode ser também o resultado de uma plasticidade comportamental durante a vida dos indivíduos (revisado em Slabbekoorn, 2013). Por exemplo, machos adultos de *Lonchura striata* exibem adaptações dinâmicas a ruídos direcionados a sílabas específicas em cantos já fixados (*crystallized*), sendo capazes de alterar a frequência da nota exata que era alvo do ruído experimental (Tumer e Brainard, 2007). Outros exemplos incluem *Carpodacus mexicanus* e *Poecile atricapillus*, em que machos de ambas as espécies modificam a frequência de seus cantos em resposta a tratamentos experimentais com níveis de ruído baixos e altos (Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2011; Goodwin e Podos, 2013). Complementando estes resultados, outro estudo mostrou que machos de *Agelaius phoeniceus* residentes em áreas próximas a rodovias tendem a emitir cantos mais agudos mesmo em horários com pouco tráfego e menor ruído (Hanna *et al.*, 2011).

O caráter adaptativo desta correlação entre a frequência do canto e o nível de ruído urbano foi contestado por Nemeth e Brumm (2010), que propõem uma hipótese alternativa: as aves podem estar cantando mais agudo simplesmente porque estão cantando com uma maior amplitude. Este epifenômeno foi observado em *Turdus merula* (Nemeth *et al.*, 2013), porém ainda é objeto de debate (Slabbekoorn *et al.*, 2012).

Apesar do número crescente de estudos focando na influência de ruído antropogênico nos cantos de aves, a maioria dos estudos bioacústicos tem sido feita em regiões temperadas. Estudos bioacústicos com aves nos Neotrópicos são especialmente relevantes, para permitir uma comparação de cantos de oscines e suboscines em relação ao nível de ruído ambiente. Os oscines (subordem Passeri) correspondem a aproximadamente 4.000 espécies e são conhecidos por possuírem um forte componente de aprendizado em sua ontogenia do canto (Catchpole & Slater, 2008). Já os suboscines (subordem Tyranni), que constituem aproximadamente 1.000 espécies predominantemente residentes na América do Sul e na América Central, possuem um canto inteiramente inato, de acordo com a literatura clássica (Kroodsma, 1984; Kroodsma, 1985; Kroodsma, 1989). É portanto esperado que aves de cada um desses dois clados difiram quanto à plasticidade do canto e sua habilidade em lidar com ruídos antropogênicos relativamente recentes na histórica evolutiva (Ríos-Chelén, 2009). Essa hipótese foi abordada de forma mais abrangente em uma análise de 14 espécies de oscines e 7 espécies de suboscines gravados no Brasil e no México (Ríos-Chelén *et al.*, 2012). Foi encontrada uma correlação positiva mais forte entre frequência mínima do canto e nível de ruído urbano em oscines do que em suboscines, corroborando esta hipótese.

O objetivo do presente estudo é testar a hipótese de adaptação acústica relacionada a ruído urbano, analisando se parâmetros de frequência de cantos de aves mudam de acordo com diferentes níveis de ruído ambiente de baixa frequência na região do Cerrado do Brasil central. Para isso, foram escolhidas cinco espécies: João-de-barro (*Furnarius rufus*, Furnariidae), corruíra (*Troglodytes musculus*, Troglodytidae), cambacica (*Coereba flaveola*, Coerebidae), pitiguari (*Cyclarhis gujanensis*, Vireonidae), e papa-capim (*Sporophila nigricollis*, Thraupidae), que ocorrem em abundância nas áreas urbanas de Brasília. *Furnarius rufus* pertence à subordem dos suboscines, e as demais espécies são oscines. O objetivo é ampliar os resultados encontrados por Ríos-Chelén *et al.* (2012), analisando um número maior de amostras para Brasília, e a inclusão de uma nova espécie (*C. flaveola*).

Hipótese

H1) Parâmetros de frequência dos cantos de *Furnarius rufus*, *Troglodytes musculus*, *Coereba flaveola*, *Cyclarhis gujanensis*, e *Sporophila nigricollis* irão variar de acordo com o nível de ruído ambiente a que estão naturalmente expostos.

P1. A frequência mínima do canto das espécies analisadas, por ter uma sobreposição maior com os ruídos urbanos de baixa frequência, exibirá uma correlação positiva com a amplitude do ruído.

P2. O canto de *F. rufus*, por ser um suboscine, exibirá uma correlação menor entre a frequência mínima e o nível de ruído urbano, do que as demais espécies.

Material e Métodos

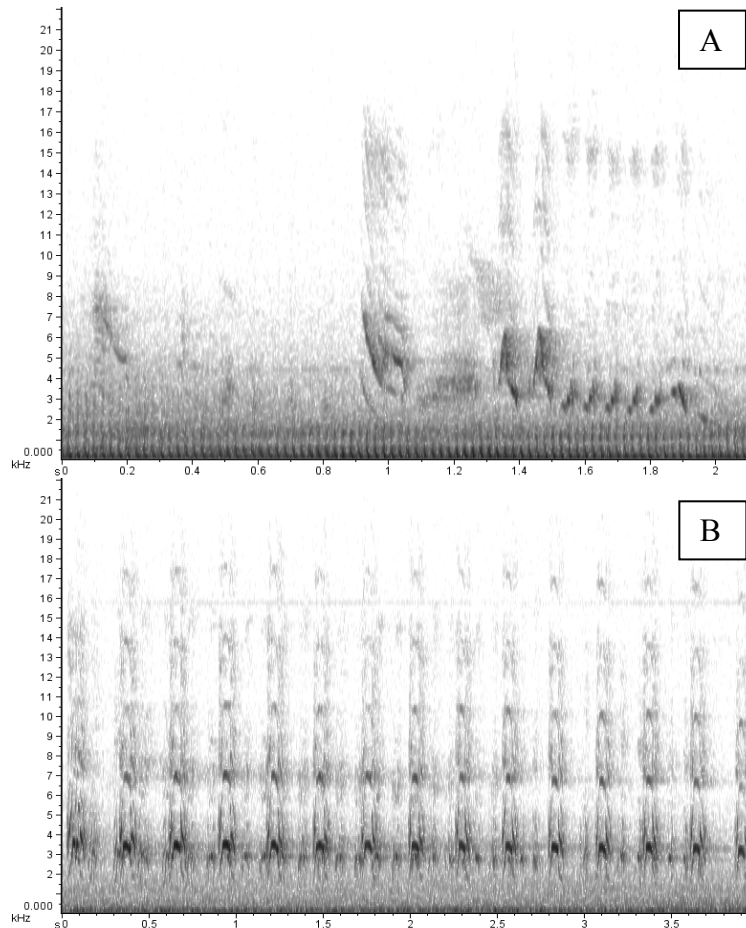
Foram gravados 104 indivíduos (ou seja, 52 casais) de joão-de-barro (*Furnarius rufus*), 35 indivíduos de corruíra (*Troglodytes musculus*), 25 indivíduos de cambacica (*Coereba flaveola*), 17 indivíduos de pitiguari (*Cyclarhis gujanensis*) e 14 indivíduos de papa-capim (*Sporophila nigricollis*) em diversas áreas de Brasília (Fig. 8). As áreas diferiam quanto ao nível de ruído urbano, incluindo áreas com alto ruído (acima de 50 dB), próximas a ruas com presença de tráfego, e áreas com baixo ruído (abaixo de 40 dB), na Fazenda Água Limpa, propriedade da Universidade de Brasília, situada a 28 km do centro de Brasília. As áreas com altos níveis de ruído urbano foram quadras residenciais no Plano Piloto de Brasília.





Figura 8. Mapa de Brasília indicando os pontos em que cada espécie foi gravada, incluindo a Fazenda Água Limpa (no topo à esquerda) e quadras residenciais (à direita). Mapa A: *C. gujanensis* (azul); *C. flaveola* (vermelho); *S. nigricollis* (verde). Mapa B: *F. rufus* (vermelho); *T. musculus* (azul).

Um exemplo do canto de cada espécie concomitante com ruído ambiente é mostrado na Fig. 9.



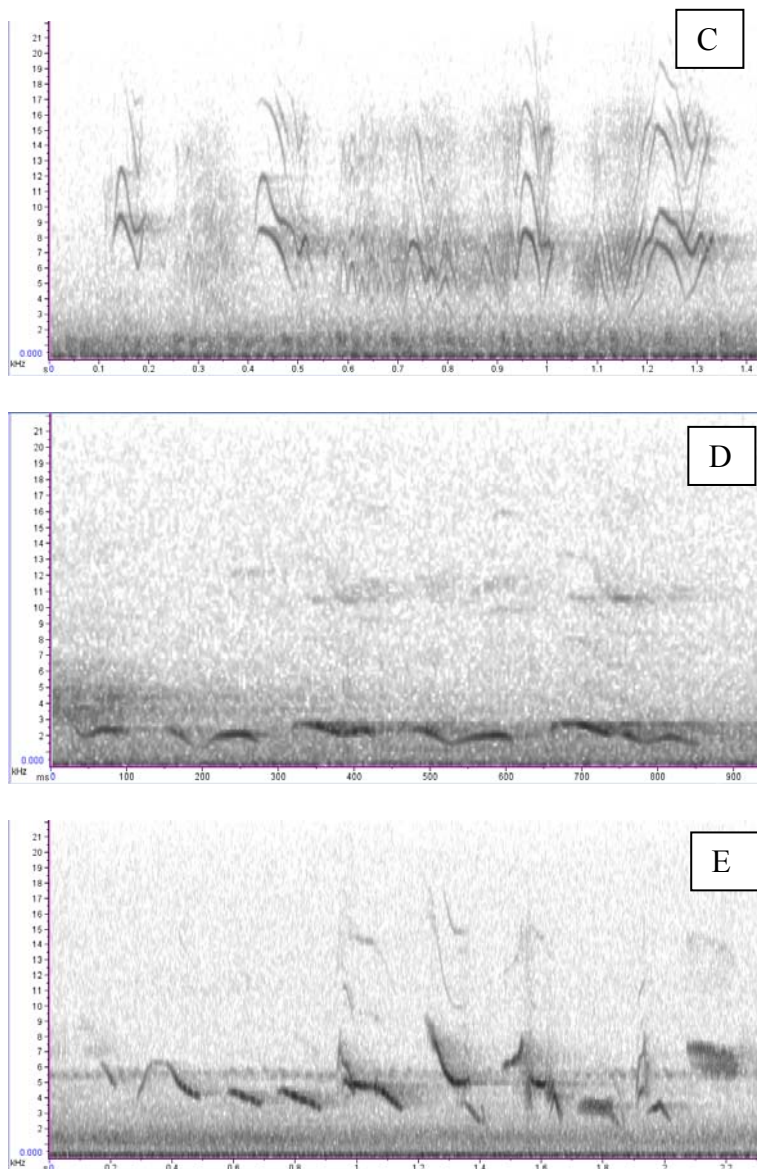


Figura 9. Espectrogramas dos cantos de (A) *Troglodytes musculus*; (B) *Furnarius rufus*; (C) *Coereba flaveola*; (D) *Cyclarhis gujanensis*; e (E) *Sporophila nigricollis*. Em todos é possível ver a presença do ruído ambiente nas frequências mais graves (< 1 kHz).

Os cantos foram registrados com um gravador digital Sony PCM-D50 (taxa de amostragem de 44.1 kHz, 16 bits, arquivos .wav) e um microfone unidirecional Rode NTG-2. As medições de amplitude do ruído ambiente foram feitas com um decibelímetro SEW 2310SL digital (de 30–130 dB; A-weight, fast response) segurado a 1.8 m acima do chão, utilizando-se a média de cinco medidas por minuto realizadas durante cada gravação. O ruído urbano era resultante principalmente de ruído do tráfego e de aviões. As gravações foram feitas entre 6 de outubro de 2010 e 25 de março de

2011, período em que as cinco espécies exibiram expressiva atividade de canto. Playbacks foram usados ocasionalmente para elicitare comportamento de canto. O playback consistia de um a três cantos, depois dos quais os indivíduos começavam a cantar na maior parte das vezes. Cada indivíduo gravado foi visualizado e, para evitar-se que um mesmo indivíduo fosse incluído duas vezes nas análises (pseudo-replicação), foram consideradas gravações separadas por no mínimo 200m.

As amostras foram geradas extraindo-se um canto completo de cada indivíduo/casal gravado (mesmo que cada indivíduo/casal tenha sido gravado mais de uma vez), e foram salvas em arquivos separados com o editor de som Cool Edit Pro 2.1. Todas as amostras foram normalizadas para 0 dB. Cantos truncados ou gravados de uma distância grande foram desconsiderados. Os parâmetros de frequência mínima e frequência máxima foram determinados no programa Raven Pro 1.4 (The Cornell Lab of Ornithology), posicionando-se a janela de seleção abrangendo todo o canto no espectrograma, desde as extremidades dos elementos de canto mais graves, até os mais agudos. A janela de seleção abrangeu a banda de frequências dominantes dos elementos dos cantos (Fig. 10). A frequência de pico, que corresponde à frequência de maior amplitude no canto, foi gerada automaticamente pelo programa, tomando por base a área do espectrograma selecionada. Os testes de correlação de Pearson foram realizados por meio do programa R v.2.13.2 (R Development Core Team), e os respectivos valores de p foram registrados, utilizando-se o nível de significância de $\alpha = 0,05$. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão.

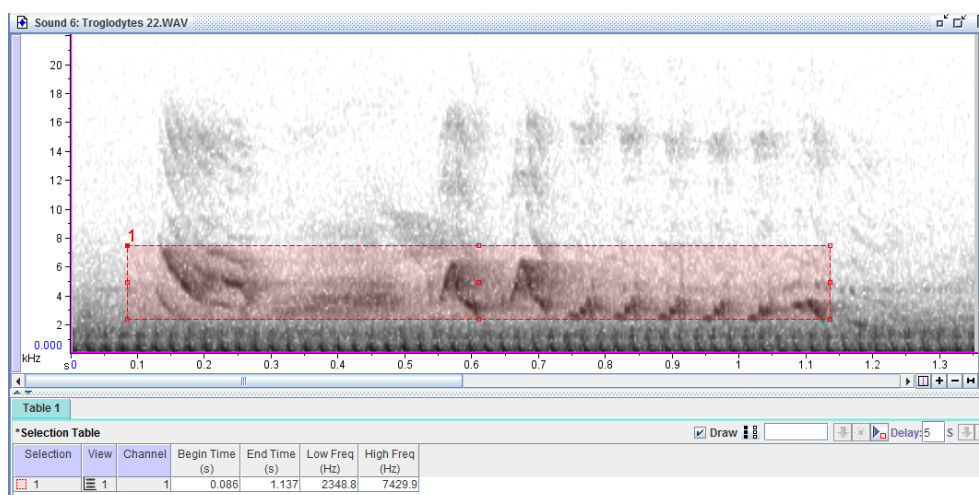


Figura 10. Espectrograma do canto de um indivíduo de *Troglodytes musculus* no programa Raven Pro 1.4, com a janela de seleção englobando o canto (evidenciada em

vermelho), a partir da qual são extraídas as medidas de frequência mínima e frequência máxima.

Resultados

As médias dos parâmetros de frequência obtidos para as espécies gravadas e valores da mínimos e máximos dos respectivos níveis de ruído são apresentados na Tabela 3. As médias dos parâmetros de frequência mínima variaram de 1287 ± 235 Hz (*C. gujanensis*) a 2979 ± 566 Hz (*C. flaveola*), enquanto que os parâmetros de frequência máxima variaram de 3678 ± 331 Hz (*C. gujanensis*) a 11397 ± 1020 Hz (*C. flaveola*). Já os parâmetros de frequência de pico variaram de 2604 ± 182 Hz (*C. gujanensis*) a 6925 ± 844 Hz (*C. flaveola*). Os menores níveis de ruído gravados ficaram em torno de 30 dB, enquanto que os maiores alcançaram 72 dB.

Tabela 3. Médias dos parâmetros de frequência mínima (Freqmin), frequência máxima (Freqmax), frequência de pico (Freqpico) e range do nível de ruído urbano registrados para as espécies *Cyclarhis gujanensis*, *Coereba flaveola*, *Furnarius rufus*, *Sporophila nigricollis* e *Troglodytes musculus*, gravados em Brasília, Brasil, entre outubro/2010 e março/2011. O tamanho amostral está indicado entre parênteses.

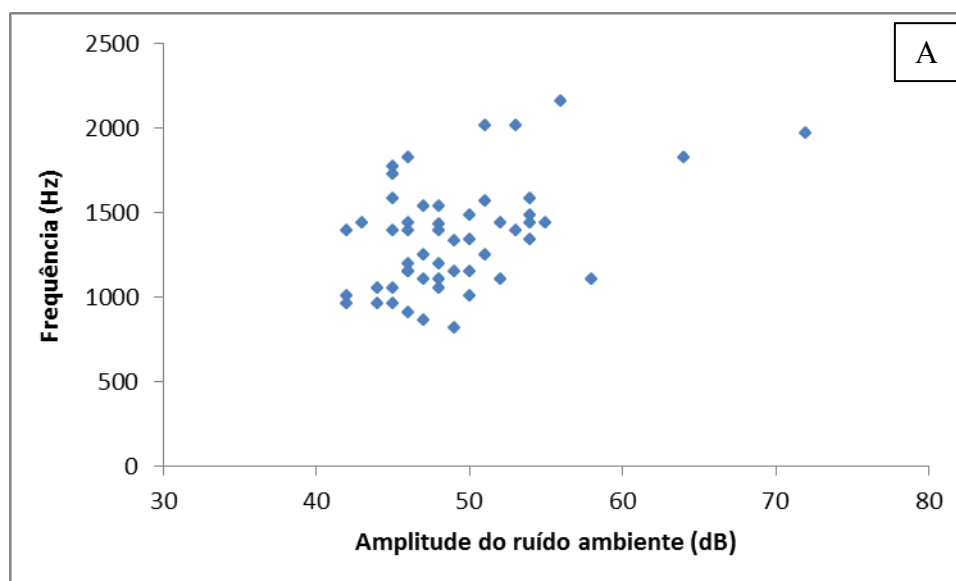
	<i>C. gujanensis</i> (n= 17)	<i>C. flaveola</i> (n= 25)	<i>F. rufus</i> (n= 52)	<i>S. Nigricollis</i> (n= 14)	<i>T. musculus</i> (n= 35)
Freqmin (Hz)	1287 ± 235	2979 ± 566	1350 ± 317	2284 ± 586	1504 ± 286
Freqmax (Hz)	3678 ± 331	11397 ± 1020	6586 ± 481	8626 ± 1011	7625 ± 1460
Freqpico (Hz)	2604 ± 182	6925 ± 844	3521 ± 471	4713 ± 499	3987 ± 653
Varição mínima e máxima do nível de ruído (dB)	35 a 51	42 a 60	42 a 72	30 a 56	30 a 55

Foi encontrada uma correlação positiva entre a frequência mínima e o nível de ruído urbano para as espécies *C. gujanensis* ($r = 0.23$), *S. nigricollis* ($r = 0.33$), *F. rufus* ($r = 0.46$), e *T. musculus* ($r = 0.67$), sendo que somente para as duas últimas espécies as correlações foram significativas ($p < 0.001$). *C. flaveola* apresentou uma correlação próxima de zero ($r = - 0.09$) (Tabela 4).

Tabela 4. Correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de frequência e nível de ruído ambiente (dB) para os indivíduos das espécies *Cyclarhis gujanensis*, *Coereba flaveola*, *Furnarius rufus*, *Sporophila nigricollis* e *Troglodytes musculus*, gravados em Brasília, Brasil, entre outubro/2010 e março/2011. Freqmin = frequência mínima (Hz), Freqmax = frequência máxima (Hz), Freqpico = frequência de pico (Hz), r = coeficiente de correlação, p = probabilidade. O tamanho amostral está indicado entre parênteses.

	<i>C. gujanensis</i> (n= 17)		<i>C. flaveola</i> (n= 25)		<i>F. rufus</i> (n= 52)		<i>S. nigricollis</i> (n= 14)		<i>T. musculus</i> (n= 35)	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Freqmin (Hz)	0.23	0.37	-0.09	0.66	0.46	<0.001	0.33	0.26	0.67	<0.001
						**				**
Freqmax (Hz)	0.05	0.85	-0.06	0.77	-0.16	0.27	-0.12	0.69	-0.26	0.13
Freqpico (Hz)	0.21	0.42	0.07	0.75	0.21	0.14	0.05	0.87	0.02	0.92

A Figura 11 exibe os gráficos de amplitude do ruído ambiente (dB) x Frequência máxima e mínima (Hz) dos cantos de *Furnarius rufus* e *Troglodytes musculus*, onde é possível notar um aumento da frequência mínima do canto em relação ao nível de ruído, para ambas as espécies.



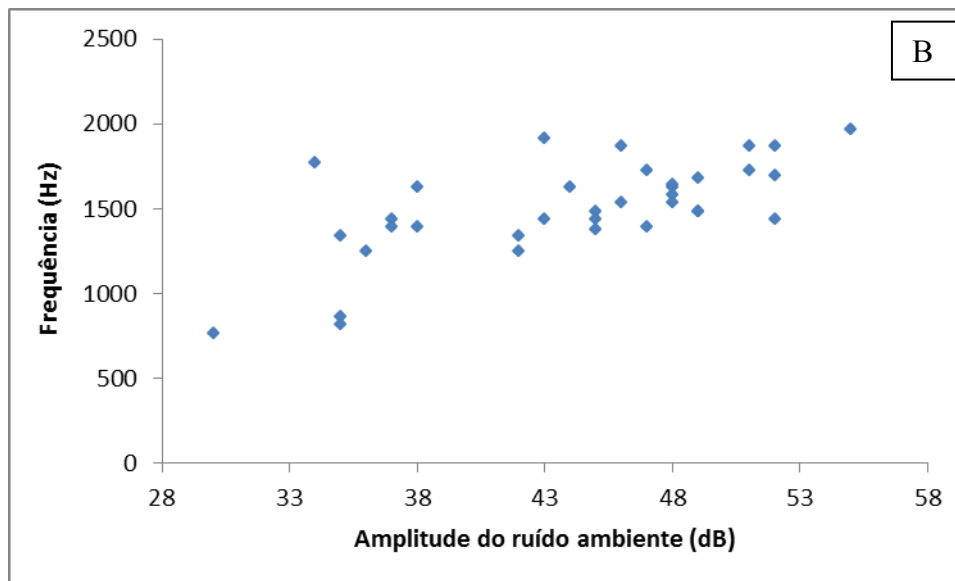


Figura 11. Gráficos de amplitude do ruído ambiente (dB) x Frequência mínima (Hz) dos cantos de (A) *Furnarius rufus* (n = 52) e (B) *Troglodytes musculus* (n = 35).

Discussão

O presente estudo encontrou correlação positiva entre a frequência mínima e o ruído ambiente para quatro das cinco espécies analisadas. *Troglodytes musculus* exibiu o mais alto coeficiente de correlação ($r = 0,67$, $p < 0.001$), indicando que a espécie modifica o seu canto diante de ambientes com alto ruído urbano. Este valor é compatível com o estudo de Ríos-Chélen *et al.* (2012), que relataram coeficientes de 0.49 em Brasília, 0.69 em Curitiba, e 0.58 em Manaus. Redondo *et al.* (2013) também relataram um efeito significativo entre estes parâmetros para a espécie *Troglodytes aedon*. A espécie *T. musculus* pertence à subordem dos oscines (Passeri), cujos cantos possuem um forte componente de aprendizado (Catchpole & Slater, 2008), e portanto esta capacidade de adaptação do canto era esperada.

Já a espécie *C. gujanensis* (oscine) exibiu um coeficiente de correlação relativamente baixo, de 0.23. Este resultado é diferente do esperado, pois seu canto possui a frequência mínima média mais baixa das espécies analisadas (1287 ± 235), e, portanto, mais sobreposta com o ruído urbano. Ríos-Chélen *et al.* (2012), relataram uma correlação alta de 0.71, e não está claro o motivo desta discrepância, sobretudo quando consideramos que seus cantos foram gravados em áreas com baixo ruído urbano (35dB) até áreas com alto ruído (51dB).

A espécie *S. nigricollis* (oscine) também apresentou um coeficiente de correlação relativamente baixo, de 0.33, embora este valor esteja compatível com o relatado por Ríos-Chélen *et al.* (2012), que foi de 0.35. Além disso, seu canto é o segundo mais agudo das espécies amostradas, com frequência mínima de 2284 ± 586 e frequência máxima de 8626 ± 1011 , resultando em uma menor sobreposição com o ruído urbano. Ressaltamos que os coeficientes de correlação encontrados para *C. gujanensis* e *S. nigricollis* não foram significativos.

Para a espécie *C. flaveola*, foi encontrada uma correlação próxima de zero ($r = -0.09$), até então não relatada na literatura. Das cinco espécies analisadas, esta é a que possui o canto mais agudo, tanto em relação a sua frequência mínima (2979 ± 566 Hz), quanto a sua frequência máxima (11397 ± 1020 Hz), quase o dobro das frequências das demais espécies. As frequências mais baixas de seu canto se sobrepõem pouco ao ruído urbano, resultando em um canto pré-adaptado ao ruído urbano, um padrão discutido por Hu & Cardoso (2009).

Um resultado inesperado foi o coeficiente de correlação encontrado para a espécie *F. rufus* ($r = 0.46$). Sendo um suboscine (Tyranni), cujo canto é considerado inato pela literatura clássica (Kroodsma, 1984; Kroodsma, 1985; Kroodsma, 1989), seria de se esperar que seu canto tivesse o coeficiente de correlação mais baixo do que das demais espécies analisadas. No entanto, a correlação foi maior do que a de 3 espécies oscines (Passeri) analisadas: *C. gujanensis*, *S. nigricollis* e *C. flaveola*, indicando que indivíduos desta espécie modificam seu canto diante de ambientes com alto ruído urbano. Esta correlação foi maior do que a encontrada por Ríos-Chélen *et al.* (2012), que relatou valores de 0.10 em Brasília e de 0.25 em Curitiba para esta espécie.

Este resultado vai ao encontro de estudos recentes que têm afirmado que cantos de suboscines podem não ser tão cristalizados quanto comumente relatado na literatura. Kroodsma (2004) mostrou que a frequência média dos cantos de uma população de araponga (*Procnias tricarunculata*) em Costa Rica teve um declínio médio de 2 kHz em um período de 30 anos, um caso de deriva cultural que talvez não seja o esperado para uma espécie cujo canto seja inteiramente inato. Além disso, Ríos-Chelén *et al.* (2005) e Ríos-Chelén *et al.* (2013) mostraram que machos de *Pyrocephalus rubinus* (suboscine) exibiram variação expressiva sazonal e interindividual na estrutura do canto, além de emitirem cantos mais longos em áreas com maior ruído. Outros resultados inesperados foram encontrados para a espécie *Myiarchus cinerascens* (suboscine), que vocaliza em frequências mais altas em áreas com maiores amplitudes de ruído ambiente (Francis *et*

al., 2011b). E Ríos-Chélen *et al.* (2012) relataram uma correlação média de 0.2 entre ruído ambiente e frequência mínima do canto de sete espécies de suboscines. Os poucos trabalhos publicados sobre a relação entre cantos de suboscines e ruído urbano mostram que há espécies com a capacidade de modificar seus parâmetros de canto e outras espécies que aparentemente não o fazem. No entanto, mais estudos são necessários para se possam gerar conclusões mais amplas.

No presente trabalho fornecemos dados relativos à influência do ruído urbano sobre os cantos de cinco espécies de aves tropicais, sendo quatro delas oscines e uma delas suboscine. Nossos dados somam-se ao corpo de evidências na literatura de que o ruído antropogênico pode exercer influência no comportamento de comunicação de aves, e que este fator deve ser levado em consideração em agendas de conservação.

Capítulo 4. Reconhecimento automático de cantos de aves do Cerrado

Introdução

As aves possuem uma rica comunicação acústica, que constitui uma das principais maneiras de sinalizar sua presença para outros indivíduos. Além disso, é uma das formas mais diretas que temos para detectá-las, principalmente em circunstâncias de difícil visualização. A maioria das aves possui cantos ou chamados que servem como assinaturas de cada espécie, anunciando rapidamente sua presença. A abundância de sons fornece uma fonte pronta de informação que pode ser usada para explorar a composição da diversidade de aves em determinadas regiões (Brandes, 2008).

Existe uma grande necessidade para monitoramento de aves em projetos de conservação. As aves são o grupo de vertebrados terrestres mais diverso e cobrem uma extensão maior de habitats do que qualquer outro grupo de vertebrados no planeta. Além disso, são particularmente abundantes e diversas nos trópicos, consistindo tanto em generalistas quanto especialistas, bem como em migrantes e residentes (Brandes, 2008).

Sabe-se que as aves são mais ouvidas do que vistas ou capturadas. Devido a isso, os métodos de censo e monitoramento que utilizam informações acústicas são mais eficazes (com identificações de espécies mais acuradas e estimativas mais rápidas de biodiversidade). Parker (1991) foi capaz de gravar em uma semana as vocalizações de 85% das 287 espécies da avifauna que sua equipe de ornitólogos inventariou em 25 dias de trabalho intensivo de campo em uma área de 2 km² na Amazônia boliviana, em um esforço que envolveu 36.604 horas de uso de redes de neblina. De maneira similar, Poulsen e Krabbe (1998) foram capazes de identificar em apenas 4 dias 85% da avifauna dos Andes do lado do Pacífico, no Equador, previamente monitorada através de um esforço de trinta pessoas em um mês. Ambos os estudos foram realizados em uma época em que ainda não havia softwares de reconhecimento automático de cantos, e toda a identificação nas gravações era dependente de trabalho manual.

A principal desvantagem da contagem de espécies em pontos e transectos é a dependência de pessoal altamente treinado para realizar a identificação das espécies. Além disso, existe um grau de subjetividade inerente aos dados de cada equipe, variando de acordo com o nível da habilidade de cada um (Brandes, 2008). Isso pode diminuir a confiabilidade das comparações dos dados entre diferentes equipes (Angehr

et al., 2002). O uso de gravadores pode reduzir marcadamente essa variabilidade, e alguns estudos já sugeriram que gravações acústicas são preferíveis a profissionais sem gravadores, já que as gravações são mais consistentes e arquiváveis (Haselmayer e Quinn, 2000; Hobson *et al.*, 2002; Rempel *et al.*, 2005).

Recentemente, tornaram-se disponíveis no mercado sistemas de gravação automática, que permitem programar um gravador para que colete amostras de sons no campo em horas e dias pré-programados, sem que seja necessário o manuseio direto de uma pessoa. Tais gravadores utilizam microfones omnidirecionais, que captam os sons vindos de todas as direções, registrando assim a “paisagem sonora”. Sistemas de gravação automática têm sido cada vez mais usados em estudos recentes (Mennill *et al.*, 2006; Tremain *et al.*, 2008). Cinco vantagens que métodos de monitoramento por gravação oferecem sobre técnicas de monitoramento tradicionais seriam (Swiston e Mennill, 2009): 1) períodos longos de amostragem; 2) a possibilidade de fazer um levantamento de várias áreas simultaneamente; 3) fornecem um registro permanente que pode ser avaliado por múltiplas fontes independentes; 4) avaliação acurada da variação temporal e interespecífica no comportamento acústico; e 5) menor distúrbio no comportamento dos indivíduos sendo estudados.

Existem algumas desvantagens também nesse tipo de técnica. Distinguir entre indivíduos coespecíficos pode ser difícil para espécies que não possuem assinatura vocal, e gravadores automáticos registram volumes massivos de dados acústicos que podem ser difíceis tanto de armazenar quanto analisar (Rempel *et al.*, 2005). Para se localizar os sons de interesse em gravações coletadas com sistemas de gravação automáticos, estas podem ser examinadas manualmente usando-se um software editor de som que forneça uma representação visual através de espectrogramas, ou usando-se softwares de análise automática de som pré-programados para identificar sons-alvo específicos, método este que oferece grandes possibilidades para o futuro.

O uso de programas de reconhecimento automático só foi possível em tempos recentes, e vem sendo utilizados em um número crescente de estudos (Niezrecki *et al.*, 2003; Brandes *et al.*, 2006; Somervuo *et al.*, 2006; Chesmore e Ohya, 2007; Agranat, 2007; Roch *et al.*, 2007; Agranat, 2009; Brown *et al.*, 2009; Buxton e Jones, 2012; Tegeler *et al.*, 2012). Tais programas são particularmente interessantes em estudos que utilizem sistemas de gravação automática, devido à dificuldade em se varrer manualmente grandes conjuntos de dados. Métodos automáticos de varredura de sons

acurados e abrangentes irão reduzir enormemente o tempo necessário para se examinar gravações de longa duração.

Existem diferentes algoritmos de reconhecimento de cantos, porém o presente trabalho tratará do método de comparação de modelos (*template matching*), que envolve selecionar uma amostra de som que servirá de modelo para que o programa encontre na gravação outras ocorrências deste som. O reconhecimento automático de cantos de aves é complexo, pois algumas aves possuem repertórios com diversos cantos, e com diferentes combinações de sílabas, podendo ser repetidas com grande frequência, ou raramente emitidas. Alguns fatores que influenciam a eficácia de softwares de reconhecimento automático são o ruído-ambiente e a existência de um bom conjunto de modelos para cada som de interesse.

Swiston e Mennill (2009) observaram que um programa de reconhecimento automático de sons (XBAT) foi capaz de varrer mais rapidamente gravações em busca de vocalizações das espécies de pica-pau *Campephilus guatemalensis*, *Dryocopus pileatus*, e *Campephilus principalis* do que a varredura manual das mesmas gravações. No entanto, o método de varredura automático gerou mais falsos-positivos e deixou de reconhecer mais sons do que o método de varredura manual (*i.e.* mais falsos negativos). Estes autores também chamam a atenção para a importância de se escolher um limiar de correlação adequado, que determina o grau de detectabilidade dos reconhecedores automáticos. Foi observado que um limiar de 0,3 retornou de 5.000 a 45.000 sons reconhecidos (a maior parte falsos-positivos), enquanto que um limiar de 0,4 retornou um número máximo de 947 sons reconhecidos. Se muitos sons forem reconhecidos, o tempo necessário para revisar a lista de resultados será maior do que o tempo necessário para se varrer e revisar a mesma gravação manualmente, eliminando assim o benefício de se usar um método automático.

Outra desvantagem dos métodos de varredura automática ainda é a sua baixa abrangência, *i.e.* a quantidade de espécies que são capazes de identificar. Embora a varredura manual seja muito mais trabalhosa, analistas treinados podem atingir perto de 100% de abrangência na varredura dos sons, e classificar poucas gravações erroneamente. Porém, Swiston e Mennill (2009) apontam que, para se compensar isso, mais tempo poderia ser gasto desenvolvendo um conjunto de sons-modelo mais capazes de discriminar entre os sons de interesse, e aqueles comumente classificados de forma errada. Para isso seria necessário um estudo piloto para se identificar quais são os sons mais comumente classificados de forma errada. Esses autores também afirmam que o

processo de varredura automática foi mais eficaz em identificar cantos mais complexos e estereotipados do que cantos mais simples, e que talvez esta possa ser uma recomendação para estudos futuros. Além disso, o método se mostra especialmente eficaz para estudos que não requerem a identificação de todas as vocalizações possíveis em uma gravação, como em estudos de presença/ausência de aves.

O gravador Songmeter SM1 (Wildlife Acoustics Inc.) fornece um dos métodos mais sofisticados para gravação automática em campo, podendo arquivar 80 horas de gravações em formatos de alta qualidade (arquivos .wav). Este gravador é fabricado para resistir a condições adversas, e pode ser mantido no campo por um mês ou mais com um mesmo conjunto de baterias. É possível programá-lo para realizar gravações em horas específicas do dia e com durações determinadas.

O software Song Scope Bioacoustics Monitoring (Wildlife Acoustics Inc.) é um reconhecedor automático de cantos, que utiliza o método de comparação de modelos. Ele utiliza um algoritmo de detecção de sinais para localizar o início e o final de vocalizações candidatas monitorando as seguintes características: duração máxima da sílaba, duração máxima do intervalo entre sílabas, duração máxima do canto e extensão de dinâmicas. Além disso, o software utiliza *Hidden Markov Models* para considerar não só as características espectrais e temporais de cada sílaba de canto, mas também como as sílabas são organizadas em cantos mais complexos. Os sons-modelo são automaticamente segmentados em sílabas individuais usando o algoritmo de detecção de sinais e o limiar mínimo do sinal para encontrar os limites das sílabas. A partir daí as sílabas são automaticamente agrupadas em classes de sílabas similares. Dessa forma, o programa modela não apenas sílabas individuais dentro de uma vocalização, mas também a sintaxe de quantas sílabas podem ser combinadas para formar vocalizações complexas. Agranat (2009) fornece mais detalhes sobre o funcionamento dos algoritmos do software.

O objetivo deste estudo é testar a eficácia do programa Song Scope (Wildlife Acoustics Inc.) em identificar os cantos de seis espécies de aves em gravações realizadas por unidades Song Meter. Tal método ainda não foi utilizado no Brasil, e este será o primeiro estudo a testá-lo com aves em áreas de cerrado e bordas de mata na região do planalto central.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa - FAL, reserva de propriedade da Universidade de Brasília (15°56'S 47°56'W) e na cidade de Brasília, durante as estações chuvosas (agosto a março) nos anos 2009, 2010, 2011 e 2013. Foram realizadas inicialmente 320 horas de gravações durante o alvorecer, entre aproximadamente 05:30 e 07:30 h, em áreas de cerrado e borda de mata, com três gravadores Songmeter SM1 (Wildlife Acoustics Inc.). Também foram realizadas gravações focais com microfone unidirecional (gravador Sony PCM-D50; microfone Rode NTG-2.) em áreas urbanas de Brasília na FAL.

Através de uma inspeção visual preliminar em todas as gravações, com o programa Cool Edit Pro 2.1, foram escolhidas seis espécies que emitiam cantos de maneira proeminente e recorrente: *Sporophila nigricollis* (Emberizidae) (papa-capim), *Rhynchotus rufescens* (Tinamidae) (perdiz), *Cyclarhis gujanensis* (Vireonidae) (pitiguari), *Volatinia jacarina* (Thraupidae) (tiziú), *Cantorchilus leucotis* (Troglodytidae) (garrincho-de-barriga-vermelha), e *Troglodytes musculus* (Troglodytidae) (corruíra).

Para cada espécie, foram extraídas de 16 a 23 amostras de cantos vindos de duas fontes possíveis: as gravações feitas pelos gravadores Songmeter SM1, priorizando-se cantos com uma alta razão sinal-ruído, e gravações focais feitas com microfone unidirecional.

Utilizando-se o programa Song Scope (Wildlife Acoustics, v. 4.1.3), foram gerados reconhecedores (“*recognizers*”) para os cantos das seis espécies selecionadas, com base nas respectivas amostras, que serviram de modelos (“*templates*”) para treinar o programa. Os parâmetros para cada reconhecedor são apresentados na Tabela 5. O percentual de treinamento cruzado é um indicador do desempenho esperado do reconhecedor. Se o seu valor for muito baixo (p. ex. < 50%) ou se o desvio padrão for muito alto (p. ex. >15%), o modelo gerado pelo reconhecedor pode não funcionar como esperado.

Tabela 5. Parâmetros utilizados para gerar os reconhedores de seis espécies (*Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens*, *Cyclarhis gujanensis*, *Volatinia jacarina*, *Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus*) no programa Song Scope (Wildlife Acoustics Inc).

Espécie	Complexidade máxima	Resolução máxima	Amplitude dinâmica	Algoritmo	Sobreposição de FFT	Filtro de ruído fundo (s)	Duração máxima de sílaba (ms)	Duração máxima entre sílabas (ms)	Duração máxima do canto (s)	Tamanho FFT	Treinamento cruzado	Número de amostras utilizadas
<i>Sporophila nigricollis</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	500	500	4	512	80.70 ± 5.74%,	17
<i>Rhynchotus rufescens</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	200	500	4	512	75.61 ± 7.09%,	21
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	500	600	4	512	73.67 ± 2.97%,	23
<i>Volatinia jacarina</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	500	430	3	256	78.44 ± 2.04%,	21
<i>Cantorchilus leucotis</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	770	190	7	128	67.80 ± 2.65%,	16
<i>Troglodytes musculus</i>	32	6	20	2.0	1/2	1	500	500	5	128	71.77 ± 8.61%,	17

Para espécies com cantos mais assoviados (*Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens* e *Cyclarhis gujanensis*), *i.e.* com cantos mais concentrados em uma determinada banda de frequência, foi determinado o tamanho de FFT de 512, que prioriza a visualização de frequências no espectrograma, em detrimento do aspecto temporal; já para espécies com cantos mais “rítmicos” e com sílabas repetidas em sequência (*Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus*), foi determinado o tamanho de FFT de 128, priorizando assim o aspecto temporal dos cantos, em detrimento do domínio das frequências.

A banda de frequência foi ajustada para cada conjunto de amostras, de modo a comportar apenas as frequências em que os cantos de cada espécie ocorrem (por exemplo, de 1500 a 4000 Hz no caso de *Cyclarhis gujanensis*). Deste modo, o reconhecedor exclui cantos que ocorram em outras bandas de frequência, aumentando as chances de reconhecer o canto alvo. O tempo para gerar cada reconhecedor foi de aproximadamente 10 s.

Observamos que, durante a escolha dos parâmetros para gerar os reconhedores, é importante visualizar as amostras no gráfico de escala de frequência logarítmica com níveis de energia normalizados (“*log frequency scale with normalized power levels*”), que mostra como o programa “enxerga” o canto. Caso o ruído de fundo esteja muito alto, o programa pode não reconhecer o sinal contido em determinada amostra, tornando necessário descartá-la. Desta maneira podemos determinar quais amostras de fato são percebidas pelo programa da maneira correta. A Figura 12 exhibe uma amostra do canto de *C. gujanensis* que só passa a ser interpretada corretamente pelo programa após o ajuste no parâmetro do tamanho máximo do canto.

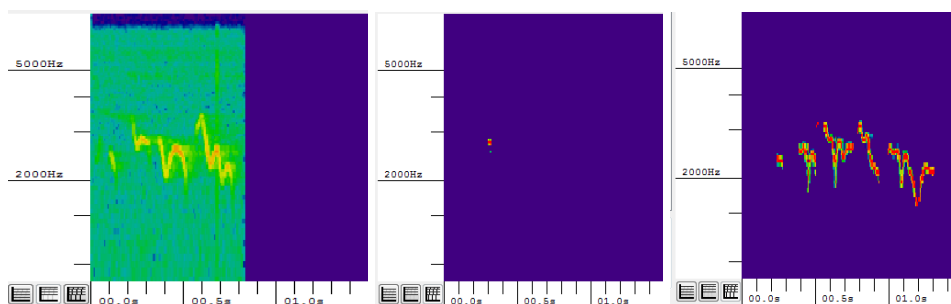
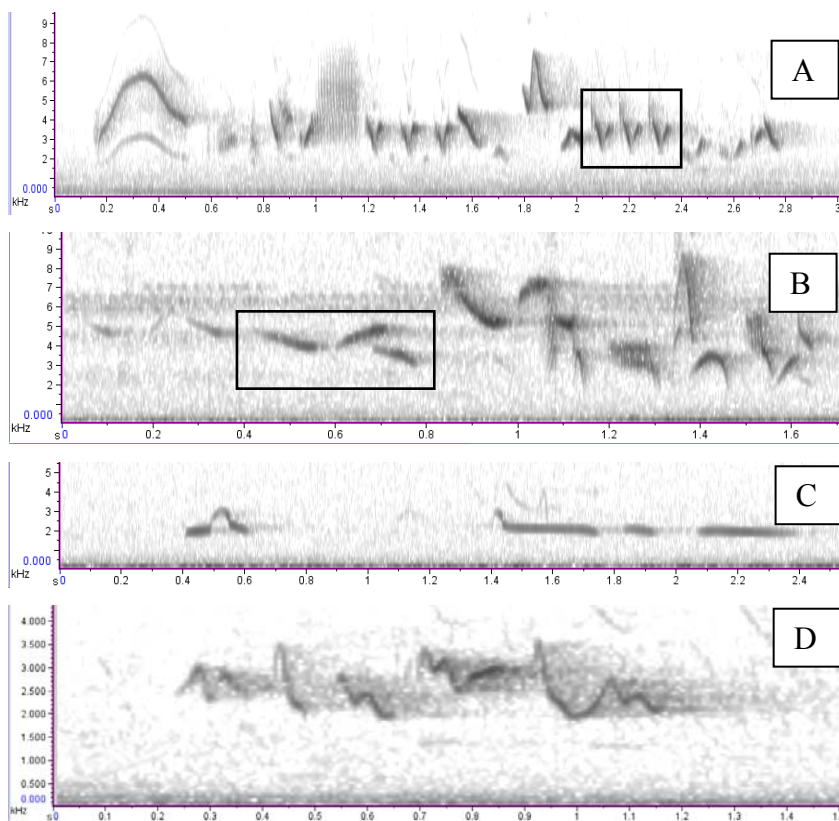


Figura 12. Exemplo de uma amostra do canto de *C. gujanensis* no programa Song Scope. À esquerda é mostrado seu espectrograma. À direita são exibidos dois gráficos

de escala de frequência logarítmica com níveis de energia normalizados, da mesma amostra, que indicam como o programa interpreta o sinal. No gráfico do meio, o programa não é capaz de perceber o sinal, porque o parâmetro de tamanho do canto está com um valor menor do que a duração real do canto. O gráfico da direita indica que o programa é capaz de perceber o sinal após o ajuste deste parâmetro.

Com base em testes preliminares, viu-se que os reconhecedores das espécies *Sporophila nigricollis*, *Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus* geravam milhares de resultados, contendo apenas trechos muito pequenos de cantos de variadas espécies, e com baixíssima percentagem de positivos verdadeiros. Para contrabalancear isto, geramos os reconhecedores destas espécies com base em um fragmento do canto de cada uma. No caso de *Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus*, que possuem cantos muito variados (porém sempre com sílabas repetidas em sequência dentro do canto), optou-se por utilizar como amostra duas ou três sílabas repetidas em sequência. A Figura 13 exhibe exemplos de espectrogramas do canto das seis espécies, da maneira como foram utilizados para treinar os reconhecedores.



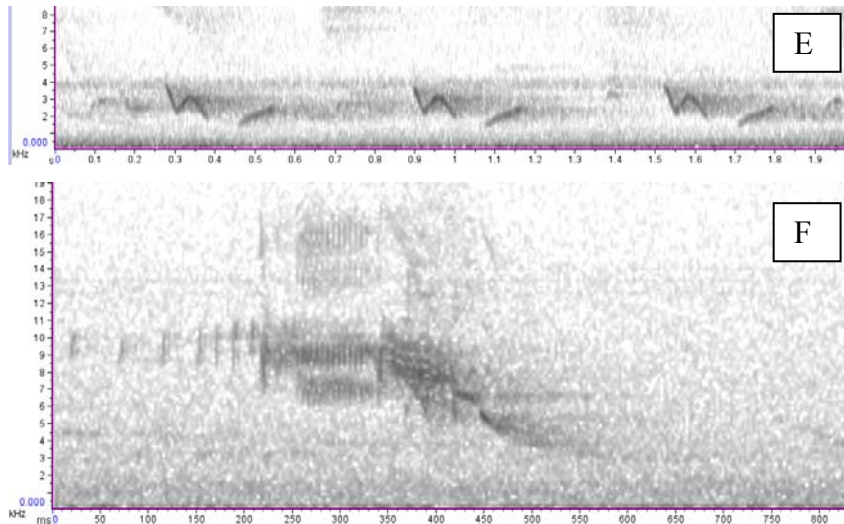


Figura 13. Exemplos de espectrogramas dos cantos das seis espécies na maneira como foram utilizadas para gerar os reconhecedores no programa Song Scope. (A) *T. musculus*, (B) *S. nigricollis*, (C) *R. rufescens*, (D) *C. gujanensis*, (E) *C. leucotis* (três sílabas), (F) *Volatinia jacarina*. Em A, B os retângulos indicam o trecho do canto utilizado nos reconhecedores.

Para cada canto presente na gravação, o software gera um índice de probabilidade (“*score*”) e um valor de qualidade (“*quality*”), que indicam a probabilidade de a identificação estar correta. O índice de probabilidade representa o encaixe estatístico da vocalização ao modelo do reconhecedor. O valor de qualidade (escala de 0.00 a 9.99) indica a probabilidade de um resultado ser um bom candidato para o reconhecedor, com base nas características do sinal. Ambas as medidas possuem limiares mínimos que podem ser ajustados, para atingir um equilíbrio entre sensibilidade e acurácia das detecções. Limiares baixos permitem mais detecções, e portanto aumentam a sensibilidade, mas também permitem mais erros tipo I (falsos positivos), resultando em acurácia reduzida. Já limiares altos são mais seletivos e reduzem a sensibilidade, mas podem aumentar a acurácia ao considerarem apenas as identificações com correlações mais fortes. Optamos por utilizar um valor intermediário, estabelecendo o limiar inferior do índice de probabilidade e do valor de qualidade em 50%.

O tempo necessário para se gerar os reconhecedores foi de cerca de uma semana, similar ao tempo relatado por Waddle *et al.* (2009). Estes autores também ressaltam que gerar reconhecedores bem sucedidos é comparável a uma arte, particularmente quando se trata de escolher os melhores parâmetros para cada espécie.

Cada reconhecedor foi aplicado a um conjunto de gravações em que se sabia que a espécie-alvo ocorria, totalizando entre 15h e 30h para cada conjunto de gravações. A aplicação de cada reconhecedor sobre as gravações levou um tempo médio de cerca de 30 minutos. Os resultados foram contabilizados e separados em positivos verdadeiros e positivos falsos, por gravação. O programa exibe o espectrograma para cada resultado, com opção de reproduzir seu som, o que facilita esta checagem. Uma mesma pessoa fez todas as conferências, para reduzir variabilidade do observador. As contagens foram organizadas em tabelas, por espécie, e foram gerados gráficos que exibem como os resultados positivos verdadeiros e positivos falsos estão distribuídos nos estratos de *score* de 50-59,9%, 60-69,9%, 70-79,9%, 80-89% e 90-100%.

Resultados

Os reconhecedores mostraram uma percentagem de positivos verdadeiros acima de 50% para as espécies *Sporophila nigricollis* (67%), *Rhynchotus rufescens* (78%), *Cyclarhis gujanensis* (59%) e *Volatinia jacarina* (93%), e uma percentagem abaixo de 50% para as espécies *Cantorchilus leucotis* (3,2%) e *Troglodytes musculus* (22%). Para *C. leucotis*, os falsos positivos consistiram especialmente de cantos de *T. musculus*. Para *T. musculus*, os falsos positivos incluíram diversas espécies que emitiam sílabas repetidas em sequência, e também cantos de *C. gujanensis*. Observou-se também que uma parcela dos resultados consistiu de cantos gravados de longe, com baixa razão sinal-ruído, e também de cantos sobrepostos com os de outras espécies.

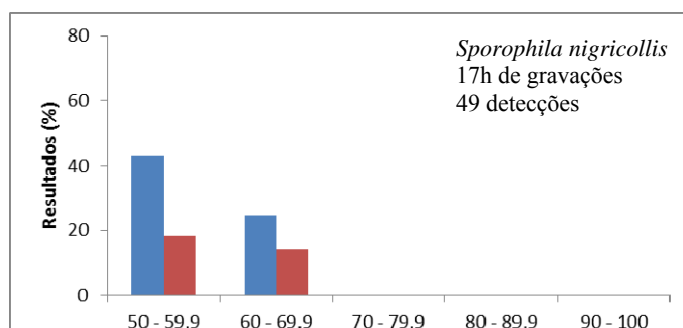
A Tabela 6 apresenta a quantidade de detecções realizadas pelo programa Song Scope para as seis espécies estudadas, em gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas da Fazenda Água Limpa, e a respectiva proporção de positivos verdadeiros e positivos falsos. Os dados brutos são apresentados no Anexo IV. O percentual de positivos verdadeiros variou entre 3,2% (*C. leucotis*) e 93% (*V. jacarina*). Nota-se também que o reconhecedor de *C. leucotis* gerou um número excessivamente alto de detecções, o que ceta relacionado à baixa taxa de acertos.

Tabela 6. Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para as espécies *Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens*, *Cyclarhis gujanensis*, *Volatinia jacarina*, *Cantorchilus leucotis*, *Troglodytes musculus* em gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de borda de mata e cerrado na Fazenda Água Limpa em

2009, 2011, 2012 e 2013, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Espécie-alvo	Total de horas de gravações analisadas	Detecções totais	Positivos verdadeiros	% de positivos verdadeiros	Positivos falsos	% de positivos falsos
<i>Sporophila nigricollis</i>	17:00:00	49	33	0,67	16	0,33
<i>Rhynchotus rufescens</i>	21:43:32	885	693	0,78	192	0,22
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	28:00:00	714	424	0,59	290	0,41
<i>Volatinia jacarina</i>	15:00:00	599	559	0,93	40	0,07
<i>Cantorchilus leucotis</i>	30:00:00	2869	91	0,03	2778	0,97
<i>Troglodytes musculus</i>	16:00:00	464	101	0,22	363	0,78

As Figuras 14 e 15 mostram o percentual de resultados positivos verdadeiros e positivos falsos totais para as gravações analisadas de cada espécie, separados por estratos de 10% de score (o somatório dos percentuais de resultados corretos e incorretos é igual a 100). Na Fig. 14 estão agrupados os gráficos referentes às espécies cujos reconhecedores obtiveram uma percentual de positivos verdadeiros acima de 50%, e na Fig. 15 os reconhecedores com percentuais abaixo de 50%. Nota-se que em três dos gráficos (*R. rufescens*, *C. gujanensis* e *V. jacarina*) o maior número de positivos verdadeiros concentrou-se entre os scores 70 e 79,9 %. Para *S. nigricollis*, os positivos verdadeiros concentraram-se entre os scores 50 e 69,9%, e para *C. leucotis* e *T. musculus* o percentual de positivos verdadeiros ficou abaixo de 20% para quaisquer estratos.



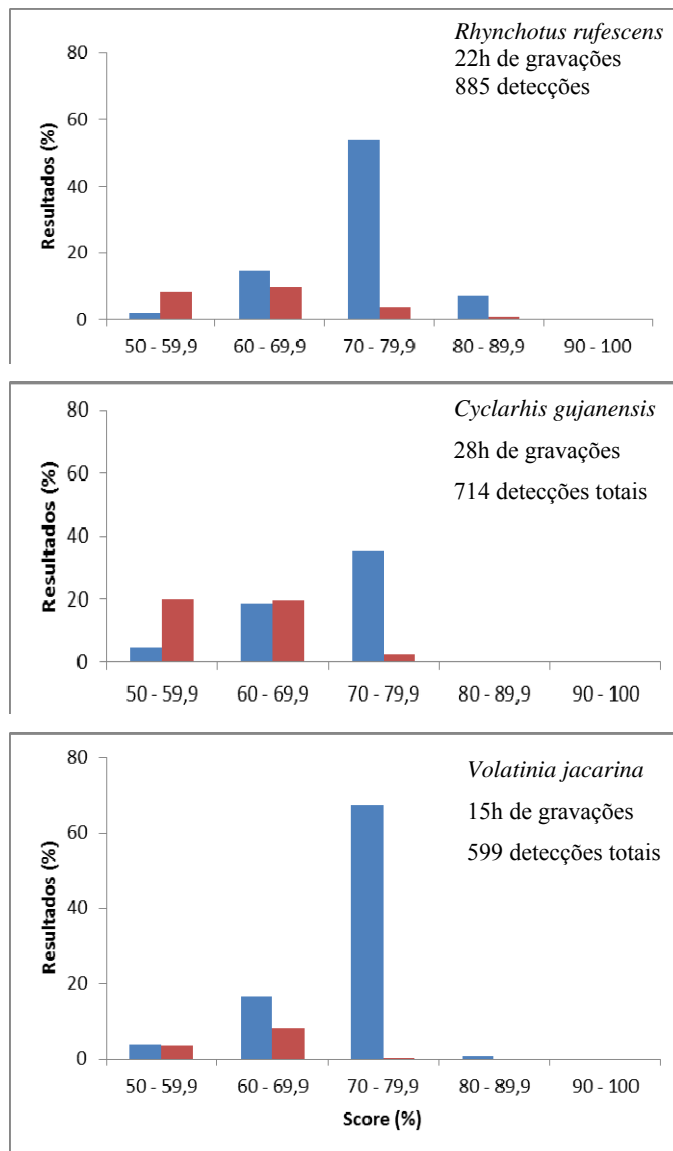


Figura 14. Percentual de resultados positivos verdadeiros (em azul) e positivos falsos (em vermelho) detectados pelo programa Song Scope para as espécies *Sporophila nigricollis*, *Rhynchotus rufescens*, *Cyclarhis gujanensis* e *Volatinia jacarina* separados por estratos de 10% de score. A espécie, número de horas de gravações analisadas e o número de detecções geradas pelo programa estão indicados no topo direito de cada gráfico.

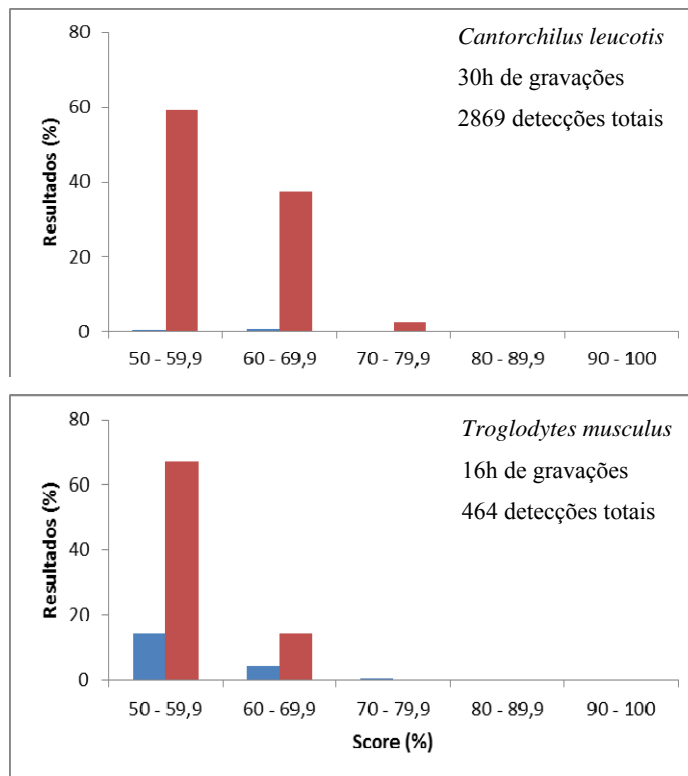


Fig. 15. Percentual de resultados positivos verdadeiros (em azul) e positivos falsos (em vermelho) detectados pelo programa Song Scope para as espécies *Cantorchilus leucotis* e *Troglodytes musculus* separados por estratos de 10% de score. A espécie, número de horas de gravações analisadas e o número de detecções geradas pelo programa estão indicados no topo direito de cada gráfico.

Discussão

Os resultados indicam que os reconhecedores gerados no programa Song Scope funcionaram para quatro espécies: *S. nigricollis*, *R. rufescens*, *C. gujanensis* e *V. jacarina*, com índices de acerto 67%, 78%, 59% e 93%, respectivamente. Estes valores são compatíveis com o alto percentual de treinamento cruzado gerado para cada reconhecedor: $80.70 \pm 5.74\%$, $75.61 \pm 7.09\%$, $73.67 \pm 2.97\%$ e $78.44 \pm 2.04\%$, respectivamente. Para estas quatro espécies, os reconhecedores retornaram números altos de positivos verdadeiros (>400), com a exceção de *S. nigricollis*, que apresentou 33 positivos verdadeiros. Isto pode ser devido à complexidade relativamente alta de seu canto, que é composto de muitas sílabas, e também devido a uma baixa quantidade de cantos presentes nas gravações com alta razão sinal-ruído, o que dificulta o processo de detecção do programa. Os cantos das demais espécies ocorriam em grande quantidade nas gravações com uma alta razão-sinal ruído. Estes resultados mostram também que é

possível gerar reconhecedores eficazes utilizando-se primariamente amostras vindas das próprias gravações realizadas pelas unidades song meter, e com um número relativamente baixo de amostras (de 16 a 23). No entanto, é provável que uma maior quantidade de amostras para *S. nigricollis* aumentaria a taxa de sucesso do reconhecedor.

Estes índices de positivos verdadeiros são similares aos relatados para as espécies de aves marinhas *Oceanodroma leucorhoa* (67%), *O. furcata* (69%) e *Synthliboramphus antiquus* (56%) (Buxton e Jones, 2012), e menores que os relatados para as espécies de anuros *Hyla cinérea* (84%), *Lithobates [=Rana] catesbeianus* (97%) e *L. clamitans* (87%), que possuem vocalizações mais simples e estereotipadas do que as das aves, permitindo uma maior eficácia dos reconhecedores.

Já os reconhecedores das espécies *C. leucotis* e *T. musculus* tiveram uma baixa eficácia, com taxas de sucesso de 3,2% e 22%, respectivamente. Além dos cantos destas espécies serem complexos, *i.e.* com muitas sílabas diferentes, ambas emitem uma grande variabilidade de cantos, o que provavelmente exige uma quantidade maior de amostras para treinar os reconhecedores, constando pelo menos um tipo de cada canto que emitem. No mesmo sentido, é interessante observar que os valores de treinamento cruzado de seus reconhecedores foram os mais baixos das seis espécies estudadas: $67.80 \pm 2.65\%$ e $71.77 \pm 8.61\%$, respectivamente. Também é importante ressaltar que, das seis espécies, *C. leucotis* é a que emite cantos com menos frequência, e seus cantos em geral possuíam uma baixa razão sinal-ruído nas gravações, o que provavelmente contribuiu para que seu reconhecedor tivesse a menor taxa de acerto das espécies analisadas (3,2%). No entanto, ressaltamos que, mesmo apresentando um baixo índice de sucesso para *T. musculus* (22%), seu reconhecedor já contribuiria para uma redução no número de horas de varredura manual das gravações.

Uma falha que observamos no programa é a impossibilidade de se estabelecer um tamanho mínimo de sílaba e do canto. Em algumas espécies, isto levou a uma grande quantidade de resultados de duração mais curta do que o canto alvo, diminuindo a eficácia dos reconhecedores.

Os gráficos da distribuição dos resultados de cada reconhecedor mostram que, nas espécies *R. rufescens*, *C. gujanensis* e *V. jacarina*, a maior quantidade de positivos verdadeiros encontra-se no estrato de 70 a 79,9% de *score*, com uma redução marcada de positivos verdadeiros para *scores* abaixo de 70%, e aumento de positivos falsos. Nenhum reconhecedor apresentou resultados com *score* maior que 90% e apenas *R.*

rufescens e *V. jacarina* apresentaram alguns resultados entre 80 e 89,9%, que foram os reconhecedores com maiores taxas de acerto. *Sporophila nigricollis* não apresentou resultados com *score* acima de 70%, e a maior parte dos positivos verdadeiros estavam concentrados entre 50 e 59,9%, indicando que, neste caso, um limiar abaixo de 50% iria provavelmente retornar mais positivos verdadeiros. Os gráficos de *C. leucotis* e *T. musculus* mostram que os poucos positivos verdadeiros se concentraram em estratos de *score* entre 50 e 69,9% sendo suplantados por uma grande maioria de falsos positivos, o que reforça a baixa eficácia de ambos os reconhecedores.

Considerando o *trade-off* existente entre taxas de acerto e detectabilidade, estes resultados mostram que os valores mínimos de qualidade de *score* não podem ser muito altos. O valor mínimo deve ser estabelecido preferencialmente abaixo de 70%, caso contrário, deixarão de detectar a maior parte dos cantos-alvo de uma gravação.

Vimos que unidades de gravação automática, como os gravadores Song Meter, permitem a coleta de dados de maneira passiva, objetiva e contínua, por longos períodos. O programa Song Scope é capaz de reconhecer algumas espécies com eficácia, especialmente quando seus cantos não são muito complexos e variáveis. Porém é importante ressaltar que o programa não substitui a identificação por um ser humano. Mesmo com reconhecedores altamente eficazes, é necessário um especialista para examinar os resultados e separar os positivos verdadeiros dos positivos falsos. A grande vantagem oferecida pelo programa é em reduzir o número de horas de trabalho para se analisar quantidades massivas de gravações. Mesmo no caso de reconhecedores que retornem um alto número de falsos positivos, a quantidade de trabalho será reduzida. Se o programa indicar alguns pontos em que ocorre pelo menos um canto, é possível procurar por outros cantos em trechos adjacentes da gravação. Isto torna-se particularmente interessante para espécies raras, e espécies que emitam poucos cantos. Ressaltamos a importância de se determinar em um estudo futuro qual a distância máxima a que os gravadores Song Meter podem gravar uma ave, para que o programa Song Scope possa reconhecer o canto.

Concluimos que os gravadores Song Meter e o programa Song Scope podem ser usados para se realizar amplos levantamentos de espécies de aves e monitoramento de populações, mapeando a diversidade através de regiões substanciais do Cerrado e outros biomas. Podem ser gerados reconhecedores para quantas espécies necessárias, cada um com suas particularidades, desde que realizado um estudo piloto analisando a taxa de sucesso de cada reconhecedor. Os reconhecedores podem ser gerados a partir de

amostras extraídas das próprias gravações das unidades Song Meter, que apresentem uma alta razão-sinal ruído. Espécies com cantos complexos e variados merecem atenção especial, provavelmente necessitando de um número maior de amostras. Tais reconhecedores automáticos de cantos possuem um alto potencial para estudos ecológicos e de conservação, e sua aplicação irá diminuir substancialmente a quantidade de horas de trabalho humano, podendo também ser utilizados em complemento com outras técnicas de levantamento, como pontos de escuta e capturas por redes.

Referências bibliográficas

ADAMS, A. M.; JANTZEN, M. K.; HAMILTON, R. M.; FENTON, M. B. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 3, p. 992-998, 2012.

AGRANAT, I. Automatic detection of cerulean warblers using autonomous recording units and song scope bioacoustics software. Disponível em www.fs.fed.us/t-d/programs/im/acoustic_wildlife/Cerulean%20Warbler_%20Report_Final.pdf, 2007. Acessado em 13 de junho de 2013.

AGRANAT, I. Automatically identifying animal species from their vocalizations. Trabalho apresentado no Fifth International Conference on Bio-Acoustics, Holywell Park, Loughborough University, Reino Unido. 2009.

ANGEHR, G. R.; SIEGEL, J.; AUCCA, C.; CHRISTIAN, D. G.; PEQUEÑO, T. An assessment and monitoring program for birds in the Lower Urubamba Region, Peru. *Environmental monitoring and assessment*, v. 76, p. 69-87. 2002.

ARÉVALO, J. E. & NEWHARD, K. Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest. *Revista de Biología Tropical*, v. 59, p. 969-980, 2011.

ARROYO-SOLÍS, A.; CASTILLO, J. M.; FIGUEROA, E.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. L.; SLABBEKOORN, H. Experimental evidence for an impact of anthropogenic noise on dawn chorus timing in urban birds. *Journal of Avian Biology*, v. 44, p. 288-296, 2013.

BAYNE, E. M.; HABIB, L.; BOUTIN, S. Impacts of Chronic Anthropogenic Noise from Energy-Sector Activity on Abundance of Songbirds in the Boreal Forest. *Conservation Biology*, v. 22, p. 1186-1193, 2008.

BERG, K. S.; BRUMFIELD, R. T.; APANIUS, V. Phylogenetic and ecological determinants of the neotropical dawn chorus. *Proceedings Biological Sciences*, v. 273, p. 999-1005, 2006.

BERMÚDEZ-CUAMATZIN, E.; RÍOS-CHELÉN, A. A.; GIL, D.; GARCIA, C. M. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour*, v. 146, p. 1269-1286, 2009.

BERMÚDEZ-CUAMATZIN, E.; RÍOS-CHELÉN, A. A.; GIL, D.; GARCIA, C. M. Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biology Letters*, v. 7, p. 36-38, 2011.

BLICKLEY, J. L.; BLACKWOOD, D.; PATRICELLI, G. L. Experimental Evidence for the Effects of Chronic Anthropogenic Noise on Abundance of Greater Sage-Grouse at Leks. *Conservation Biology*, v. 26, p. 461-471, 2012.

BRANDES, T. S. Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. *Bird Conservation International*. v. 18, p. S163-S173, 2008.

BRANDES, T. S.; NASKRECKI, P.; FIGUEROA, H. K. Using image processing to detect and classify narrow-band cricket and frog calls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 120, p. 2950-2957, 2006.

BRAZ, V. S. & CAVALCANTI, R. B. A representatividade de áreas protegidas do Distrito Federal na conservação da avifauna do Cerrado. *Ararajuba*, v. 9, p. 61-69. 2001.

BRENOWITZ, E. A. The active space of Red-winged Blackbird song. *Journal of Comparative Physiology* v. 147, p. 511-522, 1982.

BROWN, T. J. & HANDFORD, P. Why birds sing at dawn: the role of consistent song transmission. *Ibis*, v. 145, p. 120-129, 2003.

BROWN, M.; CHASTON, D.; COONEY, A.; MADDALI, D.; PRICE, T. Recognizing birds songs-comparative study. 2009. Disponível em: <https://wiki.dcs.shef.ac.uk/wiki/pub/Darwin2009/WebHome/jasa.pdf>, acessado em 10 de junho de 2013.

BRUMM, H. & SLABBEKOORN, H. Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior*, v. 35, p. 151-209, 2005.

BUXTON, R. T., & JONES, I. L. Measuring nocturnal seabird activity and status using acoustic recording devices: applications for island restoration. *Journal of Field Ornithology*, v. 83, p. 47-60, 2012.

CASCUDO, L. C. Dicionário do folclore brasileiro (Vol. 1). Instituto Nacional do Livro, Ministério da Educação e Cultura, 1962

CATCHPOLE, C. K. e SLATER, P. J. B. Bird song: biological themes and variations. Cambridge: University Press, 2008. 348 p.

CHESMORE, E. D. & OHYA, E. Automated identification of field-recorded songs of four British grasshoppers using bioacoustic signal recognition. *Bulletin of Entomological research*, v. 94, p. 319-330, 2007.

CODY, M. L. & BROWN, J. H. Song asynchrony in neighbouring bird species. *Nature*, v. 222, p. 778-780, 1969.

CONSERVATION INTERNATIONAL. Biodiversity Hotspots – Cerrado. Disponível em <http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/cerrado/Pages/default.aspx>, acessado em 13 de junho de 2013.

CRINO, O. L.; JOHNSON, E. E.; BLICKLEY, J. L.; PATRICELLI, G. L.; BREUNER, C. W. The effects of experimentally elevated traffic noise on nestling white-crowned sparrow stress physiology, immune function, and life-history. *The Journal of Experimental Biology*, v. 216, p. 2055-2062, 2013.

DIGBY, A.; TOWSEY, M.; BELL, B. D.; TEAL, P. D. A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 4, p. 675-683, 2013.

DOOLING, R. F. Audition: Can birds hear everything they sing? In: MARLER, P. & SLABBEKOORN, H. (Eds.) *Nature's Music: The Science of Birdsong*. Waltham: Elsevier Academic Press, 2004. p. 178-205.

DOWLING, J. L.; LUTHER, D. A.; MARRA, P. P. Comparative effects of urban development and anthropogenic noise on bird songs. *Behavioral Ecology*, v. 23, p. 201-209, 2012.

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.

ENDLER, J. A. Signals, signal conditions, and the direction of evolution. *American Naturalist*, v. 139 (suplemento), p. S125–S153, 1992.

FICKEN, R. W.; FICKEN, M. S.; HAILMAN, J. P. Temporal pattern shifts to avoid acoustic interference in singing birds. *Science*, v. 183, p. 762-763, 1974.

FERNÁNDEZ-JURICIC, E.; POSTON, R.; DE COLLIBUS, K.; MORGAN, T.; BASTAIN, B.; MARTIN C.; JONES, K. e TREMINIO, T. Microhabitat selection and singing behavior patterns of male house finches (*Carpodacus mexicanus*) in urban parks in a heavily urbanized landscape in the western U.S. *Urban Habitats*, v. 3, p. 49-69, 2005.

FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. 2009 Noise Pollution Changes Avian Communities and Species. *Current Biology*, v. 19, p. 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*, v. 7, p. 850-852, 2011a.

FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. Vocal frequency change reflects different responses to anthropogenic noise in two suboscine tyrant flycatchers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 278, p. 2025-2031, 2011b.

FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. Noise pollution filters bird communities based on vocal frequency. *PLoS One*, v. 6, p. e27052, 2011c.

GERHARDT, H. C. & KLUMP, G. M. Masking of acoustic signals by the chorus background noise in the green tree frog: A limitation on mate choice. *Animal Behaviour*, v. 36, p. 1247-1249, 1988.

GOODWIN, S. E. & SHRIVER, W. G. Traffic noise and occupancy patterns of forest birds. Trabalho apresentado no 47th Annual Meeting of the Animal Behavior Society. Williamsburg, Virginia, EUA. 2009.

GOODWIN, S. E. & PODOS, J. Shift of song frequencies in response to masking tones. *Animal Behaviour*, v. 85, p. 435-440, 2013.

GURSKY-DOYEN, S. Acoustic characterization of ultrasonic vocalizations by a nocturnal primate *Tarsius syrichta*. *Primates*, v. 54, p. 293-299, 2013.

HALFWERK, W.; HOLLEMAN L. J. M.; LESSELLS, C. M.; SLABBEKOORN, H. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, v. 48, p. 210–219, 2011.

HAMAO, S.; WATANABE, M.; MORI, Y. Urban noise and male density affect songs in the great tit *Parus major*. *Ethology Ecology & Evolution*, v. 23, p. 111-119, 2011.

HANNA, D.; BLOUIN-DEMERS, G.; WILSON, D. R.; MENNILL, D. J. Anthropogenic noise affects song structure in red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). *The Journal of Experimental Biology*, v. 214, p. 3549-3556, 2011.

HASELMAYER, J. & QUINN, J. S. A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian southeast Peru. *The Condor*, v. 102, p. 887-893, 2000.

HENWOOD, K. & FABRICK, A. A quantitative analysis of the dawn chorus: temporal selection for communicatory optimization. *American Naturalist*, v. 114, p.260-274, 1979.

HERRERA-MONTES, M. I. & AIDE, T. M. Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. *Urban Ecosystems*, v. 14, p. 415-427, 2011.

HOBSON, K. A.; REMPEL, R. S.; GREENWOOD, H.; TURNBULL, B.; VAN WILGENBURG, S. L. Acoustic surveys of birds using electronic recordings: new potential from an omnidirectional microphone system. *Wildlife Society Bulletin*, v. 30, p. 709-720, 2002.

HU, Y. & CARDOSO, G. C. Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas? *Behavioral Ecology*, v. 20, p. 1268-1273, 2009.

HUFFELDT, N. P. & DABELSTEEN, T. Impact of a noise-polluted urban environment on the song frequencies of a cosmopolitan songbird, the Great Tit (*Parus major*), in Denmark. *Ornis Fennica*, v. 90, 00-00, 2013.

KACELNIK, A. & KREBS, J. R. The dawn chorus in the great tit (*Parus major*): proximate and ultimate causes. *Behaviour*, v. 83, p.287-309, 1982.

KIGHT, C. R.; HINDERS, M. K.; SWADDLE, J. P. Acoustic space is affected by anthropogenic habitat features: implications for avian vocal communication. *Ornithological monographs*, v. 74, p. 47-62, 2012.

KIRSCHER, A. N. G.; BLUMSTEIN, D. T. COHEN, R. E.; BUERMANN, W.; SMITH, T. B. SLABBEKOORN, H. Birdsong tuned to the environment: green hylia song varies with elevation, tree cover, and noise. *Behavioral Ecology*, v. 20, p.1089-1095, 2009.

KLINK, C. A. & MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, p. 147-155, 2005.

KROODSMA, D. Songs of Alder flycatcher (*Empidonax alnorum*) and willow flycatcher (*Empidonax trailii*) are innate. *The Auk*, v. 101 p. 13-24, 1984.

KROODSMA, D. Development and use of two song forms by the Eastern phoebe. *Wilson Bulletin*, v. 97, p. 21-29, 1985.

KROODSMA, D. Male eastern phoebes (*Sayornis phoebe*; Tyrannidae, Passeriformes) fail to imitate songs. *Journal of Comparative Psychology* v. 103, p. 227-32, 1989.

KROODSMA, D. The Diversity and plasticity of birdsong. In: MARLER, P. & SLABBEKOORN, H. (Eds.) *Nature's Music: The Science of Birdsong*. Waltham: Elsevier Academic Press, 2004. p. 111-134.

KROODSMA, D. Vocal Behavior. In: PODULKA, S.; ROHRBAUGH, R. W.; BONNEY, R. (Eds.) *Handbook of Bird Biology* (Cornell Laboratory of Ornithology). New Jersey: Princeton University Press, 2004.

KROODSMA, D. *The singing life of birds: the art and science of listening to bird song*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2005. 496 p.

LUTHER, D. A. Signaller: receiver coordination and the timing of communication in Amazonian birds. *Biology Letters*, v. 4, p. 651, 2008a.

LUTHER, D. A. *The evolution of Communication in a Complex Acoustic Environment*. Tese de doutorado em Ecologia. University of North Carolina, EUA. 2008b.

LUTHER, D. A. The influence of the acoustic community on songs of birds in a neotropical rain forest. *Behavioral Ecology*, v. 20, p. 864, 2009.

LUTHER D. & Baptista, L. Urban noise and the cultural evolution of bird songs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 277, v. 469-473, 2010.

LUTHER, D. A. & DERRYBERRY, E. P. Birdsongs keep pace with city life: changes in song over time in an urban songbird affects communication. *Animal Behaviour*, v. 83, p. 1059-1066, 2012.

MACCAGNAN, D. R. B. Cigarra (Hemiptera: Cicadidae): emergência, comportamento acústico e desenvolvimento de armadilha sonora. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras de Ribeirão Preto, USP. 2008.

MACE, R. Importance of female behaviour in the dawn chorus. *Animal behavior*, v. 34, p. 621-622, 1986.

MACE, R. Why do birds sing at dawn. *Ardea*, v. 75, p. 3-132, 1987.

MANTHEVON, N.; AUBIN, T.; DABELSTEEN, T.; VIELLIAR, J. M. E. Are communication activities shaped by environmental constraints in reverberating and absorbing forest habitats? *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 76, p. 259-263, 2004.

MARINI, M. A. & GARCIA, F. I. Bird conservation in Brazil. *Conservation Biology*, v. 19, p. 665-671, 2005.

MARLER, P. & SLABBEKOORN, H. W. *Nature's music: The science of birdsong*. Waltham: Elsevier Academic Press, 2004. 504 p.

MARTEN, K. & MARLER, P. Sound transmission and its significance for animal vocalization. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 2, p. 271-290, 1977.

MENDES, S.; COLINO-RABANAL, V. J.; PERIS, S. J. Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). *Landscape and Urban Planning*, v. 99, p. 51-57, 2011.

MENNILL, D. J., BURT, J. M., FRISTRUP, K. M. e VEHRENCAMP, S. L. Accuracy of an acoustic location system for monitoring the position of duetting songbirds in tropical forest. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 119, p. 2832, 2006.

Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, 2002 a 2008: Dados revisados. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA/PNUD. Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/IBAMA. 2009.

MONTGOMERIE, R. D. Why do birds sing at dawn? *Proceedings of the XIX International Ethology Congress*, p. 242, 1985.

MORTON, E. S. Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist*, v. 109, p. 17–34, 1975.

NAGUIB, M.; JANIK, V.; CLAYTON, N.; ZUBERBUHLER, K. *Vocal Communication in Birds and Mammals, Advances in the Study of Behavior*. Waltham: Elsevier Academic Press, 2009. 350 p.

NEMETH, E. & BRUMM, H. Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? *Animal Behaviour*, v. 78, p. 637-641, 2009.

NEMETH, E.; BRUMM, H. Birds and anthropogenic noise: are urban songs adaptive?. *The American Naturalist*, v. 176, n. 4, p. 465-475, 2010.

NEMETH, E., PIERETTI, N., ZOLLINGER, S. A., GEBERZAHN, N., PARTECKE, J., MIRANDA, A. C., & BRUMM, H. Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 280, n. 1754, 2013.

NIEZRECKI, C.; PHILLIPS, R.; MEYER, M; BEUSSE, D. O. Acoustic detection of manatee vocalizations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 114, p. 1640, 2003.

ORTEGA, CATHERINE P. Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge. *Ornithological Monographs*, v. 74, p. 6-22, 2012.

OWENS, J. L.; STEC, C. L.; O'HATNICK, A. The effects of extended exposure to traffic noise on parid social and risk-taking behavior. *Behavioural Processes*, v. 91, p. 61-69, 2012.

PATÓN, D.; ROMERO, F.; CUENCA, J.; ESCUDERO, J. C. Tolerance to noise in 91 bird species from 27 urban gardens of Iberian Peninsula. *Landscape and Urban Planning*, v. 104, p. 1-8, 2012.

PARKER III, T. A. On the use of tape recorders in avifaunal surveys. *The Auk*, v. 108, p. 443-444, 1991.

PARRIS, K. M. & SCHNEIDER, A. Impacts of Traffic Noise and Traffic Volume on Birds of Roadside Habitats. *Ecology and Society*, v. 14, p. 29, 2008.

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

PLANQUÉ, R. & SLABBEKOORN, H. Spectral overlap in songs and temporal avoidance in a Peruvian bird assemblage. *Ethology*, v. 114, p. 262-271, 2008.

PODULKA, S.; ROHRBAUGH, R. W.; BONNEY, R. *Handbook of bird biology* (Cornell Laboratory of Ornithology). New Jersey: Princeton University Press, 2004.

POESEL, A.; KUNC, H. P.; FOERSTER, K.; JOHNSEN, 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, p. 531-538, 2006.

POPP, J. W.; FICKEN, R. W.; REINARTZ, J. A. Short-term temporal avoidance of interspecific acoustic interference among forest birds. *The Auk*, v. 102, p. 744-748, 1985.

POTVIN, D. A.; PARRIS, K. M.; MULDER, R. A. Geographically pervasive effects of urban noise on frequency and syllable rate of songs and calls in silvereyes (*Zosterops lateralis*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 278, p. 2464-2469, 2011.

POULSEN, B. O. & KRABBE, N. Avifaunal diversity of five high-altitude cloud forests on the Andean western slope of Ecuador: testing a rapid assessment method. *Journal of Biogeography*, v. 25, p. 83-93, 1998.

PROPPE, D. S.; STURDY, C. B.; St CLAIR, C. C. Anthropogenic noise decreases urban songbird diversity and may contribute to homogenization. *Global Change Biology*, v. 19, p. 1075-1084, 2013.

RAMSIER, M. A.; CUNNINGHAM, A. J.; MORITZ, G. L.; FINNERAN, J. J.; WILLIAMS, C. V.; ONG, P. S.; GURSKY-DOYEN, S. L.; DOMINY, N. J. Primate communication in the pure ultrasound. *Biology Letters*, v. 8, p. 508-511, 2012.

REDONDO, P.; BARRANTES, G.; SANDOVAL, L. Urban noise influences vocalization structure in the House Wren *Troglodytes aedon*. *Ibis*, v. 155, p. 62-625, 2013.

REMPEL, R. S.; HOBSON, K. A.; HOLBORN, G.; VAN WILGENBURG, S. L.; ELLIOTT, J. Bioacoustic monitoring of forest songbirds: interpreter variability and effects of configuration and digital processing methods in the laboratory. *Journal of Field Ornithology*, v. 76, p. 1-11, 2005.

RICHARDS, D. G. & WILEY, R. H. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: Implications for animal communication. *American Naturalist*, v. 115, p. 381-399, 1980.

RÍOS-CHELÉN, A. A. Bird song: the interplay between ambient noise and sexual selection. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, p.153-164, 2009.

RÍOS CHELÉN, A. A.; GARCIA, C. M.; RIEBEL, K. Variation in the song of a sub-oscine, the vermilion flycatcher. *Behaviour*, v. 142, p. 1115-1132, 2005.

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.

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

ROCH, M. A.; SOLDEVILLA, M. S.; BURTENSHAW, J. C.; HENDERSON, E. E.; HILDEBRAND, J. A. Gaussian mixture model classification of odontocetes in the Southern California Bight and the Gulf of California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 121, p. 1737, 2007.

ROSS, Z.; KHEIRBEK, I.; CLOUGHERTY, J. E.; ITO, K.; MATTE, T.; MARKOWITZ, S.; EISL, H. Noise, air pollutants and traffic: continuous measurement and correlation at a high-traffic location in New York City. *Environmental Research*, v. 111, p. 1054-1063, 2011.

RYAN, M. J. & BRENOWITZ, E. A. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *American Naturalist*, v. 126, p.87-100, 1985.

SALABERRIA, C. & GIL, D. Increase in song frequency in response to urban noise in the great tit *Parus major* as shown by data from the Madrid (Spain) city noise map. *Ardeola*, v. 57, p. 3-11, 2010.

SCHROEDER, J.; NAKAGAWA, S.; CLEASBY, I. R.; BURKE, T. Passerine birds breeding under chronic noise experience reduced fitness. *PLoS One*, v. 7, p. e39200, 2012.

SEGER-FULLAM, K. D.; RODEWALD, A. D.; SOHA, J. A. Urban noise predicts song frequency in northern cardinals and American robins. *Bioacoustics*, v. 20, p. 267-276, 2011.

SICK, H. *Ornitologia brasileira* (edição revista e ampliada por José Fernando Pacheco). Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 1997.

SLABBEKOORN, H. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behaviour*, v. 85, p. 1089-1099, 2013.

SLABBEKOORN, H. & PEET, M. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, v. 424, p. 267, 2003.

SLABBEKOORN, H. & den BOER-VISSER, A. Cities change the songs of birds. *Current Biology*, v. 16, p. 2326-2331, 2006.

SLABBEKOORN, H.; YEH, P.; HUNT, K. Sound transmission and song divergence: a comparison of urban and forest acoustics. *The Condor*, v. 109, p. 67-78, 2007.

SLABBEKOORN, H.; YANG, X.; HALFWERK, W. Birds and Anthropogenic Noise: Singing Higher May Matter. *The American Naturalist*, v. 180, n. 1, p. 142-145, 2012.

SOMERVUO, P.; HARMA, A.; FAGERLUND, S. Parametric representations of bird sounds for automatic species recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, v. 14, p. 2252-2263, 2006.

STAHLSCHMIDT, P. & BRUHL, C. A. Bats as bioindicators – the need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 3, p. 503-508, 2012.

SUEUR, J.; GASC, A.; GRANDCOLAS, P.; PAVOINE, S. Global estimation of animal diversity using automatic acoustic sensors. In: GALLIARD, J. F.; GUARINI, J.; GAILL, F. (Eds.) *Sensors for ecology Towards integrated knowledge of ecosystems*. Paris: CNRS Press, 2012. p. 99-117.

SWISTON, K. A. & MENNILL, D. J. Comparison of manual and automated methods for identifying target sounds in audio recordings of Pileated, Pale-billed, and putative Ivory-billed woodpeckers. *Journal of Field Ornithology*, v. 80, p. 42-50, 2009.

THOMAS, R. J.; SZÉSKELY, T.; CUTHILL, I. C.; HARPER, D. G. C.; NEWSON, S. E.; FRAYLING, T. D.; WALLIS, P. D. Eye size in birds and the timing of song at dawn. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, v. 269, p. 831, 2002.

TREMAIN, S. B.; SWISTON, K. A.; MENNILL, D. J. Seasonal variation in acoustic signals of Pileated Woodpeckers. *Wilson Journal of Ornithology*, v. 120, p. 499-504, 2008.

TUMER, E. C. & BRAINARD, M. S. Performance variability enables adaptive plasticity of ‘crystallized’ adult birdsong. *Nature*, v. 450, p. 1240-1244, 2007.

VIELLIARD, J. M. A zoofonia de Hercule Florence. Cuiabá: Editora Universitária.– UFMT, 1993.

VIELLIARD, J. M.; SILVA, M. L. A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em comportamento animal. Estudos do Comportamento II. Belém: Editora da UFPA, 2010.

WADDLE, J. H.; THIGPEN, T. F.; GLORIOSO, B. M. Efficacy of automatic vocalization recognition software for anuran monitoring. *Herpetological Conservation and Biology*, v. 4, p. 384-388, 2009.

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

WILLIAMS, J. C.; DRUMMOND, B. A.; BUXTON, R. T. Initial Effects of the August 2008 Volcanic Eruption on Breeding Birds and Marine Mammals at Kasatochi Island, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, v. 42, p. 306-314, 2010.

WOLLERMAN, L. & WILEY, H. R. Possibilities for error during communication by neotropical frogs in a complex acoustic environment. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 52, p. 465-473, 2002.

WOOD, W. E. & YEZERINAC, S. M. Song sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. *The Auk*, v. 123, p. 650-659, 2006.

ZAHAVI, A. Mate selection—a selection for a handicap. *Journal of theoretical Biology*, v. 53, p. 205-214, 1975.

ZELICK, R. & NARINS, P. M. Characterization of the advertisement call oscillator in the frog *Elatherodactylus coqui*. *Journal of Comparative Physiology A*, v. 156, p. 223-229, 1985.

Anexo I

Listagem das 111 espécies vocalmente ativas identificadas em 11 gravações de 1h (6:00 a 7:00 da manhã) realizadas nos dias 7, 8, 9 e 15 de agosto de 2009 e 9 e 10 de fevereiro de 2011 em áreas de borda de mata na FAL, e nos dias 5, 9, 10 e 12 de setembro de 2009 em áreas de cerrado da FAL, dispostas por ordem e família. Em negrito estão destacadas as 34 espécies que foram registradas nas duas fisionomias.

Ordem	Família	Espécie
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Rupornis magnirostris</i>
Apodiformes	Apodidae	<i>Tachornis squamata</i>
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Hydropsalis albicollis</i>
Cariamiformes	Cariamidae	<i>Cariama cristata</i>
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>
Columbiformes	Columbidae	<i>Patagioenas picazuro</i>
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbina squammata</i>
Columbiformes	Columbidae	<i>Leptotila sp.</i>
Coraciiformes	Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>
Coraciiformes	Momotidae	<i>Baryphthengus ruficapillus</i>
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Dromococcyx phasianellus</i>
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Guira guira</i>
Falconiformes	Falconidae	<i>Caracara plancus</i>
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco femoralis</i>
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Nystalus chacuru</i>
Gruiformes	Rallidae	<i>Aramides cajanea</i>
Gruiformes	Rallidae	<i>Micropygia schomburgkii</i>
Gruiformes	Rallidae	<i>Porzana albicollis</i>
Passeriformes	Coerebidae	<i>Coereba flaveola</i>
Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax cristatellus</i>
Passeriformes	Dendrocolaptidae	<i>Lepidocolaptes angustirostris</i>
Passeriformes	Dendrocolaptidae	<i>Sittasomus griseicapillus</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Ammodramus humeralis</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Emberizoides herbicola</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Sicalis citrina</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Sporophila nigricollis</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Sporophila plumbea</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia chlorotica</i>
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia violacea</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Anumbius annumbi</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Furnarius rufus</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Hylocryptus rectirostris</i>

Passeriformes	Furnariidae	<i>Lochmias nematura</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Phacellodomus ruber</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Phacellodomus rufifrons</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Synallaxis albescens</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Synallaxis frontalis</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Syndactyla dimidiata</i>
Passeriformes	Hirundinidae	<i>Progne chalybea</i>
Passeriformes	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>
Passeriformes	Icteridae	<i>Molothrus bonariensis</i>
Passeriformes	Icteridae	<i>Gnorimopsar chopi</i>
Passeriformes	Melanopareiidae	<i>Melanopareia torquata</i>
Passeriformes	Mimidae	<i>Mimus saturninus</i>
Passeriformes	Parulidae	<i>Basileuterus flaveolus</i>
Passeriformes	Parulidae	<i>Basileuterus hypoleucus</i>
Passeriformes	Parulidae	<i>Basileuterus leucophrys</i>
Passeriformes	Parulidae	<i>Geothlypis aequinoctialis</i>
Passeriformes	Parulidae	<i>Parula pitiayumi</i>
Passeriformes	Pipridae	<i>Antilophia galeata</i>
Passeriformes	Poliopitidae	<i>Poliopitila dumicola</i>
Passeriformes	Rhynchocyclidae	<i>Leptopogon amaurocephalus</i>
Passeriformes	Rhynchocyclidae	<i>Todirostrum cinereum</i>
Passeriformes	Rhynchocyclidae	<i>Tolmomyias flaviventris</i>
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Herpsilochmus longirostris</i>
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus caerulescens</i>
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus torquatus</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Cypsnagra hirundinacea</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Hemithraupis guira</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Neothraupis fasciata</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Ramphocelus carbo</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator similis</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara cayana</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara sayaca</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thlypopsis sordida</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Volatinia jacarina</i>
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Cantorchilus leucotis</i>
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Cistothorus platensis</i>
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Troglodytes musculus</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus amaurochalinus</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus rufiventris</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus subalaris</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Camptostoma obsoletum</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Colonia colonus</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Culicivora caudacuta</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia chiriquensis</i>

Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia cristata</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Megarynchus pitangua</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus swainsoni</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus tyrannulus</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiophobus fasciatus</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannus savana</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Xolmis cinereus</i>
Passeriformes	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>
Passeriformes	Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Syrigma sibilatrix</i>
Pelecaniformes	Threskiornithidae	<i>Theristicus caudatus</i>
Pelecaniformes	Threskiornithidae	<i>Mesembrinibis cayennensis</i>
Piciformes	Picidae	<i>Campephilus melanoleucos</i>
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes campestris</i>
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes candidus</i>
Piciformes	Ramphastidae	<i>Ramphastos toco</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Alipiopsitta xanthops</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Amazona aestiva</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Amazona amazonica</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Aratinga aurea</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Brotogeris chiriri</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Orthopsittaca manilata</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Pionus maximiliani</i>
Strigiformes	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Crypturellus parvirostris</i>
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Crypturellus undulatus</i>
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Nothura maculosa</i>
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Rhynchotus rufescens</i>

<i>Furnarius rufus</i>	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
<i>Orthopsittaca manilata</i>	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Falco femoralis</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Athene cunicularia</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Syrigma sibilatrix</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Leptotila sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Neothraupis fasciata</i>	0	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Tangara cayana</i>	0	1	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0
<i>Herpsilochmus longirostris</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Vanellus chilensis</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Caracara plancus</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Basileuterus leucophrys</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pionus maximiliani</i>	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
<i>Coereba flaveola</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Basileuterus hypoleucus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Troglodytes musculus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elaenia cristata</i>	0	0	2	2	1	1	3	3	2	1	2	1
<i>Colaptes campestris</i>	0	0	2	1	1	2	0	2	0	1	1	0
<i>Mimus saturninus</i>	0	0	1	2	2	2	3	1	0	0	0	0
<i>Antilophia galeata</i>	0	0	1	1	2	1	1	1	1	0	1	2
<i>Campephilus melanoleucos</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nystalus chacuru</i>	0	0	0	1	1	0	2	1	2	1	0	1
<i>Alipiopsitta xanthops</i>	0	0	0	1	1	0	2	0	1	1	1	0
<i>Melanerpes candidus</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
<i>Myiophobus fasciatus</i>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
<i>Culicivora caudacuta</i>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Megasceryle torquata</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Progne chalybea</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euphonia chlorotica</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
<i>Phacellodomus rufifrons</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nothura maculosa</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Cypsnagra hirundinacea</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
<i>Tyrannus savana</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
<i>Parula pitiayumi</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Sporophila plumbea</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
<i>Ramphastos toco</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Theristicus caudatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0
<i>Xolmis cinereus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Euphonia violacea</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Aratinga aurea</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
<i>Myiarchus swainsoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
<i>Tachornis squammata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Micropygia schomburgkii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Turdus subalaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

<i>Pitangus sulphuratus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Sporophila nigricollis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Melanopareia torquata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Soma:	66	70	72	72	62	62	60	65	70	54	57	55
Soma (presença-ausência):	41	42	42	48	35	39	35	41	41	32	39	35

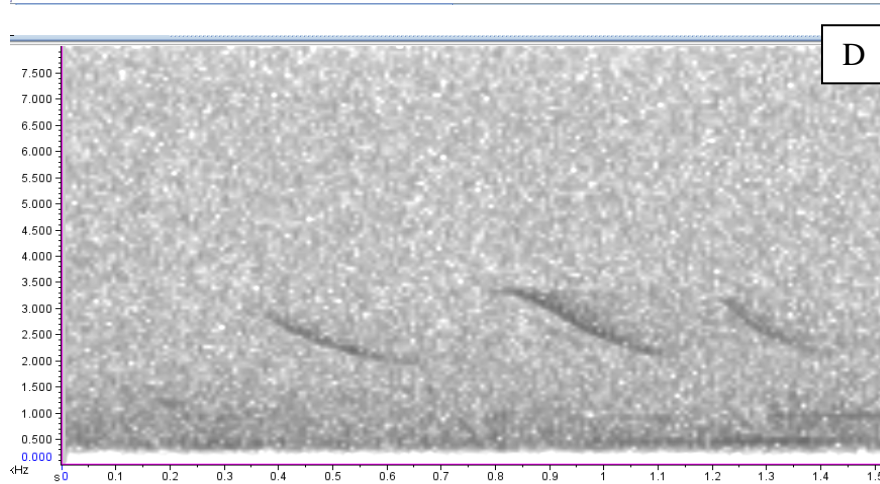
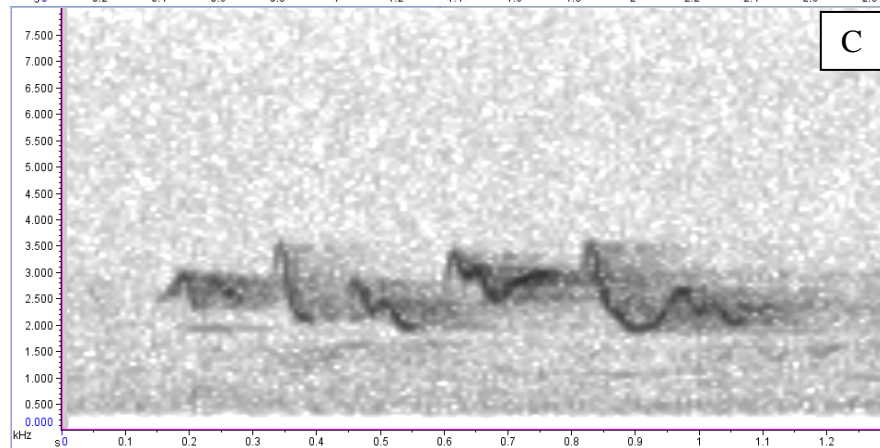
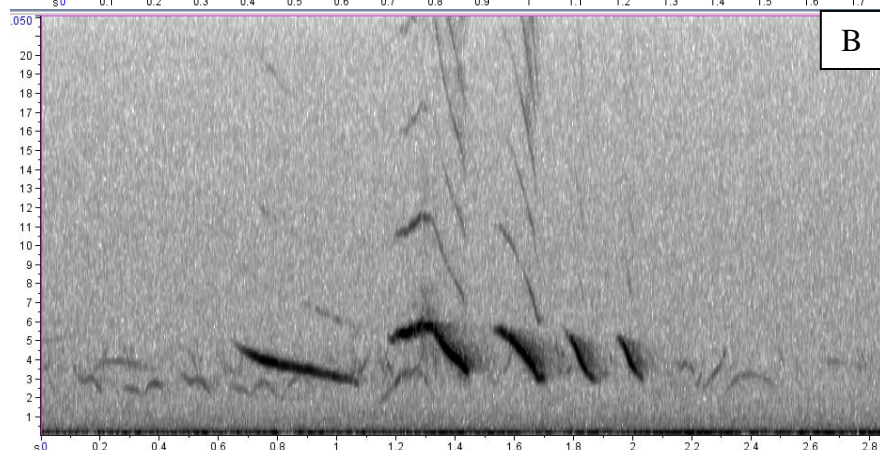
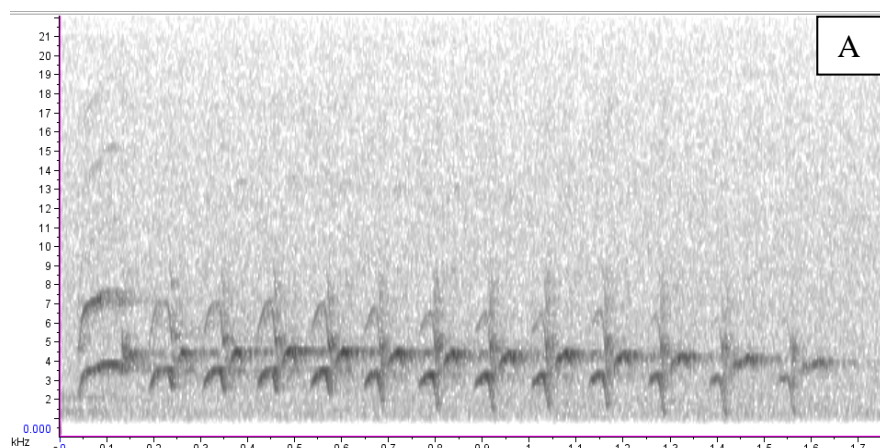
Listagem de 64 espécies de aves vocalmente ativas identificadas em 6 horas de gravações realizadas em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa (UnB) nos dias 7, 8, 9 e 15 de agosto de 2009 e 9 e 10 de fevereiro de 2011 entre 6 e 7h da manhã. As espécies são dispostas por ordem em que começam a cantar, e ao final são apresentados os somatórios do número de vezes que cada espécie foi identificada em cada estrato de tempo, e o somatório do número de espécies identificadas em cada estrato (presença-ausência).

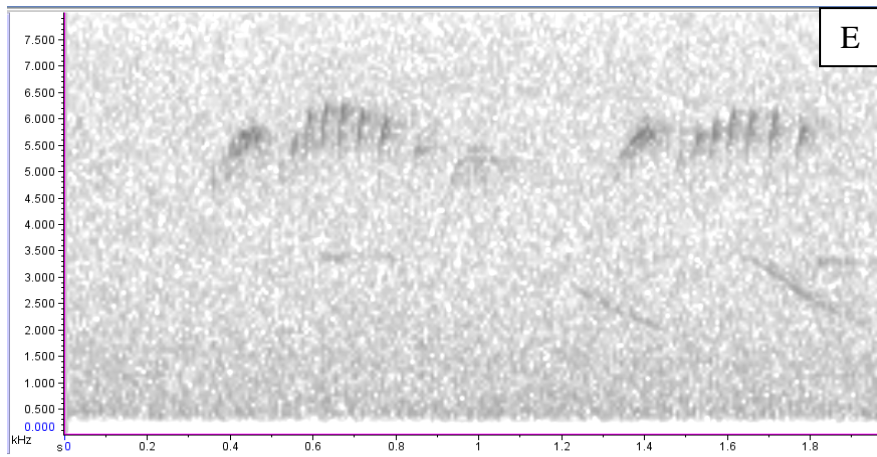
Espécie	Horário											
	6:00	6:05	6:10	6:15	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55
<i>Furnarius rufus</i>	3	1	2	0	2	2	1	0	1	0	0	2
<i>Turdus amaurochalinus</i>	2	4	3	3	3	1	1	4	0	0	0	1
<i>Vanellus chilensis</i>	2	2	0	0	0	1	0	1	1	1	2	2
<i>Hydropsalis albicollis</i>	2	1	0	0	0	1	2	2	2	1	0	0
<i>Crypturellus undulatus</i>	1	2	3	3	4	3	2	0	0	0	0	0
<i>Turdus leucomelas</i>	1	2	3	3	2	2	1	0	2	1	0	0
<i>Dromococcyx phasianellus</i>	1	1	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Mesembrinibis cayennensis</i>	1	1	1	2	1	1	0	1	0	2	2	1
<i>Volatinia jacarina</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>Phacellodomus ruber</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Baryphthengus ruficapillus</i>	0	2	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Myiophobus fasciatus</i>	0	1	1	2	1	0	1	0	0	0	1	1
<i>Elaenia flavogaster</i>	0	1	1	2	0	0	0	1	0	1	2	1
<i>Thlypopsis sordida</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
<i>Crypturellus parvirostris</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Camptostoma obsoletum</i>	0	0	3	4	0	0	0	0	1	1	1	3
<i>Troglodytes musculus</i>	0	0	3	3	1	2	4	4	3	3	2	2
<i>Leptotila sp.</i>	0	0	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1
<i>Thamnophilus caerulescens</i>	0	0	1	3	3	1	0	1	1	0	0	0
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Basileuterus hypoleucus</i>	0	0	1	2	3	2	2	2	2	3	2	4
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	0	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0
<i>Amazona aestiva</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	2	1	1	2
<i>Coereba flaveola</i>	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
<i>Porzana albicollis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synallaxis frontalis</i>	0	0	0	4	3	3	3	3	2	3	2	0
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	0	0	1	4	4	4	4	4	4	2	1
<i>Saltator similis</i>	0	0	0	1	3	4	3	2	3	3	3	3
<i>Herpsilochmus atricapillus</i>	0	0	0	1	2	2	2	1	2	1	1	0

<i>Brotogeris chiriri</i>	0	0	0	1	1	2	1	4	3	1	3	1
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	0	0	0	1	0	3	2	2	1	2	3	2
<i>Myiarchus tyrannulus?</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cantorchilus leucotis</i>	0	0	0	0	3	3	4	4	3	4	4	3
<i>Cariama cristata</i>	0	0	0	0	2	1	3	2	0	1	1	0
<i>Tolmomyias flaviventris</i>	0	0	0	0	1	2	1	2	2	2	3	1
<i>Todirostrum cinereum</i>	0	0	0	0	1	1	3	3	2	1	0	1
<i>Vireo olivaceus</i>	0	0	0	0	1	1	1	2	2	3	2	2
<i>Aramides cajanea</i>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Hemithraupis guira</i>	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Syndactyla dimidiata</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
<i>Euphonia chlorotica</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Antilophia galeata</i>	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
<i>Pitangus sulphuratus</i>	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	2	3
<i>Polioptila dumicola</i>	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0
<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Amazona amazonica</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
<i>Pionus maximiliani</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Colonia colonus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Zonotrichia capensis</i>	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
<i>Aratinga aurea</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Nystalus chacuru</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ramphocelus carbo</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Basileuterus flaveolus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Megarhynchus pitangua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1
<i>Emberizoides herbicola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
<i>Hylocryptus rectirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Molothrus bonariensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
<i>Lochmias nematura</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Crotophaga ani</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Columbina squammata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Piaya cayana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>beija-flor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Syrigma sibilatrix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Xolmis cinereus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Soma:	15	21	36	51	53	56	56	57	55	56	57	51
Soma (presença-ausência)	10	14	21	26	30	33	31	28	30	33	32	32

Anexo III

Exemplos de sonogramas dos cantos das espécies (A) *Camptostoma obsoletum* (risadinha); (B) *Zonotrichia capensis* (tico-tico); (C) *Cyclarhis gujanensis* (pitiguari); (D) *Saltator similis* (trinca-ferro-verdadeiro); e (E) *Tyrannus melancholicus* (suiriri).





Anexo IV

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Sporophila nigricollis* em um total de 17 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa em 2011 e 2012, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
09/fev/11	02:00:00	2	2	1,00	0	0
22/fev/11	02:00:00	4	4	1,00	0	0
26/fev/11	02:00:00	2	1	0,50	1	0,50
17/mar/11	02:00:00	3	2	0,67	1	0,33
24/jan/12	03:00:00	3	3	1,00	0	0
02/fev/12	03:00:00	19	19	1,00	0	0
06/fev/12	03:00:00	16	2	0,13	14	0,88
Total:	17:00:00	49	33	0,67	16	0,33

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Rhynchotus rufescens* em um total de aproximadamente 22 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de cerrado na Fazenda Água Limpa em 2009, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
16/set/09	03:22:53	58	32	0,55	26	0,45
09/set/09	03:22:53	73	55	0,75	18	0,25
10/set/09	03:22:53	97	69	0,71	28	0,29
10/set/09	01:26:14	95	67	0,71	28	0,29
09/set/09	03:22:53	151	114	0,75	37	0,25
13/set/09	03:22:53	211	193	0,91	18	0,09
02/set/09	03:22:53	200	163	0,82	37	0,19
Total:	21:43:32	885	693	0,78	192	0,22

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Cyclarhis gujanensis* em um total de 28 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter

em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa em 2009, 2012 e 2013, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
05/ago/09	04:00:00	63	34	0,54	29	0,46
06/ago/09	04:00:00	110	66	0,60	44	0,40
07/ago/09	04:00:00	83	15	0,18	68	0,82
09/ago/09	02:00:00	79	51	0,65	28	0,35
08/ago/09	02:00:00	85	35	0,41	50	0,59
11/ago/09	02:00:00	24	8	0,33	16	0,67
12/ago/09	02:00:00	65	35	0,54	30	0,46
17/ago/09	02:00:00	36	16	0,44	20	0,56
02/jun/12	03:00:00	155	153	0,99	2	0,01
13/jan/13	03:00:00	14	11	0,79	3	0,21
Total:	28:00:00	714	424	0,59	290	0,41

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Volatinia jacarina* em um total de 15 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa em 2011 e 2012, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
09/fev/11	02:00:00	42	37	0,88	5	0,12
24/fev/11	02:00:00	34	32	0,94	2	0,06
26/fev/11	02:00:00	175	174	0,99	1	0,01
17/mar/11	02:00:00	33	19	0,58	14	0,42
19/mar/11	02:00:00	81	77	0,95	4	0,05
20/mar/11	02:00:00	89	79	0,89	10	0,11
26/jan/12	03:00:00	145	141	0,97	4	0,03
Total:	15:00:00	599	559	0,93	40	0,07

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Cantorchilus leucotis* em um total de 30 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter em

áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa em 2009 e 2012, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
06/ago/09	04:00:00	526	1	0,002	525	0,998
07/ago/09	04:00:00	277	7	0,025	270	0,975
08/ago/09	02:00:00	289	5	0,017	284	0,983
09/ago/09	02:00:00	215	1	0,005	214	0,995
11/ago/09	02:00:00	286	2	0,007	284	0,993
15/ago/09	02:00:00	548	4	0,007	544	0,993
16/ago/09	02:00:00	224	13	0,058	211	0,942
25/jan/12	03:00:00	187	7	0,037	180	0,963
26/jan/12	03:00:00	212	12	0,057	200	0,943
28/jan/12	03:00:00	71	25	0,352	46	0,648
30/jan/12	03:00:00	34	14	0,412	20	0,588
Total:	30:00:00	2869	91	0,032	2778	0,968

Número de detecções realizadas pelo programa Song Scope para a espécie *Troglodytes musculus* em um total de 16 horas de gravações realizadas por unidades Song Meter em áreas de borda de mata na Fazenda Água Limpa em 2009, e a proporção de positivos verdadeiros e falsos para cada gravação.

Data da gravação	Duração	Detecções totais	Positivos verdadeiros	Proporção de positivos verdadeiros	Positivos falsos	Proporção de positivos falsos
06/ago/09	04:00:00	59	47	0,80	12	0,20
07/ago/09	04:00:00	63	8	0,13	55	0,87
08/ago/09	02:00:00	17	9	0,53	8	0,47
09/ago/09	02:00:00	43	16	0,37	27	0,63
11/ago/09	02:00:00	181	19	0,10	162	0,90
15/ago/09	02:00:00	101	2	0,02	99	0,98
Total:	16:00:00	464	101	0,22	363	0,78