

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-graduação em Ecologia, conservação e manejo  
da vida silvestre

Descrição do repertório acústico e estudo sobre a  
variação individual no canto de macho de uma  
população de *Embernagra longicauda* (Aves,  
Passeriformes)

Pedro Henrique Vieira Braga Pereira da Silva

Belo Horizonte

2016

**Descrição do repertório acústico e estudo sobre a  
variação individual no canto de macho de uma  
população de *Embernagra longicauda* (Aves,  
Passeriformes)**

**PEDRO HENRIQUE VIEIRA BRAGA PEREIRA DA SILVA**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ecologia, conservação e manejo da vida silvestre, do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Marcos Rodrigues.

Belo Horizonte

2016

“...in the end, we will conserve what we love. We will love only what we understand. We will understand only what we are taught.”

(Baba Dioum, 1968)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente ao meu orientador Prof. Marcos Rodrigues, ao Guilherme Henrique Silva de Freitas e Lílian Mariana Costa, por me auxiliarem na elaboração, realização e confecção deste trabalho. Ajudando em vários momentos de dúvidas e questionamentos. Além de serem os responsáveis por me ensinarem tudo que sei sobre ornitologia.

Um destaque especial para duas pessoas: Isabela Mendes Cardoso, companheira de campo e responsável por muitas conversas e trocas de informações para melhorarmos nossos trabalhos de mestrado; e ao guarda-parque do PARNA Cipó Claudinho, pela companhia no campo e pela ajuda em todos os contratempos enfrentados. Aos colaboradores nos trabalhos de campo, muito importantes para o sucesso deste projeto: Ana Utsch, Vanessa Monteiro, Eric Aguiar, António Cruz, Ivan Monteiro, Cleverson Fraga de Oliveira, João Carlos Pena, Vitor Bernardes Valentini, Laura Bubantz Fantecelle. Além dos meus amigos da vida, do D.A. Bio, do Interbio e do bar, pela ajuda no dia-dia, vocês são muito especiais.

A todos os professores e técnicos do programa de pós-graduação em Ecologia, conservação e manejo da vida silvestre, que contribuíram para minha formação como ecólogo e pesquisador. Sinto orgulho de fazer parte deste programa.

Um agradecimento mais que especial aos meu pais, que proporcionaram todas as oportunidades possíveis na minha vida, para eu conquistar tudo que desejei. Dando apoio sempre que precisei. Amo vocês.

Agradeço, ainda, a mulher que é muito especial na minha vida. Minha namorada Carina Santos Bomediano Nogueira. Não sei como você conseguiu aguentar meus períodos de campo e minhas reclamações. Com certeza você ajudou muito neste meu projeto. Te amo muito mesmo.

Por fim, agradeço às fontes financiadoras dos recursos necessários para realização desta pesquisa e pelo fomento da bolsa de mestrado: CNPq, FAPEMIG e à Capes.

## LISTA DE IMAGENS

Figura 1.	<i>Embernagra longicauda</i> executando seu canto.....	13
Figura 2:	(A) Indivíduo de <i>E. longicauda</i> anilhado com uma anilha metálica e duas coloridas para facilitação da identificação do indivíduo. (B) Exemplo do método de gravação focal do canto.....	14
<b>Cap. 1 -</b>	<b>O repertório acústico de machos de <i>Embernagra longicauda</i>.....</b>	<b>18</b>
Figura 1	Mapa dos territórios de machos de <i>E. longicauda</i> estudados.....	21
Figura 2	Espectograma do dueto típico de <i>E. longicauda</i> .....	22
Figura 3	Tamanho do repertório de sílabas por indivíduo de <i>E. longicauda</i> .....	24
Figura 4	Curvas médias de tamanho do repertório amostrado e do repertório estimado por Jackknife 1.....	24
Figura 5	Tamanho do repertório de cantos de uma população de <i>E. longicauda</i> .....	25
Figura 6	Gráfico gerado a partir do NMDS.....	26
Figura 7	Espectogramas de sílabas introdutórias do canto de <i>E. longicauda</i> .....	29
Figura 8	Espectogramas das sílabas principais de canto de <i>E. longicauda</i> .....	30
<b>Cap. 2</b>	<b>Varição acústica individual de <i>Embernagra longicauda</i>.....</b>	<b>33</b>
Figura 1	Variáveis utilizadas para os testes de diferenciação do canto.....	37
Figura 2	Componentes principais gerados a partir do PCA.....	41
Figura 3	Valores de PIC ( <i>Potential for Individual Coding scores</i> ) e Entropia para cada variável acústica.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Cap. 1 - O repertório acústico de machos de <i>Embernagra longicauda</i>.....</b>	<b>18</b>
Tabela 1. Resumo da amostragem e do repertório de sílabas por indivíduo.....	25
<b>Cap. 2 Variação acústica individual de <i>Embernagra longicauda</i>.....</b>	<b>33</b>
Tabela 1 Médias $\pm$ Desvio Padrão das cinco variáveis mensuradas a partir de duas sílabas principais por indivíduo.....	40
Tabela 2 Valores gerados a partir da Análise de Componentes Principais (PCA).....	41

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>10</b>
<b>2. MÉTODOS GERAIS.....</b>	<b>12</b>
- Área de estudo.....	13
- Coleta de dados.....	13
<b>3. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>15</b>
<b>Cap. 1 - O repertório acústico de machos de <i>Embernagra longicauda</i></b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2. MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
2.1. Coleta de dados.....	20
2.2. Análise de dados.....	22
2.2.1. Repertório.....	22
2.3. Análises estatísticas.....	23
2.3.1. Repertório.....	23
2.3.2. Similaridade de repertório.....	23
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. Repertório de sílabas.....	23
3.2. Repertório de cantos.....	25
3.3. Similaridade de repertório.....	25
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>5. ANEXO 1.....</b>	<b>29</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>Cap. 2 - Variação acústica individual de <i>Embernagra longicauda</i>.....</b>	<b>33</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>2. MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
2.1. Análise de dados.....	37
2.2. Análises estatísticas.....	38
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## RESUMO

As vocalizações em aves são as mais complexas, diversificadas e estudadas do Reino Animal, com exceção do ser humano. Sendo o processo de seleção sexual o principal fator relacionado a alta complexidade. As principais funções para as vocalizações em aves são de defesa de território e atração sexual. Sabe-se que os Passeriformes, em sua maioria, possuem um repertório de canto pequeno ou intermediário, que varia entre 1 a 25 tipos de canto. A carência de estudos de bioacústica nas regiões tropicais, principalmente a América do Sul, traz a necessidade de realização de trabalhos nestas áreas. As características que individualizam os componentes de uma população são essenciais para a manutenção e conservação das interações sociais. Muito utilizada, a variação individual acústica conserva as dinâmicas de reconhecimento de parentes, parceiros sexuais e potenciais competidores. A espécie *Embernagra longicauda*, uma ave passeriforme da família Thraupidae e endêmica dos topos de montanha do leste brasileiro, é territorialista e permanece com o parceiro sexual ao longo de toda vida. A partir disso, este trabalho teve como objetivos descrever o repertório de sílabas e cantos, investigar a similaridade na composição do repertório de sílabas e de cantos entre os indivíduos vizinhos, além de investigar a variação acústica entre os indivíduos machos de uma população da espécie *Embernagra longicauda*, localizada na Serra do Cipó, Minas Gerais. Foi marcado um total de nove indivíduos, compreendendo seis machos e três fêmeas. A amostragem total de gravação focal foi de cinco horas e vinte e quatro minutos (5hr 24min), sendo cinquenta e três minutos (53 min), em média, por indivíduo. O repertório de sílabas e de cantos de *E. longicauda* é considerado pequeno a intermediário, por apresentar uma média de 18 sílabas e 16 cantos por indivíduo. Foram encontradas diferenças significativas entre a composição do repertório de sílabas e diferenças acústicas entre os indivíduos da população. O presente estudo pode servir como base para futuros trabalhos que tentem responder sobre a dinâmica entre os componentes de um casal e o uso da variação individual para o reconhecimento dos indivíduos na dinâmica social desta espécie



## ABSTRACT

Birds have the most diverse and studied vocalization, which is related to its high complexity, excepted the humans. The main functions of vocalization in birds are territory defense and sexual attraction. Most songbirds have a small or intermediate song repertory, which varies from 1 to 25 kinds of songs. The lack of bioacoustic studies on tropical areas, especially in Southern America, represent a demand of studies in this area. Characteristics that individualize the components of a population are essential for support and conservation of social interactions. Acoustic individual variation is a widely used factor that keeps the dynamics recognition of relatives, sexual partner and potential competitors. *Embernagra longicauda* is a songbird, territorialist and monogamic species of Thraupidae family, endemic of mountain tops of eastern Brazil. The goals of this project were to describe the repertory of syllables and songs, to investigate the repertory similarity of syllables and songs between neighbors, and the acoustic variation between males of a population of *Embernagra longicauda*, in Serra do Cipó, Minas Gerais State. A total of nine individuals were marked, with six males and three females. The total focal recording sampling of was five hours and twenty-four minutes (5h 24m), with an average of fifty three minutes (53 m) per individual. The repertory of syllables and songs of *E. longicauda* is considered small or intermediate, due to the average of 18 syllables and 16 songs, per individual. Statistical analysis showed that there are significant differences between individuals, either for repertory composition of syllables, or for acoustic factors. This study can be used as basis for future research to investigate the dynamics between the components of a couple and the use of individual variation for individual recognition in the social dynamics of this species.

## INTRODUÇÃO GERAL

As vocalizações em aves são as mais complexas, diversificadas e estudadas dentro do Reino Animal, com exceção dos seres humanos, sendo a seleção sexual o principal fator relacionado à origem desta complexidade (Marler, 2004). As principais funções relacionadas às vocalizações das aves são a defesa de território e a atração sexual (Briefer, et.al., 2010). A grande variação acústica entre os diferentes taxa é refletida pela abundância dos tipos de sílabas, pelo tamanho do repertório e diferenças na atividade vocal diária, além do compartilhamento de sílabas, cantos e da sintaxe dos mesmos (Valderrama, 2008; Camacho-Schlenkler, 2011).

O repertório vocal de uma ave é definido por Briefer (2010) como o conjunto de elementos sonoros que esta pode reproduzir. Sendo que o repertório pode variar de acordo com a idade (Nottebohm e Nottebohm, 1978), biogeografia (Bitterbaum and Baptista, 1979), tamanho e densidade populacional (Laiolo, 2011), além de ser baseado nos cantos de múltiplos tutores e na influência de interações sociais vividas pelo indivíduo ao longo da vida (Nordby, 1999). Sabe-se que por volta de 80% dos pássaros canoros (Oscines) apresentam um repertório de canto pequeno ou intermediário, que varia entre 1-25 tipos de canto por indivíduo, sendo que a maioria as espécies reproduzem apenas um tipo (Lambrechts e Dhondt, 1995).

As estruturas acústicas de vocalizações são classificadas como: (1) Sílabas: unidade básica do canto, pode ser composta por um ou mais notas; (2) Categoria de sílabas: grupo de sílabas que compartilham características temporais e de frequência; (3) Frase: combinação de sílabas em uma ordem estereotipada (estrutura sintática); (4) Canto: som longo, complexo, produzido por machos, contendo uma série de sílabas sem pausa com duração maior que um segundo; (5) Chamado: som curto e simples, reproduzido por ambos os sexos (Sosa-López e Mennill, 2013). A sintaxe, como nas linguagens humanas, é a disposição de elementos do som (sílabas, canto, frases) em uma combinação que possua uma relação lógica entre elementos existentes (Berwick, 2011).

*Embernagra longicauda* Strickland, 1844, tem o conhecido hábito de cantar em dueto em poleiros expostos, o que parece ser uma estratégia para delimitação territorial (Freitas e Rodrigues, 2008). O canto típico do *Embernagra longicauda* é forte e penetrante, repetindo notas de sonoridade “tsi-tsoweeé” com

regularidade a cada 4-5 segundos (Freitas e Rodrigues 2008; Rising, 2011). Esse canto é feito em dueto (Freitas e Rodrigues 2008): combinação de cantos entre dois indivíduos de um casal que executam o canto sincronizadamente com outro (Catchpole e Slater, 2008).

O comportamento de cantar em dueto não é comum em áreas temperadas, mas é comum na região tropical. Nesta região, o dueto é associado às aves que formam pares monogâmicos de longa duração, sugerindo que este comportamento é importante para a manutenção do pareamento entre o macho e a fêmea (Langmore, 1998; Hall, 2004; Catchpole e Slater, 2008). Farabaugh (1982), estudando espécies da região do Panamá, encontrou uma outra associação relacionada ao canto em dueto, onde 65% das espécies que não possuem dimorfismo sexual cantam desta forma (Catchpole e Slater, 2008).

O primeiro estudo sobre a sintaxe dos cantos foi feito por Marler e Pickert (1984), com a espécie *Melospiza georgiana*, um pássaro pertencente à família Emberizidae que ocorre na América Norte. As vocalizações desta espécie foram organizadas dentro de uma estrutura sintática espécie-específica, muito parecida com o sistema de comunicação humano.

Na região Neotropical, existe uma carência de estudos sobre bioacústica de aves, que estão concentrados nas áreas temperadas. (Kroodsma, et al, 1996, Sandoval e Mennill, 2014). O tico-tico, *Zonotrichia capensis* (Emberizidae), é uma das poucas exceções. Esta espécie tropical tem sido utilizada como instrumento para entender variação geográfica e variação de acordo com o habitat ocupado (Handford, 1988, Handford e Loughheed, 1991, Kopuchian, 2004, Danner, 2011). Dentro dos Oscines, a família *Emberizidae* é o grupo mais estudado sobre diferenças individuais acústicas e repertório de cantos (Catchpole e Slater, 2008).

Estudos que objetivam investigar a sintaxe de vocalizações de aves são importantes, uma vez que as variações intra e interindivíduos são determinadas por questões culturais e fatores genéticos inerentes, além de sofrerem seleções ao longo do tempo (e.g. seleção sexual por fêmeas) (Catchpole e Slater, 2008). A descrição detalhada das variações no canto pode contribuir para a base de estudos sobre a influência da seleção acústica em Oscines e estudos sobre o processo de transmissão de cantos entre gerações (Podos, 2004).

Enquanto os estudos sobre estruturas acústicas e o processo de transmissão sonora em aves tropicais são muito restritos, para espécies de áreas temperadas existem uma grande quantidade de trabalhos (Kroodsma, et al., 1996, Barker, 2008). Estudos sobre a vocalização de aves tropicais são importantes, uma vez que serão bases para estudos comparativos entre espécies tropicais e temperadas, além de auxiliar no melhor entendimento das relações filogenéticas entre os grupos (Kroodsma, et al., 1996, Cadena e Cuervo, 2010). Além de contribuir para a expansão do entendimento sobre comportamento vocal animal em geral (Sandoval e Mennill, 2014).

A partir destas informações, o objetivo deste estudo foi caracterizar o repertório de sílabas e cantos e investigar a variação individual de machos da espécie *Embernagra longicauda*, pertencentes a uma população localizada na Serra do Cipó, Minas Gerais.

## **MÉTODOS GERAIS**

A ave *Embernagra longicauda* (Figura 1) é uma espécie da Ordem Passeriformes, atualmente pertence à família Thraupidae, que habita regiões de topo de montanhas do leste brasileiro (entre 900-2.100 m de altitude) com vegetação de campos secos e campos rupestres (região com afloramentos rochosos de quartzito ou minério de ferro ocupada com vegetação herbácea e arbustos regionais típicos (Rodrigues et.al., 2011).



Figura 1: *Embernagra longicauda* executando seu canto. foto Pedro Henrique V.B.P. da Silva

### **Área de estudo**

O projeto foi realizado em uma área de campo rupestre, na região do “Alto do Palácio” (19° 15’ 36.7”S, 43° 31’ 50.5”W), na região norte do Parque Nacional da Serra do Cipó, município de Santana do Riacho, Minas Gerais. A região está localizada na vertente leste das montanhas da Serra do Cipó, com altitude aproximada de 1350 m (Rodrigues et. al., 2011). A área é caracterizada por manchas de afloramentos rochosos, com forte influência de Mata Atlântica e Cerrado, mas com presença de vegetação arbórea próxima aos cursos d’água (Rodrigues et al., 2011). A área total de amostragem foi de 80 ha, aproximadamente, sendo caracterizada por uma região de campo rupestre e campo úmido e, nos cursos d’água, presença de vegetação arbórea.

### **Coleta de dados**

No período de Novembro de 2014 a Janeiro de 2015 foram realizadas campanhas para captura e marcação de indivíduos de *E. longicauda*, totalizando 25 dias de trabalho (200 horas de campo). Os indivíduos da população estudada foram capturados, utilizando redes de neblina (malha de 16mm, 12 x 2,5m; Ecotone®), e marcados utilizando anilhas metálicas numeradas, cedidas pelo

Centro Nacional de Pesquisa para Conservação de Aves (CEMAVE/IBAMA), e anilhas plásticas coloridas para a identificação individual (Figura 2A).

No período de Fevereiro de 2015 a Agosto de 2015 foram realizadas campanhas para gravações das vocalizações, totalizando 40 dias de trabalho (320 horas). Neste período, foram gravados entre 5 e 11 horas da manhã os cantos espontâneos e induzidos por *playback* (técnica de reprodução de uma gravação da vocalização específica) dos indivíduos anteriormente marcados com anilhas, utilizando um gravador Fostex FR-2LE munido com um microfone unidirecional Sennheiser ME-66 (Figura 2B). Os arquivos digitais foram gravados com amostragem de 96 kHz e 18 bits. Todas as gravações realizadas serão, posteriormente, depositadas em uma coleção de bioacústica ainda a ser determinada.

Para obter a gravação dos cantos, permanecia-se durante uma hora no território de cada indivíduo registrando as vocalizações espontâneas emitidas durante este período. Se decorrido 30 minutos não houvesse vocalizações, era utilizado o estímulo por *playback*, para estimular o indivíduo a reproduzir vocalizações. Para padronização do *playback*, foram utilizadas gravações previamente realizadas do mesmo indivíduo a ser estimulado.



**Figura 2: (A) Indivíduo de *E. longicauda* anilhado com uma anilha metálica e duas coloridas para facilitação da identificação do indivíduo (Foto própria). (B) Exemplo do método de gravação do canto (Foto: Isadora Sepulveda).**

## REFERÊNCIAS

- Barker, N. K. (2008). Bird Song Structure and Transmission in the Neotropics: Trends, Methods and Future Directions. *Ornitologia Neotropical*, 19(2), 175–199. Retrieved from
- Bitterbaum, E., & Baptista, L. F. (1979). Geographical Variation in Songs of California House Finches. *The Auk*, 96(3), 462–474.
- Briefer, E., Osiejuk, T. S., Rybak, F., & Aubin, T. (2010). Are bird song complexity and song sharing shaped by habitat structure? An information theory and statistical approach. *Journal of Theoretical Biology*, 262(1), 151–164.
- Briefer, E., Osiejuk, T. S., Rybak, F., & Aubin, T. (2010). Are bird song complexity and song sharing shaped by habitat structure? An information theory and statistical approach. *Journal of Theoretical Biology*, 262(1), 151–164.
- Cadena, C. D., & Cuervo, A. M. (2010). Molecules, ecology, morphology, and songs in concert: How many species is *Arremon torquatus* (Aves: Emberizidae)? *Biological Journal of the Linnean Society*, 99(1), 152–176.
- Camacho-Schlenker, S., Courvoisier, H., & Aubin, T. (2011). Song sharing and singing strategies in the winter wren *Troglodytes troglodytes*. *Behavioural Processes*, 87(3), 260–267.
- Catchpole, C. K., & Slater, P. J. B. (2008). *Bird Song: Biological Theme and Variations* (Second). Cambridge.
- Freitas, G. H. S., & Rodrigues, M. (2008). Canário-rabudo *Embernagra longicauda*: uma ave típica das montanhas do leste do Brasil. *Atualidades Ornitológicas*, 141, 10–11.
- Freitas, G. H. S., & Rodrigues, M. (2012). Territory distribution and habitat selection of the Serra Finch (*Embernagra longicauda*) in Serra do Cipó, Brazil. *The Wilson Journal of Ornithology*, 124(1), 57–65.
- Handford, P. (1988). Trill rate dialects in the Rufous-collared Sparrow, *Zonotrichia capensis*, in northwestern Argentina. *Canadian Journal of Zoology*, 66(12), 2658–2670.
- Handford, P., & Loughheed, S. C. (1991). Variation in duration and frequency characters in the song of the rufous-collared sparrow, *Zonotrichia capensis*, with respect to habitat, trill dialects and body size. *Condor*, 93(3), 644–658.
- Kopuchian, C., Alejandro Lijtmaer, D., Luis Tubaro, P., & Handford, P. (2004). Temporal stability and change in a microgeographical pattern of song variation in the rufous-collared sparrow. *Animal Behaviour*, 68(3), 551–559.

- Kroodsma, D.E, Vielliard, J.M.E., Stiles, F.G.. Study of birds sounds in the Neotropical: Urgency and Opportunity. In Ed(s) Kroodsma, D.E., Miller, E.H. Ecology and evolution of acoustic communication in birds. Ithaca and London: Cornell University Press. 1996. p.269-280
- Laiolo, P., Vögeli, M., Serrano, D., & Tella, J. L. (2011). Song diversity predicts the viability of fragmented bird populations. *Current Science*, 101(11), 1435–1439.
- Lambrechts, M. M., Dhondt, A. A. Individual voice discrimination in birds. In Power, D.M., Corrent Ornithology. Oakland, California. The Oakland Museum. 1990. p. 115-133.
- Marler, P. Science and birdsong: The good old days. In Marler, P., Slabbekoorn, H., *Nature's Music: The Science of Birdsong*. Elsevier Inc. 2004.p. 1–38.
- Marler, P., & Pickert, R. (1984). Species-universal microstructure in the learned song of the swamp sparrow (*Melospiza georgiana*). *Animal Behaviour*, 32(3), 673–689. [http://doi.org/10.1016/S0003-3472\(84\)80143-8](http://doi.org/10.1016/S0003-3472(84)80143-8)
- Nordby, J. C., Campbell, S. E., & Beecher, M. D. (1999). Ecological correlates of song learning in song sparrows. *Behavioral Ecology*, 10(3), 287–297.
- Nottebohm, F., & Nottebohm, M. E. (1978). Relationship between Song Repertoire and Age in the Canary, *Serinus canarius*. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 46(3), 298–305.
- Podos, J., & Nowicki, S. (2004). Performance limits on birdsong. In *Nature's Music: The Science of Birdsong* (pp. 318–342).
- Rising J.D. Family Emberizidae (Butings and new world sparrows). In: del Hoyo, J., Elliot, A., Christie, D.A. Handbook of the birds of the world. Vol. 16. Tanagers to New World Blackbirds. Barcelona. Lynx Edicions.2011. p. 428-683.
- Rodrigues, M., Freitas, G. H. S., Costa, L. M., Dias, D. F., Varela, M. L. M., & Rodrigues, L. C. (2011). Avifauna, Alto do Palácio, Serra do Cipó National Park, state of Minas Gerais, southeastern Brazil. *Check List*, 7(2), 151–161.
- Sandoval, L., & Mennill, D. J. (2014). A quantitative description of vocalizations and vocal behaviour of the rusty-crowned ground-sparrow (*Melospiza kieneri*). *Ornitologia Neotropical*, 25, 219–230.
- Sandoval, L., Méndez, C., & Mennill, D. J. (2014). Individual Distinctiveness in the Fine Structural Features and Repertoire Characteristics of the Songs of White-eared Ground-sparrows. *Ethology*, 120, 275–286.



- Sosa-López, J. R., Mennill, D. J., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Geographic variation and the evolution of song in Mesoamerican rufous-naped wrens *Campylorhynchus rufinucha*. *Journal of Avian Biology*, 44(1), 27–38.
- Valderrama, S., Parra, J., Dávila, N., & Mennill, D. J. (2008). Vocal behavior of the critically endangered Niceforo's wren (*Thryothorus nicefori*). *The Auk*, 125(2), 395–401.

## **Capítulo 1**

### **O repertório acústico de machos de *Embernagra longicauda***

## INTRODUÇÃO

O repertório de uma ave é definido por Briefer (2010) como o conjunto de elementos sonoros que esta pode reproduzir. Sendo que o repertório pode variar de acordo com a idade (Nottebohm e Nottebohm, 1978), biogeografia (Kroodsma, 1981, Bitterbaum e Baptista, 1979), tamanho e densidade populacional (Laiolo, 2008), além de ser baseado nos cantos de múltiplos tutores e na influência de interações sociais vividas pelo indivíduo (Nordby, 1999). Sabe-se que por volta de 80% dos pássaros canoros (Oscines) apresentam um repertório de canto pequeno ou intermediário, que varia entre 1-25 tipos de canto por indivíduo, sendo que a maioria deles reproduz apenas um tipo (Lambrechts e Dhondt, 1995).

O tamanho do repertório de sílabas ou, mais amplamente, de cantos é conhecidamente importante para a aquisição de territórios, defesa e atração de parceiros (Beecher e Brenowitz, 2005). O repertório é possivelmente resultado de uma interação complexa entre genes e ambiente (Catchpole e Slater, 2008). Em geral, estudos sobre repertório de vocalizações são focados no tamanho do mesmo, sendo também de grande importância investigar a composição e o uso dos elementos (Franco, 2009). Isto porque a composição do repertório varia ao longo da vida, permitindo à ave se adaptar às mudanças de vizinhos ou de características acústicas do ambiente (Nordby, 2001; Slabbekoorn e den Boer-Visser, 2006; Nicholson, et. al., 2007). Muitos estudos mostram que aves territorialistas apresentam uma composição de cantos e sílabas similar ou idêntica aos outros indivíduos que ocupam territórios vizinhos (e.g.: Nordby, 1999; Kroodsma, 1981; Briefer, 2010; Sandoval, 2014). Pelos diversos fatores citados que influenciam na composição de um repertório, a descrição e caracterização do mesmo é de grande importância. Inclusive para se avaliar as condições populacionais de espécies de aves (Laiolo et.al, 2011)

A incorporação de estudos sobre atributos culturais no contexto de conservação é sugerida atualmente como uma novidade para estudar a diversidade e o status de conservação de uma população animal (Laiolo e Jovani, 2007). Apesar de estudos apontarem a relação entre fatores comportamentais culturais e a saúde populacional da espécie (Laiolo e Tella, 2005 e 2006; Whitehead, et al., 2004; Ryan., 2006), este campo de estudo recebe pouca atenção dentro da biologia da conservação, uma vez que os

trabalhos focam apenas em espécies generalistas e com grande abundância, quando deveria-se priorizar espécies sensíveis a mudanças de habitat (Laiolo e Tella, 2005).

Alguns autores destacam que parâmetros sonoros de cantos podem indicar como é a qualidade do indivíduo em uma população, seja em uma disputa entre dois machos por recurso (Collins, 2004). Isso porque existe uma correlação entre o tamanho do repertório com o tamanho do cérebro, a condição nutricional e o tamanho corporal do indivíduo. Além do número de *displays* de acasalamento e a sobrevivência dos filhotes (Baker, 1986; Hasselquist, 1996; Catchpole, 1996).

Laiolo e colaboradores (2011) analisaram a relação entre estas características e os parâmetros acústicos para avaliar as tendências demográficas da espécie *Chersophilus duponti* (Alaudidae). Os autores encontraram uma forte relação entre a diversidade de cantos (tamanho do repertório) com o índice de viabilidade da população, concluindo que quanto menor o repertório, maior a chance de extinção da população. Além disso, encontraram que a diversidade de cantos é positivamente relacionada com o tamanho populacional. Briefer (2010) testou a variação na composição, complexidade e compartilhamento de repertório entre populações de *Alauda arvensis* (Alaudidae) que habitavam áreas naturais de habitats contínuos e fragmentados. Concluiu que a fragmentação determina a redução no compartilhamento de cantos e sílabas, porém não observou influência na complexidade e no tamanho do repertório.

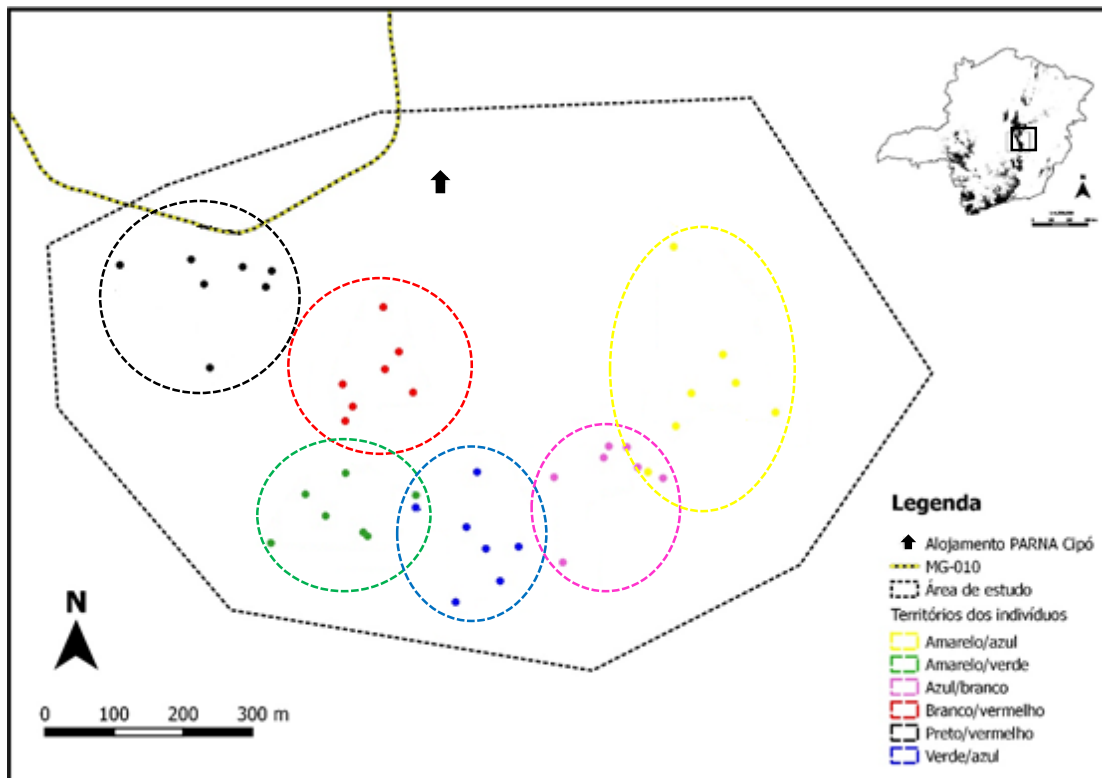
Desta forma, este capítulo tem como objetivo contrapor o conhecimento atual sobre o repertório vocal do *Embernagra longicauda*, a partir da descrição do repertório de sílabas e cantos de uma população da espécie, localizada na Serra do Cipó, Minas Gerais. Além de investigar a similaridade na composição do repertório de sílabas e de cantos entre os indivíduos vizinhos desta população.

## **MÉTODOS**

### **Coleta de dados**

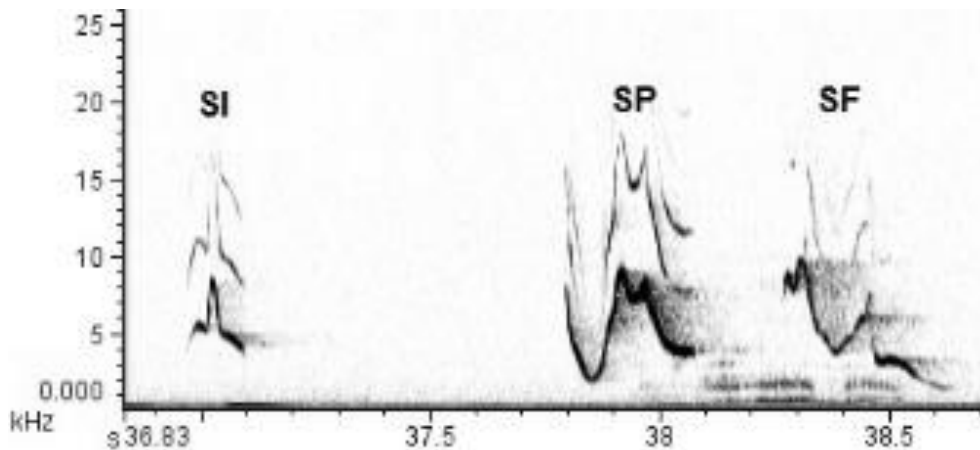
Foi marcado um total de nove indivíduos, sendo seis machos, todos pareados com uma fêmea. (Figura 1). A amostragem total de gravação focal foi

de cinco horas e vinte e quatro minutos (5hr24min), sendo cinquenta e três minutos (53min), em média, por indivíduo.



**Figura 1: Mapa dos territórios de machos de *E. longicauda* estudados. No canto superior direito, mapa do estado de Minas Gerais e localização da área de estudo (Mapa de própria autoria, feito a partir do software Quantum GIS (versão 2.12.0, para Windows)).**

A partir das gravações dos machos de *E. longicauda* foram observadas dois tipos de vocalizações: um chamado curto de uma única sílaba e o canto típico da espécie que é constituído por duas sílabas, como feito por Freitas (2015). A primeira sílaba (SI), curta e introdutória, e a segunda sílaba principal (SP) mais longa (Figura 2). As fêmeas da espécie podem reproduzir o chamado ou um canto de apenas uma sílaba longa (SF), executado em conjunto com o macho ou independentemente, definindo um dueto típico da espécie. Além disso, foram observados duetos que apresentam uma sintaxe diferente ao dueto típico já conhecido.



**Figura 2:** Espectrograma do dueto típico de *E. longicauda*. SI: Sílabas introdutória; SP: Sílabas principal; SF: Sílabas da fêmea. O eixo X é o tempo (s) e o eixo Y é a frequência (kHz).

### **Análise de dados**

#### **Repertório**

A partir das gravações, foram gerados espectrogramas (ou sonogramas), utilizando o software Raven Pro 1.4.. A partir desta representação, pode-se classificar os diferentes elementos dos sinais acústicos, utilizando sua morfologia e sem parâmetros no domínio do tempo e na frequência.

Para o estudo de repertório dos cantos foi feita a classificação das estruturas acústicas básicas do canto, segundo Sosa-López e Mennill (2013). A seguir estão as estruturas acústicas que foram classificadas: (1) Sílabas: unidade básica do canto. Pode ser composta por um ou mais elementos; (2) Categoria de sílabas: grupo de sílabas que compartilham características temporais e de frequência; (3) Frase: combinação de sílabas em uma ordem estereotipada mais comum entre aves diferentes ou entre vocalizações do mesmo indivíduo; (4) Canto: som longo, complexo, produzido por machos, contendo uma série de sílabas sem pausa com duração maior que um segundo; (5) Chamado: som curto e simples, reproduzido por ambos os sexos.

Para esta classificação foi adotado o método sugerido por Sandoval (2014), baseando-se na classificação visual por semelhança nas morfologias dos espectrogramas gerados a partir das gravações. Com base nesta classificação, foi confeccionado o repertório padrão de sílabas e de cantos referente aos machos individualmente e para a população estudada.

## **Análises estatísticas**

### **Repertório**

Para avaliar a qualidade da amostragem, foi construída uma curva de acumulação de sílabas e cantos, separadamente, de cada indivíduo macho, como proposto por Catchpole e Slater (2008), utilizando o software Microsoft Excel 2013 (64 bits). Posteriormente, foi feito o cálculo da estimativa de riqueza de estruturas acústicas a partir do estimador *Jackknife* de primeira ordem, utilizando 1000 permutações. Esta análise foi realizada utilizando o software R Studio (R version 3.2.0, 2015).

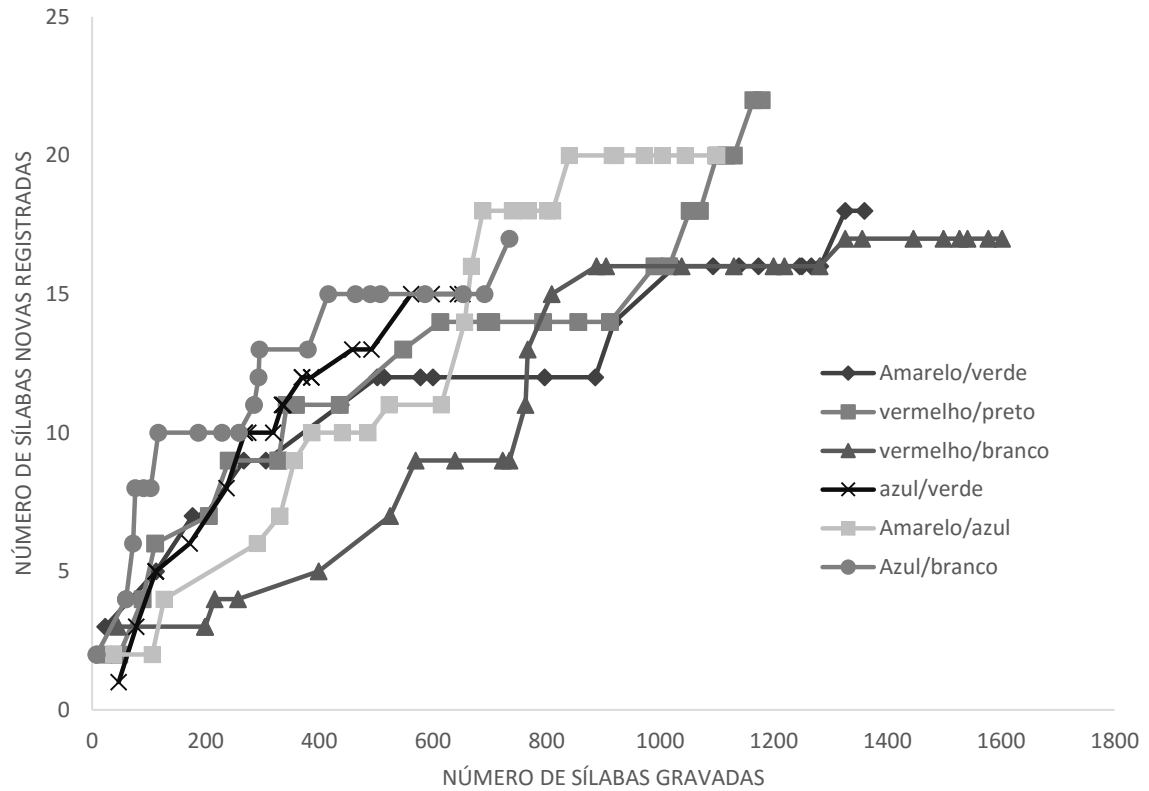
### **Similaridade de repertório**

Foi realizada uma análise de ordenação NMDS (Escalonamento Multidimensional Não-Métrico), utilizando como ordem de distância do tipo Bray-Curtis, em três dimensões. Posteriormente uma PERMANOVA (Análise Permutacional Multivariada da Variância), utilizando como tipo de ordem de distância o tipo Bray-Curtis e 999 permutações, para avaliar a similaridade entre os repertórios dos indivíduos estudados. Para cada indivíduo, foi considerada a abundância de cada tipo de sílaba ao longo de toda amostragem. Estas análises foram realizadas no software R Studio (R version 3.2.0, 2015).

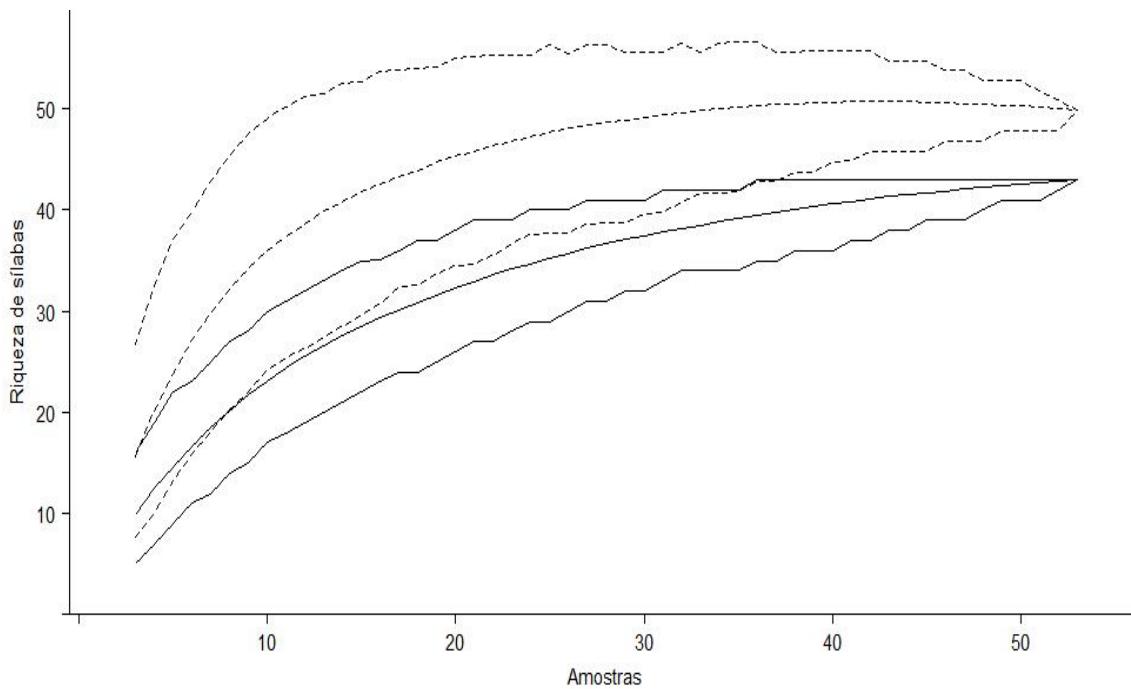
## **RESULTADOS**

### **Repertório de sílabas**

Foram registradas  $1104,7 \pm 363,2$  (média  $\pm$  DP) sílabas por indivíduo. O repertório médio por indivíduo amostrado foi de  $18,16 \pm 2,48$  sílabas (média  $\pm$  DP) (Figura 3). As informações para cada indivíduo amostrado estão presentes na Tabela 1. A média total do repertório da população estudada foi de  $43,0 \pm 2,4$  sílabas (média  $\pm$  IC), enquanto que o estimador de riqueza estimou um repertório de  $49,8 \pm 2,9$  (média  $\pm$  IC) sílabas (Figura 4, anexo 1).



**Figura 3: Tamanho do repertório de sílabas por indivíduo de *E. longicauda*.**



**Figura 4: Curvas médias de tamanho do repertório amostrado (linha) e do repertório estimado por Jackknife 1 (tracejado). Média  $\pm$  Intervalo de confiança.**

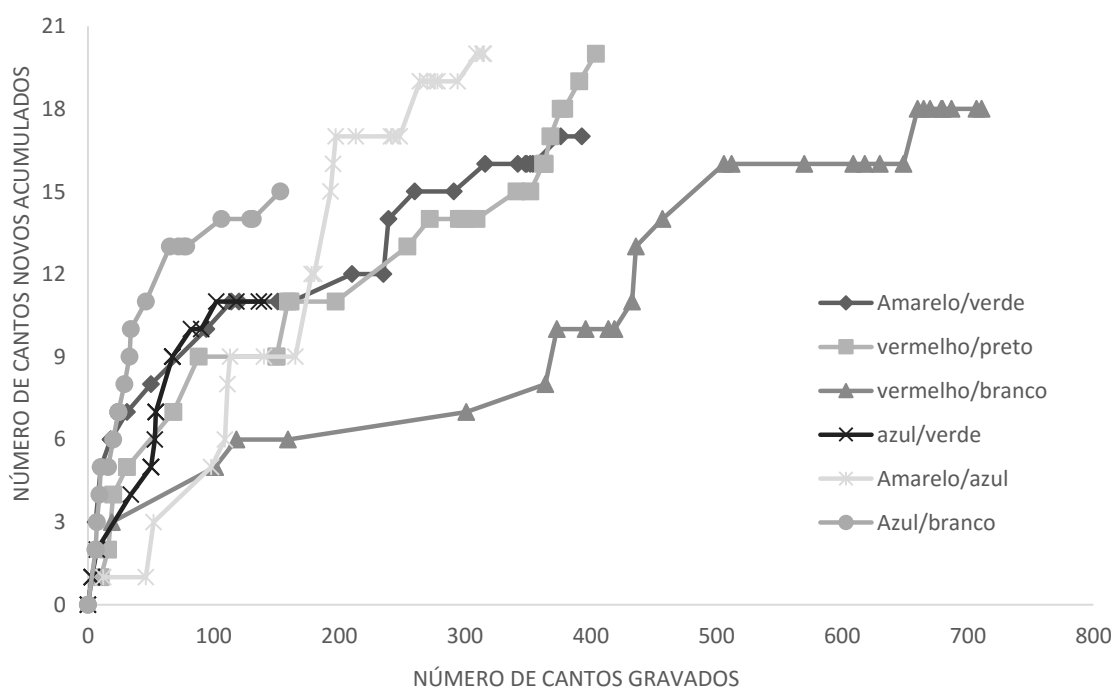


**Tabela 1: Resumo da amostragem e do repertório de sílabas por indivíduo. As siglas indicam a identificação do indivíduo a partir das cores das anilhas utilizadas.**

Indivíduo	Tempo de gravação (total)	Número total de sílabas	Número de cantos	Sílabas introdutórias	Sílabas principais
pt_ver	1hr 06min 40seg	22	20	B,E,F,G,H,I,L,M,N,O	A,C,F,H,I,J,K,O,P,Q,R,Z
br_ver	1hr 05min 01 seg.	18	18	A,B,C,D,E,G,K	A,B,C,D,E,F,G,M,N,T,X
am_ved	56min 25seg.	19	17	A,B,C,D,E,F,H,O,P	A,B,C,E,G,I,L,M,O,Z
az_ved	45min 33seg.	15	11	B,D,E,F,H,J	A,B,C,D,G,H,I,L,S
az_br	36min 57seg.	17	15	A,C,D,E,G,H,M,R	A,C,H,J,K,Q,V,Z,A1
am_az	50min 26seg.	19	20	A,B,C,D,E,F,G,H,I,Q	A,B,C,D,G,H,I,L,T,U

### Repertório de cantos

Foram registrados  $352,7 \pm 209,4$  (média  $\pm$  DP) cantos por indivíduo. O repertório médio por indivíduo amostrado foi de  $16,83 \pm 3,43$  cantos (média  $\pm$  DP) (Figura 5).



**Figura 5: Tamanho do repertório de cantos de uma população de *E. longicauda*. As combinações de cores indicam indivíduos diferentes.**

### Similaridade de repertório

Foi gerado a partir do NMDS o modelo representado na figura 6 (stresse = 0,071)A análise PERMANOVA mostrou que existe diferenças significativas

entre a composição de sílabas nos repertórios dos indivíduos ( $F_{5,47}=1,47$ ;  $p<0,01$ ).

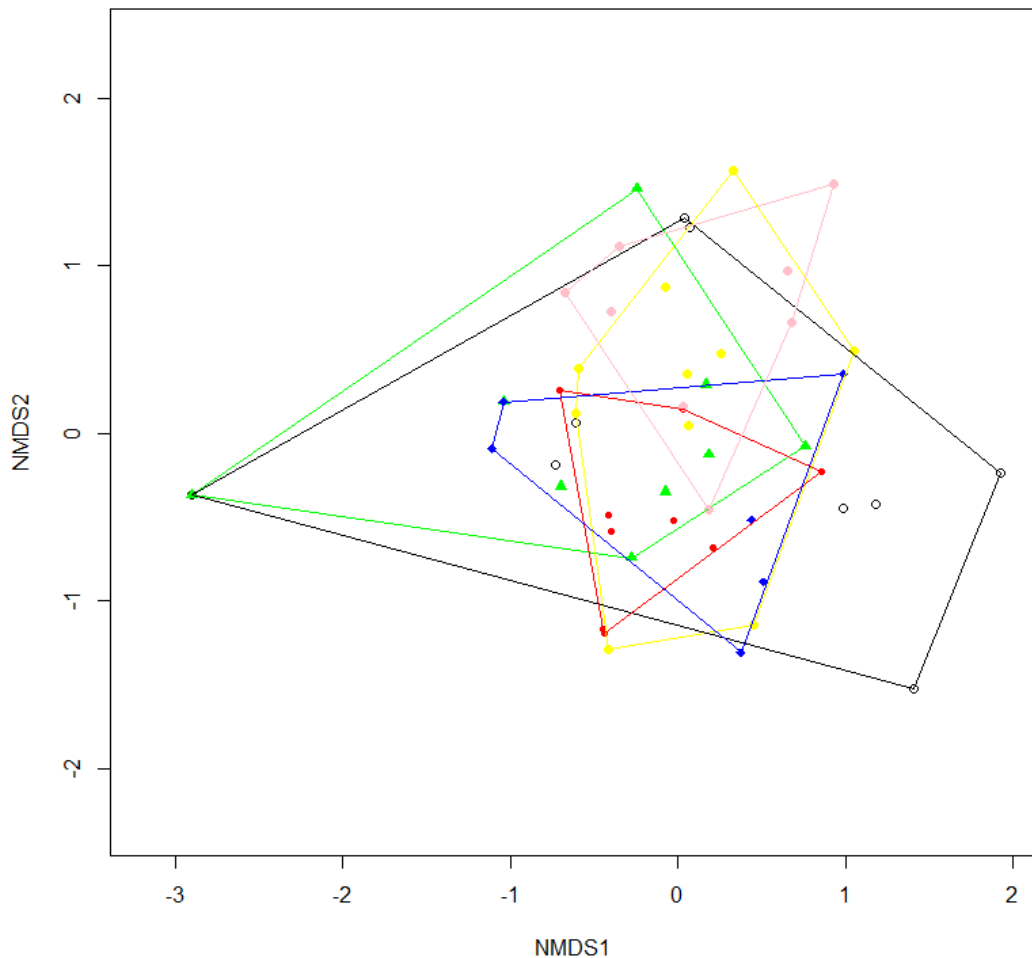


Figura 6: Gráfico gerado a partir do NMDS. As cores diferentes indicam indivíduos diferentes.

## DISCUSSÃO

*Embernagra longicauda* apresenta um repertório pequeno ou intermediário (Lambrechts e Dhondt, 1995) com uma média de 16 cantos por indivíduo. Por questões de amostragem, não foi possível realizar estudos sobre o compartilhamento de repertório de canto entre os indivíduos. A curva de acumulação de cantos demonstra que não se atingiu uma amostragem satisfatória. Por outro lado, a amostragem para o repertório de sílabas atingiu uma boa representação para a caracterização do repertório e o teste de similaridade de sílabas. Os resultados da análise estatística demonstraram que há uma diferença significativa na composição dos repertórios de sílabas entre os indivíduos estudados. Este fato pode ter sido influenciado por uma amostragem

diferenciada entre os indivíduos, muitas vezes determinada por fatores climáticos ou pela variação individual de comportamento, impedindo assim uma amostragem equitativa. Em relação ao repertório da população, os estimadores de riqueza demonstraram que a amostragem se aproximou do número de sílabas estimado. Possivelmente, o repertório de canto deve ser mais extenso do que encontrado neste trabalho, baseando-se nos inúmeros arranjos possíveis entre as sílabas introdutórias e principais descritas para esta população.

Ao contrário do que era conhecido para a espécie, a diversidade de sílabas é bem maior, uma vez que não há muitos estudos aprofundados sobre repertório de cantos e/ou sílabas para espécies brasileiras, em uma única população. Freitas (2015) investigou a variação interpopulacional do *Embernagra longicauda* ao longo de toda área de ocorrência da espécie. Segundo o autor, foi encontrada um repertório de sílabas menor por macho, comparado a este estudo. Entretanto, o repertório desta ave se mostrou mais complexo, com uma média de 16 cantos por indivíduo, porém com 18 sílabas, em média. Considerando o número de potenciais combinações entre as sílabas para a estruturação de um canto, pode-se supor que o número de cantos é muito maior do que o encontrado neste estudo.

Trabalhos aprofundados, como este, que objetiva estudar a variação acústica em uma população são essenciais para o entendimento mais detalhado sobre os sistemas de vocalizações de uma espécie. A utilização de bibliotecas acústicas podem ser um bom instrumento para complementação dos dados sobre uma determinada população, de forma geral. Isto devido ao fato de arquivos presentes nestas bibliotecas não possuem informações necessárias para investigar o sistema de repertório no âmbito individual, além de existir o problema da falta de padronização das gravações. Desta forma, a realização de trabalhos aprofundados em uma população é necessário para melhor entendimento sobre as variações intra e interpopulacionais de repertórios.

Comparativamente, espécies bem estudadas como o *Luscinia megarhynchos*, *Setophaga ruticilla*, *Acrocephalus schoenobaenus* e *Toxostoma rufum*, possuem um repertório de cantos muito grande e complexo, chegando a um número de mais de 1500 tipos de cantos descritos (revisado por Catchpole e Slater, 2008). Por outro lado, espécies como *Seiurus aurocapilla*, *Fringilla*

*coelebs*, *Cardinalis cardinalis* e *Zonotrichia leucophrys* possuem um repertório pequeno variando de 1 a 12 cantos (Catchpole e Slater, 2008).

O uso de estudos de descrição de repertório acústico poderá auxiliar em trabalhos mais aprofundados sobre as condições populacionais da espécie. Diversos autores salientam que a utilização de técnicas de bioacústica para avaliar o status populacional de uma espécie é um método que poderá substituir os tradicionalmente utilizados por serem mais rápidos, com menor custo e com uma precisão relativamente boa. Trabalhos demonstraram que a fragmentação e a perda de habitat por uma espécie determinam a redução da riqueza e diversidade dos repertórios das espécies. Ao se interromper os movimentos migratórios entre áreas de ocorrência, diretamente se reduz a troca de informações culturais ligadas às vocalizações, determinando um aumento na diferenciação de cantos entre populações isoladas que pode ser um fator que influencie no processo de especiação (Laiolo, 2005, 2006, 2007; Rayn, 2006, Whitehead, H. et al., 2004; Slabberkoorn e Smith, 2002). Briefer (2010) demonstrou que a fragmentação de habitat reduziu o compartilhamento de elementos de repertório nas populações. Isto devido à redução nas taxas de movimentos migratórios, principalmente por dispersão, processo que eleva a diversidade de tipos acústicos em uma população.

O repertório de sílabas e cantos pode ser um grande instrumento para utilização em estudos que objetivam investigar comportamentos das aves, como a escolha do parceiro sexual ou a competição entre indivíduos. Como revisado por Collins (2004), o tamanho e complexidade do repertório são utilizados para a avaliação da qualidade do macho, indicando idade, tamanho corporal, qualidade do território e capacidade de sobrevivência. O conhecimento sobre padrões comportamentais pode ser utilizado para caracterizar o uso de cada tipo de vocalização de acordo com a situação na qual um indivíduo se encontra, agregando significado para cada tipo de canto presente no repertório.

A população estudada de *Embernagra longicauda* da região do Alto Palácio, Serra do Cipó, Minas Gerais, apresentou um repertório de sílabas pequeno ou intermediário e um repertório de canto potencialmente grande. O número de combinações entre sílabas para formação de uma frase pode determinar um grande potencial para um sistema de vocalização complexo, diferente do que se conhecia para esta espécie.

ANEXO 1

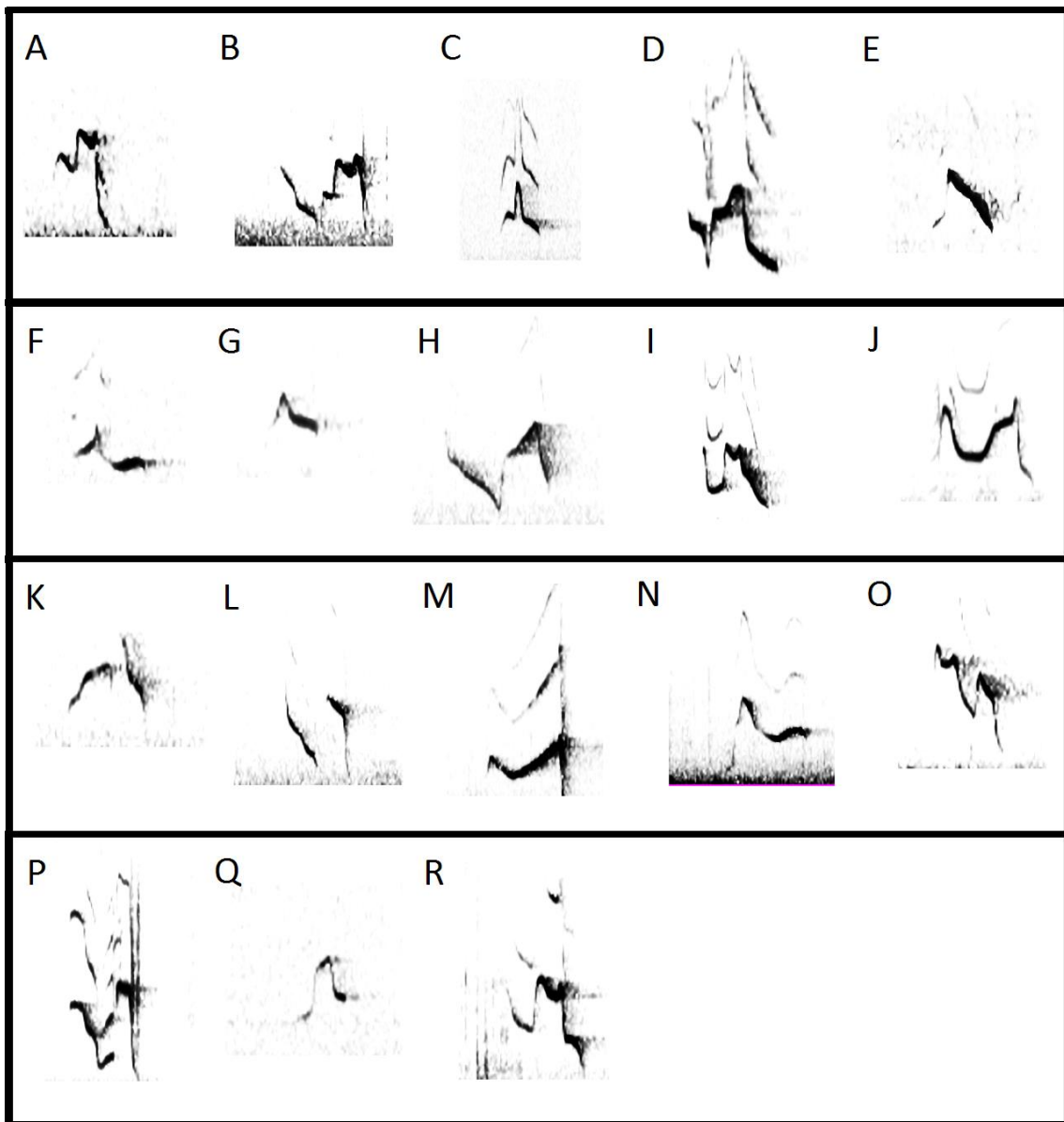


Figura 7: Espectrogramas de sílabas introdutórias do canto de *E. longicauda*.

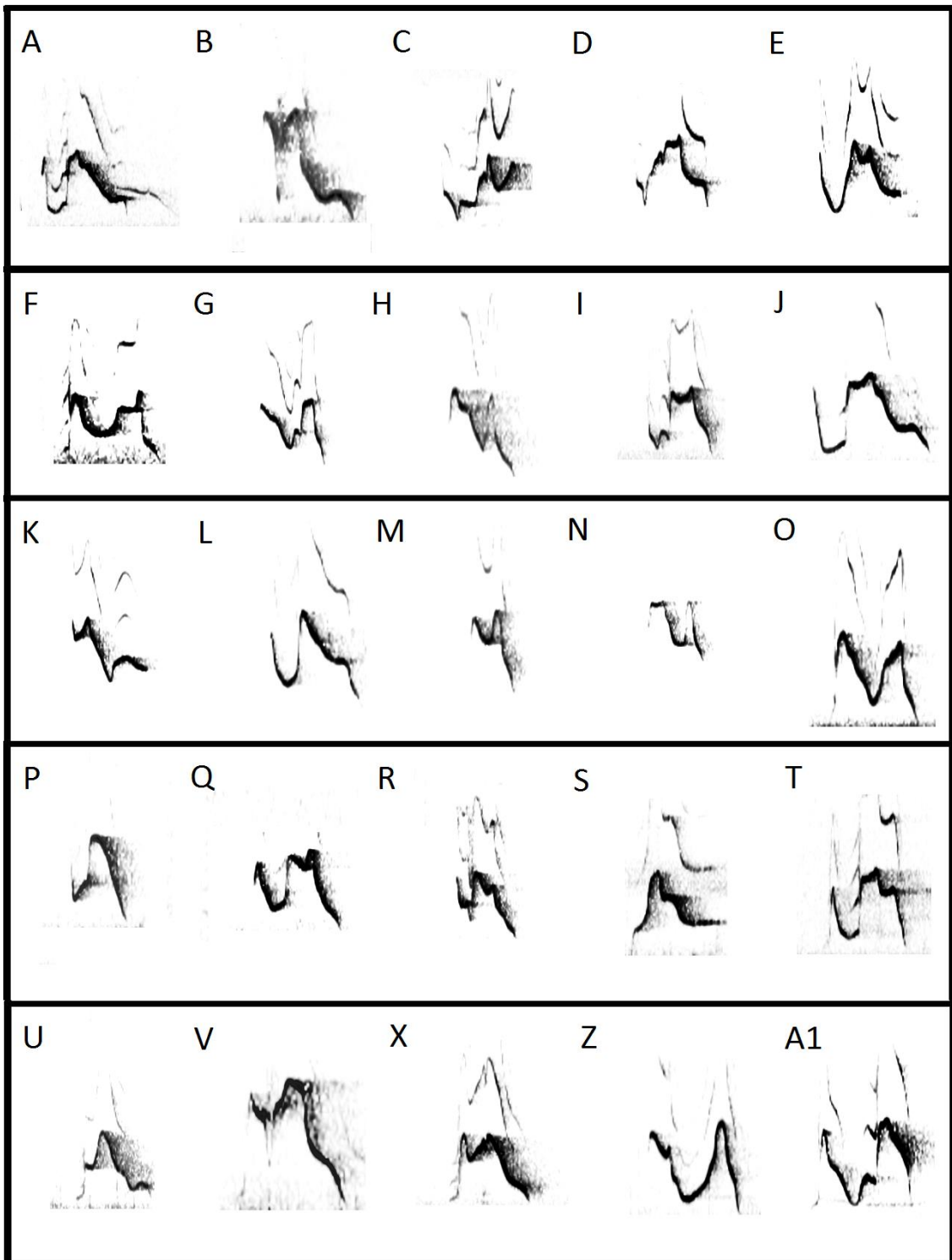


Figura 8: Espectogramas das sílabas principais de canto de *E. longicauda*.

## REFERÊNCIAS

- Baker, M. C., Bjerke, T. K., Lampe, H., & Espmark, Y. (1986). The University of Chicago. *The American Society of Naturalists*, 128(4), 491–498.
- Beecher, M. D., & Brenowitz, E. A. (2005). Functional aspects of song learning in songbirds. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(3), 143–149.
- Bitterbaum, E., & Baptista, L. F. (1979). Geographical Variation in Songs of California House Finches. *The Auk*, 96(3), 462–474.
- Briefer, E., Osiejuk, T. S., Rybak, F., & Aubin, T. (2010). Are bird song complexity and song sharing shaped by habitat structure? An information theory and statistical approach. *Journal of Theoretical Biology*, 262(1), 151–164.
- Catchpole, C. K. (1996). Song and female choice: good genes and big brains? *Trends in Ecology and Evolution*, 11(9), 358–360.
- Catchpole, C. K., & Slater, P. J. B. (2008). *Bird Song: Biological Theme and Variations* (Second). Cambridge.
- Collins, S. (2004). Vocal fighting and flirting: The functions of birdsong. In *Nature's Music: The Science of Birdsong* (pp. 39–79).
- Franco, P., & Slabbekoorn, H. (2009). Repertoire size and composition in great tits: a flexibility test using playbacks. *Animal Behaviour*, 77(1), 261–269.
- Freitas, G. H. S. (2015). Variação geográfica morfológica e vocal de algumas aves endêmicas dos topos de montanha do leste do Brasil. *Tese de Doutorado*. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Hasselquist, D., Bensch, S., & von Schantz, T. (1996). Correlation between male song repertoire, extra-pair paternity and offspring survival in the great reed warbler. *Nature*, 381, 229–232.
- Kroodsma, D. E. Ecology of passerine song development. In.: Kroodsma, D. E. & Miller, E.H. Ecology and evolution of acoustic communication in birds. Cornell University, 1996. 3-20.
- Laiolo, P., & Jovani, R. (2007). The emergence of animal culture conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1), 5.
- Laiolo, P., & Tella, J. L. (2005). Habitat fragmentation affects culture transmission: Patterns of song matching in Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 1183–1193.
- Laiolo, P., & Tella, J. L. (2006). Landscape bioacoustics allow detection of the effects of habitat patchiness on population structure. *Ecology*, 87(5), 1203–1214.

- Laiolo, P., Vögeli, M., Serrano, D., & Tella, J. L. (2011). Song diversity predicts the viability of fragmented bird populations. *Current Science*, *101*(11), 1435–1439.
- Lambrechts, M. M., Dhondt, A. A. Individual voice discrimination in birds. In Power, D.M., Corrent Ornithology. Oakland, California. The Oakland Museum. 1990. p. 115-133.
- Nicholson, J. S., Buchanan, K. L., Marshall, R. C., & Catchpole, C. K. (2007). Song sharing and repertoire size in the sedge warbler, *Acrocephalus schoenobaenus*: changes within and between years. *Animal Behaviour*, *74*(5), 1585–1592.
- Nordby, J. C., Campbell, S. E., & Beecher, M. D. (1999). Ecological correlates of song learning in song sparrows. *Behavioral Ecology*, *10*(3), 287–297.
- Nordby, J. C., Campbell, S. E., & Beecher, M. D. (2001). Late song learning in song sparrows. *Animal Behaviour*, *61*(4), 835–846.
- Nottebohm, F., & Nottebohm, M. E. (1978). Relationship between Song Repertoire and Age in the Canary, *Serinus canarius*. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, *46*(3), 298–305.
- Ryan, S. J. (2006). Diversity: The Role of Culture in Conservation Planning for Small or Endangered Populations. *Conservation Biology*, *20*(4), 1321–1324.
- Sandoval, L., & Mennill, D. J. (2014). A quantitative description of vocalizations and vocal behaviour of the rusty-crowned ground-sparrow (*Melospiza kieneri*). *Ornitologia Neotropical*, *25*, 219–230.
- Sandoval, L., Méndez, C., & Mennill, D. J. (2014). Individual Distinctiveness in the Fine Structural Features and Repertoire Characteristics of the Songs of White-eared Ground-sparrows. *Ethology*, *120*, 275–286.
- Slabbekoorn, H., & den Boer-Visser, A. (2006). Cities Change the Songs of Birds. *Current Biology*, *16*(23), 2326–2331.
- Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *357*(1420), 493–503.
- Sosa-López, J. R., Mennill, D. J., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Geographic variation and the evolution of song in Mesoamerican rufous-naped wrens *Campylorhynchus rufinucha*. *Journal of Avian Biology*, *44*(1), 27–38.
- Whitehead, H., Rendell, L., Osborne, R. W., & Würsig, B. (2004). Culture and conservation of non-humans with reference to whales and dolphins: review and new directions. *Biological Conservation*, *120*(3), 431–441.



## **Capítulo 2**

### **Variação acústica individual de *Embernagra longicauda***

## INTRODUÇÃO

Em diversas aves, a existência de características que individualizam os componentes de uma população é essencial para a manutenção e conservação das interações sociais (Tibbetts e Dale, 2007). Muitos animais produzem sinais que podem alterar o comportamento dos indivíduos que irão interpretá-los. Estes sinais podem controlar a movimentação de um grupo, alertar sobre algum perigo iminente, atrair potenciais parceiros sexuais, sinalizar comportamentos agressivos e a localização de alimentos (Bradbury e Vehrencamp, 1998). As variações existentes nestes sinais podem auxiliar na discriminação de indivíduos vizinhos e estranhos, machos e fêmeas, familiares e não familiares, adultos e jovens, e ainda de indivíduos dominantes e não dominantes (Blumstein e Munos, 2005; Ryan, 1980, Dragonetti, 2012).

Pistas visuais para a diferenciação individual são utilizadas quando há uma proximidade entre os indivíduos (Dale, 2001). Como alternativa, as pistas sonoras são utilizadas por possibilitarem a identificação entre os indivíduos mesmo com uma longa distância espacial ou temporal entre os mesmos (Wilson e Mennill, 2010). Estratégias de defesa de território e atração de parceiros sexuais são, muitas vezes, baseadas na identificação dos indivíduos a partir de características únicas (Tibbetts e Dale, 2007). Muitos dos animais apresentam características próprias no canto e utilizam desta individualidade para reconhecer predadores e potenciais competidores, com o objetivo de proteção de território ou de parceiros sexuais (e.g.Xia, 2010).

A descrição detalhada das variações no canto pode contribuir para a base de estudos sobre a influência da seleção acústica em Oscines e o processo de transmissão de cantos entre gerações (Briefer, 2010). As espécies podem possuir elementos para diferenciação individual em alguns níveis dentro de uma hierarquia. Segundo Lehongre e colaboradores (2008), as diferenças individuais no canto podem ser devido a variações: inatas, anatômicas no sistema vocal dos indivíduos, nos componentes acústicos do domínio do tempo e da frequência, nas sequências de sílabas que compõem os cantos e no repertório básico de sílabas e cantos de cada indivíduo.

Alguns fatores são destacados por Barker (2008) como determinantes para a evolução e modificação do canto em aves. Dentre estes fatores estão:

vegetação, tamanho corporal, morfologia do bico, filogenia, ruídos ambientais, altura do poleiro, tamanho do território, densidade populacional e seleção sexual. Todos estes fatores podem influenciar tanto na sintaxe do canto quanto nas métricas dos domínios de frequência e tempo.

Dentro da ordem Passeriformes existem duas subordens que são caracterizadas, principalmente, por diferenças anatômicas associadas ao canto. A subordem Oscines tem maior diversidade na região do velho mundo e são aves canoras que necessitam de um período de aprendizagem a partir de estímulos externos como o canto dos próprios pais ou indivíduos adultos que habitam a mesma região (Konishi, 1989). Portanto, aves deste grupo podem apresentar diferenciação individual na estrutura acústica dos cantos (Nelson et.al.,2007). Devido a maior concentração nas regiões temperadas, os Oscines foram o grupo de pássaros que foram mais estudados na área da bioacústica (Kroodsma, et al, 1996). Por outro lado, a subordem Suboscines tem maior ocorrência na região neotropical e é formada por aves cujo repertório do canto, em sua maioria, é uma característica inata (Kroodsma e Konishi, 1991). Poucos trabalhos utilizaram como modelo espécies pertencentes a este grupo, necessitando de mais informações para complementar o conhecimento de história natural e filogenético deste grupo (Kroodsma, et al, 1996).

Vários estudos demonstraram a existência da variação individual em algumas espécies de Oscines da Europa, América do norte e central, além da Ásia e África. Sandoval e colaboradores (2014) investigaram a variação no canto da espécie *Melospiza leucotis* (Emberizidae) da Costa Rica. Trabalhando com três populações diferentes, os autores concluíram que há variação individual dentro de cada população e que esta variação também está presente entre populações. Nelson e Poesel(2007) estudaram *Zonotrichia leucophrys pugetensis* (Emberizidae), que ocorre em toda América do Norte, . Observaram que para cada parte do canto (trinado e notas complexas) a variação era característica para a população (trinado) ou para os indivíduos (notas complexas). Xia e colaboradores (2010) observaram que para os dois tipos de canto (alfa e beta) encontrados para a espécie *Cettia fortipes*, da Ásia, existia variação individual, com uma classificação de 98% a 99% de acerto. Em outro estudo, com a espécie *Laniarius atrococcineus*, realizado na África do Sul, foi encontrado um repertório específico para cada sexo, além da individualidade em

macho, fêmeas e casais. Os autores destacam que a possível função desta variação seria a manutenção do casal (van den Heuvel, 2013).

Poucos estudos foram realizados com espécies pertencentes à subordem dos Suboscines. Bard e colaboradores(2002), descreveram variação acústica no canto de *Hylophylax naevioides*, um Thamnophilidae da América Central. Neste estudo, os autores encontraram uma variação nas métricas dos domínios de frequência e tempo, com uma acurácia de 70%. Entretanto, quando foram testar o reconhecimento entre os indivíduos, utilizando a técnica de *playback*, não foi observada discriminação individual pelos indivíduos. Lovell e Lein (2004) investigaram a variação individual em outra espécie de Suboscine: *Empidonax alnorum* (Tyrannidae), uma espécie migratória que se reproduz na América do Norte e habita a América do Sul no período entre a reprodução. Os autores encontraram uma pequena variação entre indivíduos de apenas um canto. Outros trabalhos também foram realizados e observaram como resultado a variação individual, com as espécies *Troglodytes brunneicollis*, *Luscinia megarhynchos*, *Pipilo crissalis* e *Lipaugus vociferans* (Sosa-López et.al. ,2013; Hultsch et al., 1981; Benedict et.al., 2009; Fitzsimmons, et. al., 2008).

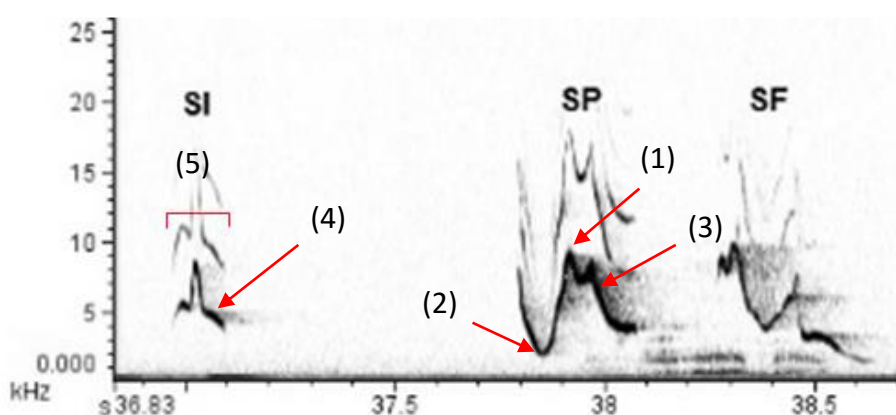
A espécie *Embernagra longicauda* é territorialista, utilizando dos duetos para defender seus territórios, os quais são considerados pequenos. Em sua grande maioria, os indivíduos executam os duetos em poleiros altos e expostos (Freitas e Rodrigues, 2012). O canto dos machos é considerado estereotipado, composto por duas sílabas, em geral. Enquanto que no dueto sincronizado, o macho executa duas sílabas e em seguida a fêmea reproduz uma (Freitas, 2008, 2015), caracterizando um dueto antifonal (Hall, 2004; Catchpole e Slater, 2008). O comportamento de vocalização em duetos é muito associado às espécies que são monogâmicas e territorialistas, sugerindo que possa ter uma função de manutenção do território e conservação do parceiro sexual (Langmore, 1998; Hall, 2004; Catchpole e Slater 2008). Portanto, espera-se que espécies que cantam em duetos, como *Embernagra longicauda*, também apresentem variações individuais acústicas, uma vez que os componentes de um casal necessitam identificar seu parceiro para auxiliar na territorialidade e na manutenção do casal. A partir disso, este capítulo tem como objetivo investigar a variação acústica entre os indivíduos machos de *Embernagra longicauda* de uma população da Serra do Cipó, Minas Gerais.

## MÉTODOS

### Análise de dados

As gravações foram analisadas pelo programa de análises bioacústicas Raven (Raven Pro 1.4, para Windows). O canto padrão de machos de *E. longicauda* foi dividido em duas sílabas básicas. As medidas relativas ao domínio da frequência e do tempo foram feitas para as duas sílabas separadamente, totalizando cinco variáveis acústicas. Estas variáveis são: (1) Maior frequência (Hz); (2) Menor frequência (Hz); (3) Frequência central (Hz); (4) Pico de frequência (Hz); (5) Tempo total da sílaba (s) (Figura 1). Estas variáveis foram escolhidas com base em estudos que investigaram a variação individual em outras espécies e pela revisão realizada por Barker (2008).

Foram escolhidas as sílabas reproduzidas por todos os seis indivíduos estudados. A mensuração das variáveis foi realizada nas 10 primeiras sílabas de uma gravação, eliminando aquelas que apresentavam algum tipo de interferência sonora ou estavam com baixa qualidade de gravação (Wilson e Mennill, 2010).



**Figura 1: Variáveis utilizadas para os testes de diferenciação do canto. SI – Sílaba introdutória, SP – Sílaba principal, SF – Sílaba da fêmea. Variáveis mensuradas: (1) Maior frequência (Hz); (2) Menor frequência (Hz); (3) Frequência central (Hz); (4) Pico de frequência (Hz); (5) Tempo total da sílaba (s)**

Foram calculados, ainda, mais dois índices para detectar quais variáveis apresentam maior significância para a variação entre indivíduos da população. O primeiro destes índices é o PIC (*Potential for Individual Coding scores*), sugerido por Sandoval (2014) e Vignal (2004). Este índice se baseia no coeficiente de variação das variáveis acústicas entre machos ( $CV_b$ ) e o coeficiente de variação em apenas um macho ( $CV_w$ ). A partir destes valores é

feita uma razão ( $CV_b/mCV_w$ ), sendo  $mCV_w$  uma média dos valores de  $CV_w$  de todos os machos. Quando o PIC é maior que 1.0, a variável tem potencial para a distinção individual.

O outro índice utilizado foi a Entropia ( $2^H$ ). Este índice foi baseado na teoria da informação e desenvolvido para sistemas de comunicação animal. Ele fornece uma medida de capacidade de informação que uma variável acústica possui para ser uma assinatura individual (Beecher, 1982; Aubin, 2004). O valor  $2^H$  é uma estimativa teórica do número de potenciais assinaturas viáveis para um determinado parâmetro de individualidade. A fórmula utilizada para calculá-lo foi:

$$H = \log_2 \left( \sqrt{\frac{F_n(k-1)}{k(n-1)}} \right) \quad (1)$$

Onde o  $F_n$  é o valor de Fisher para cada variável,  $n$  é o número de cantos total e  $k$  é o número de indivíduos. Posteriormente, o valor de “H” é utilizado como expoente para base 2 e, assim, gera o valor da entropia por variável. Para ambos os índices foram utilizadas todas as sílabas encontradas para os seis machos estudados. Os dois índices foram calculados utilizando o software Microsoft Excel 2013 (64 bits).

### **Análises estatísticas**

Para cada conjunto de parâmetros por macho gravado, foi realizada uma análise de ordenação do tipo PCA (Análise de Componentes Principais), utilizada para ordenar as cinco variáveis em componentes que caracterizam o máximo possível da variação dos dados (Gotelli, 2011). Posteriormente, foram retirados os valores referentes ao componente principal gerado pelo PCA com maior poder de explicação do padrão de variação dos dados e foi feito um teste estatístico do tipo GLM (Modelo Linear Generalizado), utilizando distribuição gaussiana e o teste “F”. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R Studio (R version 3.2.0, 2015).

## RESULTADOS

A partir da classificação do repertório de sílabas realizada no capítulo 1, foram selecionadas para as análises apenas as sílabas principais (SP) A e C, uma vez que foram as únicas executadas por todos os seis indivíduos estudados. Na tabela 1, estão representadas as médias, juntamente com os desvios padrão, de cada variável mensurada.

O resultado do PCA mostrou que os componentes 1 e 2 gerados explicaram em conjunto 65,52% da variação dos dados (41,2% e 24,31%, respectivamente). Para o componente 1, todas as variáveis influenciam positivamente, enquanto que para o componente 2, as variáveis “duração”, “frequência máxima” e “frequência mínima” influenciam negativamente (Tabela 2; Figura 2).. O resultado da análise mostrou que há diferenças acústicas entre os indivíduos estudados ( $F_{5;111} = 17,218$ ;  $p < 0,001$ ).

Para todas as variáveis utilizadas, os valores respectivos de PIC foram acima de um ( $PIC > 1$ , Figura 3). Sendo a variável “frequência central” a que apresentou menor valor ( $PIC = 5,94$ ) e a variável “frequência máxima” a que apresentou maior valor ( $PIC = 6,22$ ). Ao mesmo tempo, todas as variáveis apresentaram valores altos para entropia ( $2^H$ , Figura 3), sendo a “frequência central” com maior valor ( $2^H = 17,19$ ) e a “frequência máxima” o menor valor ( $2^H = 7,90$ ).

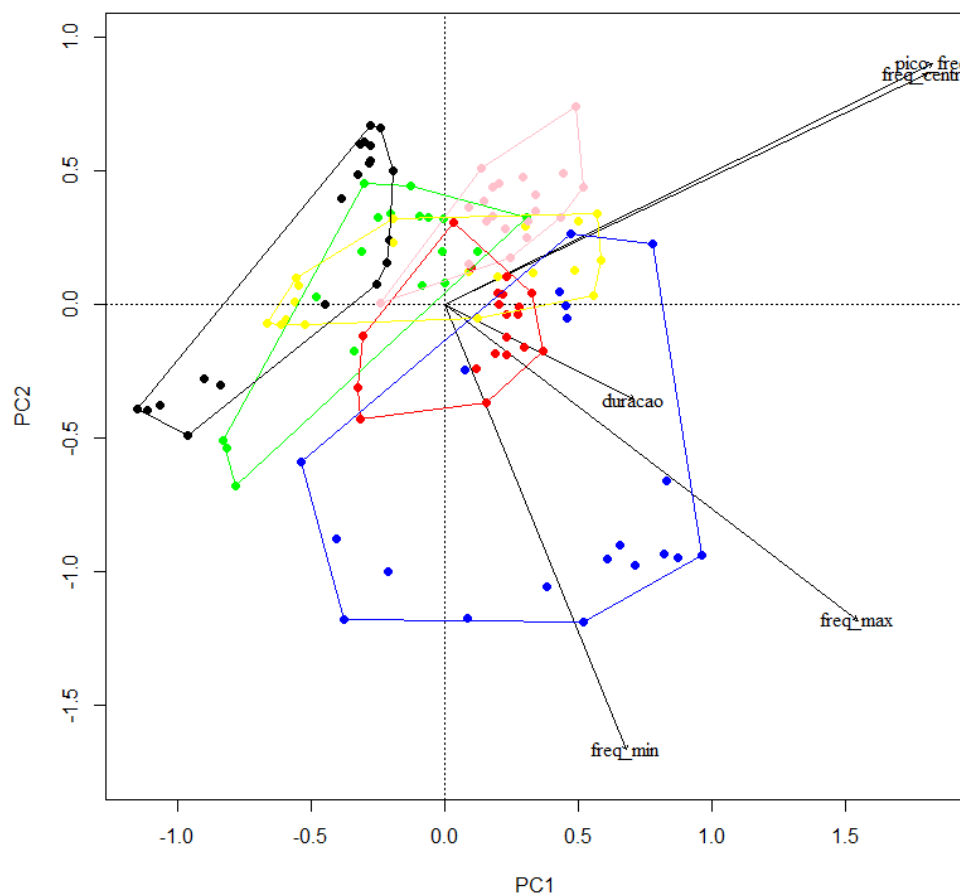
Tabela 1: Médias  $\pm$  Desvio Padrão das cinco variáveis mensuradas a partir de duas sílabas principais por indivíduo.

Indivíduos	Sílabas	Duração (s)	Freq. Min (Hz)	Freq. Max (Hz)	Freq. Central (Hz)	Pico de Freq. (Hz)
pt_ver	A	0.327 $\pm$ 0.0042	1663.52 $\pm$ 207.12	8864.94 $\pm$ 75.27	5006.25 $\pm$ 559.36	5493.75 $\pm$ 1433.55
	C	0.2733 $\pm$ 0.0126	1937.85 $\pm$ 159.66	8521.62 $\pm$ 117.50	6975 $\pm$ 172.30	7200 $\pm$ 158.11
br_ver	A	0.3238 $\pm$ 0.0039	2043.24 $\pm$ 182.51	9510.82 $\pm$ 76.91	6900 $\pm$ 393.30	7200 $\pm$ 452.42
	C	0.2688 $\pm$ 0.0073	2104.26 $\pm$ 101.66	9426.54 $\pm$ 225.31	6900 $\pm$ 629.98	6993.75 $\pm$ 619.03
am_ved	A	0.3003 $\pm$ 0.0054	2061.6 $\pm$ 100.55	9090.61 $\pm$ 59.33	6164.06 $\pm$ 1024.22	6210.93 $\pm$ 1481.25
	C	0.2599 $\pm$ 0.0045	2002.68 $\pm$ 66.74	8935.13 $\pm$ 125.62	6675 $\pm$ 493.71	7293.75 $\pm$ 285.72
az_ved	A	0.3171 $\pm$ 0.0035	3234.62 $\pm$ 147.01	9938.38 $\pm$ 156.49	6975 $\pm$ 947.03	7612.5 $\pm$ 493.71
	C	0.2753 $\pm$ 0.0173	2317.53 $\pm$ 452.37	9661.12 $\pm$ 108.30	6843.75 $\pm$ 1136.22	6731.25 $\pm$ 1226.18
am_az	A	0.3119 $\pm$ 0.0045	1720.39 $\pm$ 229.24	9639.81 $\pm$ 49.66	7425 $\pm$ 406.97	7518.75 $\pm$ 548.08
	C	0.2651 $\pm$ 0.0038	1832.53 $\pm$ 111.12	9044.21 $\pm$ 77.68	6125 $\pm$ 187.5	6000 $\pm$ 755.83
br_az	A	0.3269 $\pm$ 0.0079	1443.25 $\pm$ 151.92	9510.81 $\pm$ 94.00	6956.25 $\pm$ 868.05	8025 $\pm$ 557.61
	C	0.3049 $\pm$ 0.0045	1869.66 $\pm$ 129.99	9071.06 $\pm$ 68.68	7406.25 $\pm$ 132.58	7593.75 $\pm$ 296.46

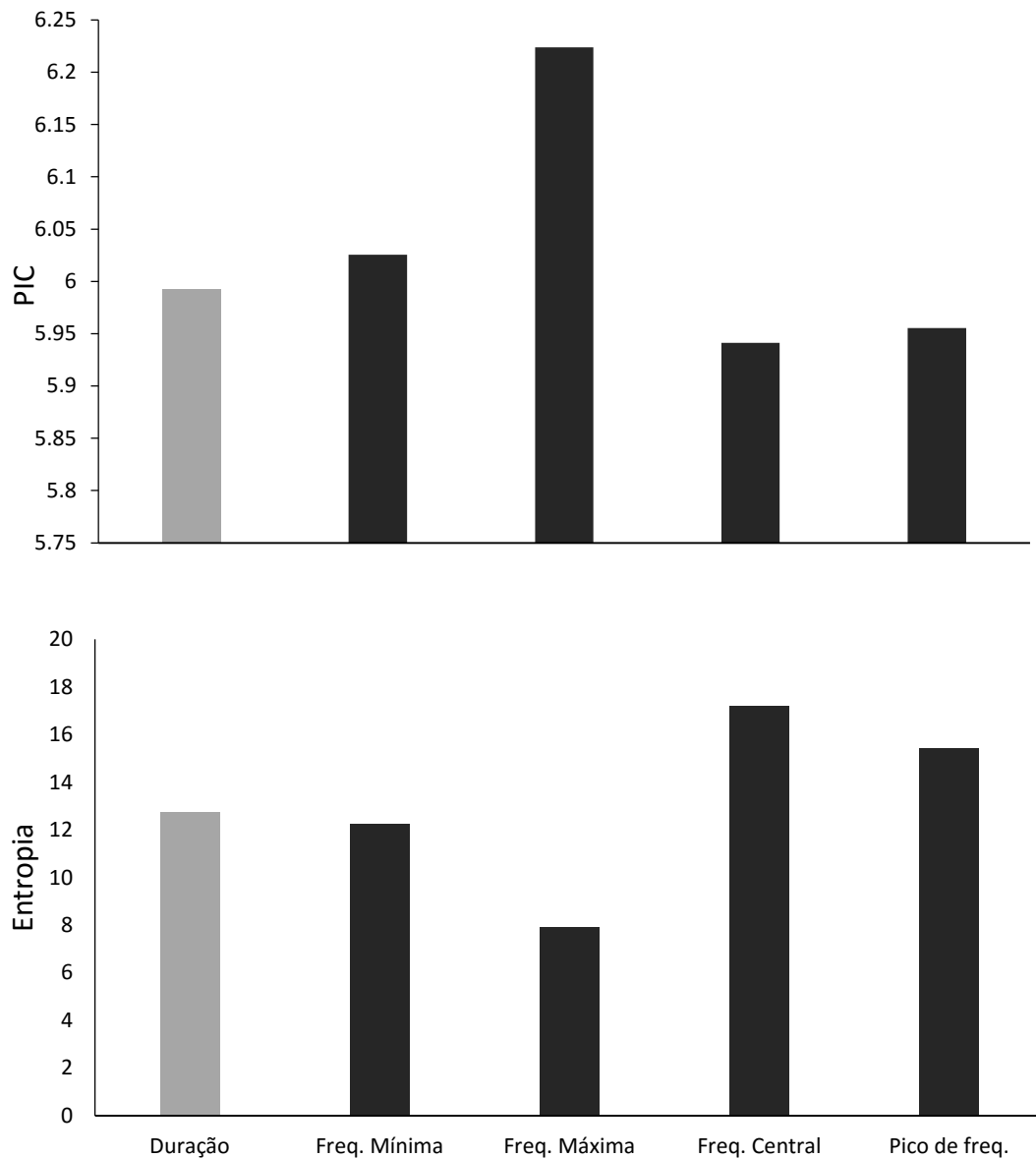


**Tabela 2: Valores gerados a partir da Análise de Componentes Principais (PCA)**

	Principais componentes				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Poder de explicação	0.412	0.2431	0.2214	0.07889	0.04444
Proporção acumulativa	0.412	0.6552	0.8767	0.95556	1
<b>Poder de explicação dos componentes principais pelas variáveis</b>					
Duração	0.7055	-0.355	1.9604	0.5393	0.2422
Freq. Mínima	0.678	-1.6654	-1.0288	0.7156	0.1137
Freq. Máxima	1.5443	-1.1813	0.3567	-0.9287	-0.2159
Freq. Central	1.8036	0.8626	-0.5319	-0.1504	0.7168
Pico de freq.	1.8241	0.9035	-0.01518	0.4604	-0.6619



**Figura 2: Componentes principais gerados a partir do PCA. As cores indicam os pontos pertencentes ao mesmo indivíduo: preto = pt\_ver; vermelho = br\_ver; verde = am\_ved; azul = az\_ved; rosa = az\_br; amarelo = am\_az.**



**Figura 3: Valores de PIC (*Potential for Individual Coding scores*, acima) e Entropia (abaixo) para cada variável acústica. Cinza = variável do domínio do Tempo; Preto = variável do domínio da frequência.**

## DISCUSSÃO

Os resultados apresentados demonstraram a ocorrência de variação individual de canto na espécie *Embernagra longicauda*, principalmente ao se considerar os parâmetros acústicos pertencentes ao domínio do tempo e da frequência, corroborando a hipótese inicial de que a espécie apresentasse variações individuais acústicas, uma vez que os componentes de um casal necessitam identificar seu parceiro para auxiliar na territorialidade e na manutenção do casal. No primeiro capítulo, foram observadas diferenças na composição do repertório entre alguns indivíduos. Como Lehongre e

colaboradores (2008) definiram, a variação individual ocorre em diversos níveis dentro do campo dos sinais sonoros, dois destes níveis foram investigados neste trabalho: a variação nos domínios de frequência e de tempo, e também no repertório básico de sílabas, encontrando-se variação individual em ambos os casos.

Os índices PIC e Entropia destacaram, respectivamente, as variáveis “frequência máxima” e “frequência central” como as duas variáveis que mais explicam a variação entre os indivíduos de *Embernagra longicauda*. Contudo, as outras variáveis também apresentaram valores que evidenciam a importância delas para a identificação individual. Juntamente com os resultados encontrados para o PCA, as mesmas variáveis e a variável “pico de frequência” também apresentam uma influência positiva para o primeiro componente principal, que explica 42% do padrão de variação dos dados.

A variação individual, trabalhada por muitos autores, é a base para o reconhecimento do indivíduo dentro de uma população sendo uma estratégia vantajosa para o reconhecimento de familiares, parceiros sexuais e potenciais competidores (ex.: Blumstein e Munos, 2005). A variação interindividual é bem documentada para machos territorialistas (Naguib e Todt, 1998), fato que suporta ainda mais os resultados encontrados para a espécie *Embernagra longicauda*, uma vez que esta espécie também apresenta este comportamento (Freitas, 2008; 2012).

A variação individual encontrada nas vocalizações do *Embernagra longicauda* reforça ainda a função do comportamento de cantar em dueto. O reconhecimento dos membros de um casal é essencial para que o dueto ocorra e, conseqüentemente, para a manutenção do território e do sucesso reprodutivo (revisado por Hall, 2004). Além disso, o reconhecimento individual pode auxiliar no reconhecimento de possíveis invasores de território ou potenciais competidores pelo parceiro sexual (Blumstein e Munos, 2005; Dragonetti, 2012, Cardoso, 2015, em preparo). Desta forma, a variação individual suporta uma série de comportamentos e estratégias de sobrevivência e reprodução importantes para a manutenção da população da espécie.

A variação individual pode ser base para diversos tipos de estudos ecológicos e filogenéticos, uma vez que esta característica está diretamente ligada a questões culturais e genéticas, além de processos evolutivos como a seleção sexual (Sandoval e Mennill 2014; Catchpole e Slater, 2008). O fato das vocalizações necessitarem de um período de aprendizagem nos Oscines determina uma variação interpopulacional, uma vez que está diretamente relacionada com os movimentos migratórios de indivíduos em uma população, que irá adicionar ou remover uma determinada característica da vocalização daquele sistema populacional. O isolamento entre populações, seja por causas antrópicas ou naturais, pode levar a uma diferenciação no sistema acústico entre populações (Laiolo, 2005, 2006, 2007; Rayn, 2006, Whitehead, H. et al., 2004; Slabberkoorn e Smith, 2002). Um estudo realizado com a espécie *Poecile atricapillus* (Família: Paridae) demonstrou que as diferenças acústicas individuais são importantes para a manutenção da dinâmica social entre indivíduos de territórios vizinhos (Foote, 2008). Em outro estudo, Sandoval e Mennil (2014), observaram diferenças nas vocalizações entre populações de *Melospiza kieneri* (Família: Emberizidae).

Trabalhos sobre variação individual a partir das vocalizações podem ser utilizados para desenvolver métodos alternativos para o monitoramento populacional. A individualidade vocal pode ser utilizada como alternativa às técnicas de marcação, principalmente quando se trabalha com espécies sensíveis a distúrbios ou difíceis de serem detectadas. Além disso, pode ser uma solução quando a técnica de captura envolve problemas logísticos ou éticos (revisado por Terry, et al., 2005). Em um trabalho que objetivou comparar os métodos de marcação física (anilhas) e métodos utilizando a variação individual acústica para monitoramento populacional, Laiolo e colaboradores (2007) conseguiram um sucesso de 100% na classificação individual pelas vocalizações, quando comparadas com os métodos tradicionais. Os dois métodos foram idênticos para a avaliação de fidelidade de território e movimentos de dispersão, enquanto que para taxa de relocação, o método que utiliza o reconhecimento por som foi significativamente melhor. Outros autores também realizaram trabalhos que buscavam testar a possibilidade do uso da variação vocal para trabalhos de monitoramento populacional (Galeotti e Pavan,

1991; Terry and McGregor, 2002; Galeotti e Sacchi, 2001). Todos eles obtiveram bons resultados, demonstrando ser uma boa alternativa, que pode complementar as técnicas já utilizadas.

Podemos utilizar, então, os resultados deste trabalho como base para estimar o tamanho populacional de *Embernagra longicauda* em uma determinada área utilizando as variáveis “frequência máxima” e “frequência central”. Entretanto, para realizar um trabalho deste tipo seriam necessários testes preliminares que validassem o sucesso na identificação de indivíduos a partir do reconhecimento pelo canto, testando a efetividade a partir destas variáveis, considerando a possível variação entre anos e estações.

O presente estudo pode servir como base para futuros trabalhos que tentem responder sobre a dinâmica entre os componentes de um casal e o uso da variação individual para o reconhecimento dos indivíduos na dinâmica social desta espécie. Além de estudos comportamentais mais aprofundados, a dinâmica de escolha do parceiro sexual, da defesa do território e do comportamento de dueto.

## REFERÊNCIAS

- Aubin, T., Mathevon, N., Da Silva, M. L., Vielliard, J. M. E., & Sebe, F. (2004). How a simple and stereotyped acoustic signal transmits individual information: The song of the White-browed Warbler *Basileuterus leucoblepharus*. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 76(2), 335–344.
- Bard, S. C., Hau, M., Wikelski, M., & Wingfield, J. C. (2002). Vocal distinctiveness and response to conspecific playback in the spotted antbird, a neotropical suboscine. *The Condor*, 104(2), 387–394.
- Barker, N. K. (2008). Bird Song Structure and Transmission in the Neotropics: Trends, Methods and Future Directions. *Ornitologia Neotropical*, 19(2), 175–199.
- Beecher, M. D. (1982). Signature systems and kin recognition. *American Zoologist*, 22, 477–490.
- Benedict, L., & McEntee, J. P. (2009). Context, Structural Variability and Distinctiveness of California Towhee (*Pipilo crissalis*) Vocal Duets. *Ethology*, 115(1), 77–86.
- Blumstein, D. T., & Munos, O. (2005). Individual, age and sex-specific information is contained in yellow-bellied marmot alarm calls. *Animal Behaviour*, 69(2), 353–361.
- Bradbury, J. W., & S. L. Vehrencamp. 1998. Principles of animal communication. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Briefer, E., Osiejuk, T. S., Rybak, F., & Aubin, T. (2010). Are bird song complexity and song sharing shaped by habitat structure? An information theory and statistical approach. *Journal of Theoretical Biology*, 262(1), 151–164.
- Catchpole, C. K., & Slater, P. J. B. (2008). *Bird Song: Biological Theme and Variations* (Second). Cambridge.
- Cardoso, I. M. (2015). Resposta comportamental a vizinhos e estranhos em *Embernagra longicauda* (Aves, Passeriformes). *Dissertação de mestrado*. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Dale, J., Lank, D. B., & Reeve, H. K. (2001). Signaling individual identity versus quality: a model and case studies with ruffs, queleas, and house finches. *The American Naturalist*, 158(1), 75–86.
- Dragonetti, M., Caccamo, C., Pollonara, E., Baldaccini, N.E., Giunchi, D. (2012). A weak individual signature might not allow chick call recognition by parent Stone Curlews *Burhinus oedicnemus*. *Bioacoustics: the international journal of animal sound and its recording*. 22(1), 17-32.

- Eakle, W. L., Mannan, R. W., & Grubb, T. G. (1989). Identification of individual breeding bald eagles by voice analysis. *The Journal of Wildlife Management*, 53(2), 450–455.
- Fitzsimmons, L. P., Barker, N. K., & Mennill, D. J. (2008). Individual variation and lek-based vocal distinctiveness in songs of the screaming piha (*Lipaugus vociferans*), a suboscine songbird. *The Auk*, 125(4), 908–914.
- Foote, J. R., Fitzsimmons, L. P., Mennill, D. J., & Ratcliffe, L. M. (2008). Male chickadees match neighbors interactively at dawn: Support for the social dynamics hypothesis. *Behavioral Ecology*, 19(6), 1192–1199.
- Freitas, G. H. S. (2015). Variação geográfica morfológica e vocal de algumas aves endêmicas dos topos de montanha do leste do Brasil. *Tese de Doutorado*. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Freitas, G. H. S., & Rodrigues, M. (2008). Canário-rabudo *Embernagra longicauda*: uma ave típica das montanhas do leste do Brasil. *Atualidades Ornitológicas*, 141, 10–11.
- Freitas, G. H. S., & Rodrigues, M. (2012). Territory distribution and habitat selection of the Serra Finch (*Embernagra longicauda*) in Serra do Cipó, Brazil. *The Wilson Journal of Ornithology*, 124(1), 57–65.
- Galeotti, P., & Pavan, G. (1991). Individual recognition of male Tawny owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethology Ecology & Evolution*, 3(December 2012), 113–126.
- Galeotti, P., & Sacchi, R. (2001). Turnover of territorial Scops Owls *Otus scops* as estimated by spectrographic analyses of male hoots. *Journal of Avian Biology*, 32(3), 256–262.
- Hall, M. L. (2004). A review of hypotheses for the functions of avian duetting. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55(5), 415–430.
- Hultsch, H., & Todt, D. (1981). Repertoire sharing and song-post distance in nightingales (*Luscinia megarhynchos* B.). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8, 183–188.
- Konishi, M. (1989). Birdsong for Neurobiologists. *Neuron*, 3, 541–549.
- Kroodsmas, D. E., & Konishi, M. (1991). A suboscine bird (eastern phoebe, *Sayornis phoebe*) develops normal song without auditory feedback. *Animal Behaviour*, 42, 477–487.
- Laiolo, P., & Jovani, R. (2007). The emergence of animal culture conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1), 5.

- Laiolo, P., & Tella, J. L. (2005). Habitat fragmentation affects culture transmission: Patterns of song matching in Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 1183–1193.
- Laiolo, P., & Tella, J. L. (2006). Landscape bioacoustics allow detection of the effects of habitat patchiness on population structure. *Ecology*, 87(5), 1203–1214.
- Laiolo, P., Vögeli, M., Serrano, D., & Tella, J. L. (2007). Testing acoustic versus physical marking: Two complementary methods for individual-based monitoring of elusive species. *Journal of Avian Biology*, 38(6), 672–681.
- Langmore, N. E. (1998). Functions of duet and solo songs of female birds. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(4), 136–40.
- Lehongre, K., Aubin, T., Robin, S., & Del Negro, C. (2008). Individual signature in canary songs: Contribution of multiple levels of song structure. *Ethology*, 114(5), 425–435.
- Lovell, S. F., & Lein, M. R. (2004). Song variation in a population of Alder Flycatchers. *Journal of Field Ornithology*, 75(April 2003), 146–151.
- Marler, P., & Pickert, R. (1984). Species-universal microstructure in the learned song of the swamp sparrow (*Melospiza georgiana*). *Animal Behaviour*, 32(3), 673–689.
- Naguib, M., & Todt, D. (1998). Recognition of neighbors' song in a species with large and complex song repertoires: the Thrush Nightingale. *Journal of Avian Biology*, 29(2), 155–160.
- Nelson, D. a., & Poesel, A. (2007). Segregation of information in a complex acoustic signal: individual and dialect identity in white-crowned sparrow song. *Animal Behaviour*, 74(4), 1073–1084.
- Ryan, M. J. (1980). Female mate choice in a neotropical frog. *Science*, 209(Jul.), 523–525.
- Ryan, S. J. (2006). Diversity: The Role of Culture in Conservation Planning for Small or Endangered Populations. *Conservation Biology*, 20(4), 1321–1324.
- Sandoval, L., & Mennill, D. J. (2014). A quantitative description of vocalizations and vocal behaviour of the rusty-crowned ground-sparrow (*Melospiza kieneri*). *Ornitologia Neotropical*, 25, 219–230.
- Sandoval, L., Méndez, C., & Mennill, D. J. (2014). Individual Distinctiveness in the Fine Structural Features and Repertoire Characteristics of the Songs of White-eared Ground-sparrows. *Ethology*, 120, 275–286.



- Slabbekoorn, H., & Smith, T. B. (2002). Bird song, ecology and speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 357(1420), 493–503.
- Sosa-López, J. R., Mennill, D. J., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2013). Geographic variation and the evolution of song in Mesoamerican rufous-naped wrens *Campylorhynchus rufinucha*. *Journal of Avian Biology*, 44(1), 27–38.
- Terry, A. M. R., Peake, T. M., & McGregor, P. K. (2005). The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in Zoology*, 2(1), 10.
- Tibbetts, E. a, & Dale, J. (2007). Individual recognition: it is good to be different. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(10), 529–37.
- van den Heuvel, I. M., Cherry, M. I., & Klump, G. M. (2013). Individual identity, song repertoire and duet function in the Crimson-breasted Shrike (*Laniarius atrococcineus*). *Bioacoustics*, 22(1), 1–15.
- Vignal, C., Mathevon, N., & Mottin, S. (2004). Audience drives male songbird response to partner's voice. *Nature*, 430(July), 448–451.
- Warrington, M. H., McDonald, P. G., Rollins, L. A., & Griffith, S. C. (2014). All signals are not equal: Acoustic signalling of individuality, sex and breeding status in a cooperative breeder. *Animal Behaviour*, 93, 249–260.
- Whitehead, H., Rendell, L., Osborne, R. W., & Würsig, B. (2004). Culture and conservation of non-humans with reference to whales and dolphins: review and new directions. *Biological Conservation*, 120(3), 431–441.
- Wilson, D. R., & Mennill, D. J. (2010). Black-capped chickadees, *Poecile atricapillus*, can use individually distinctive songs to discriminate among conspecifics. *Animal Behaviour*, 79(6), 1267–1275.
- Xia, C., Xiao, H., & Zhang, Y. (2010). Individual Variation in Brownish-Flanked Bush Warbler Songs. *The Condor*, 112(3), 591–595.