

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NO CANTO DE ANÚNCIO DE
SCINAX FUSCOMARGINATUS (LUTZ, 1925) (ANURA,
HYLIDAE): UMA ANÁLISE AO LONGO DA NOITE E DAS
ESTAÇÕES REPRODUTIVAS**

Geane Rodrigues de Souza

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes

Nova Xavantina-MT
Fevereiro, 2022

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NO CANTO DE ANÚNCIO DE
SCINAX FUSCOMARGINATUS (LUTZ, 1925) (ANURA,
HYLIDAE): UMA ANÁLISE AO LONGO DA NOITE E DAS
ESTAÇÕES REPRODUTIVAS**

Geane Rodrigues de Souza

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes

Nova Xavantina-MT
Fevereiro, 2022

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

This study was partially funded by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazilian Ministry of Education)

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

- S719v SOUZA, Geane Rodrigues de Souza.
Variação Individual no Canto de Anúncio de Scinax
Fuscomarginatus (Lutz, 1925) (Anura, Hylidae): Uma Análise ao
Longo da Noite e das Estações Reprodutivas / Geane Rodrigues
de Souza Souza - Nova Xavantina, 2021.
36 f.; 30 cm.
- Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu
(Mestrado Acadêmico) Ecologia e Conservação, Faculdade de
Ciências Agrárias Biológicas e Sociais Aplicadas, Câmpus de
Nova Xavantina, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021.
Orientador: Alessandro Ribeiro de Moraes
1. Canto-de-Anúncio. 2. Reconhecimento-Individual. 3.
Bioacustica. 4. Comportamento. 5. Seleção-Sexual. I. Geane
Rodrigues de Souza Souza. II. Variação Individual no Canto de
Anúncio de Scinax Fuscomarginatus (Lutz, 1925) (Anura,
Hylidae): Uma Análise ao Longo da Noite e das Estações
Reprodutivas: .
- CDU 597.842:591.166.1

TERMO DE APROVAÇÃO**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NO CANTO DE ANÚNCIO DE SCINAX
FUSCOMARGINATUS (LUTZ, 1925) (ANURA, HYLIDAE): UMA
ANÁLISE AO LONGO DA NOITE E DAS ESTAÇÕES REPRODUTIVAS****Geane Rodrigues de Souza**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Aprovado em [27] de [Outubro] de [2021].

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes
Instituto Federal Goiano (IFG)

Prof. Dr. Fábio Hepp Silva Fernandes dos Santos
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr. Fabricius Maia C. B. Domingos
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Prof. Dr. Fabiano Corrêa
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

Prof. Dr. Jânio Cordeiro Moreira
Instituto Federal Goiano (IFG)

AGRADECIMENTOS

Estou muito feliz por encerrar mais um ciclo da minha formação, sou grata pelos anos que passei e todo o conhecimento adquirido durante esse processo do mestrado, apesar dos percalços do caminho.

Inicialmente agradeço a minha família pelo apoio que sempre me deram, e os incentivos em sempre buscar mais conhecimento.

Gostaria de agradecer também ao meu orientador, que me aceitou e acolheu em uma área totalmente nova para mim, sempre educado e paciente para ensinar apesar da distância geográfica que havia entre nós.

Grata pela ajuda que recebi do meu amigo Seixas Rezende pessoa que possui muito conhecimento prático (apesar da pouca idade), obrigada pelos ensinamentos.

Agradeço ao Taina Andreani que além da enorme ajuda nas análises também me forneceu muitas ideias para fazer esse trabalho andar, grata pela paciência e bom humor.

Gostaria de agradecer a minha turma de mestrado (turma de 2019), que apesar da distância (cada um em um canto desse Mato grosso) guardo uma lembrança boa de cada um de vocês.

Agradeço a Capes pelo financiamento para realizar este trabalho, também a PPGEC de Nova Xavantina por fornecer essa oportunidade de apreender mais.

Por fim, sou grata a todos que direta ou indiretamente ajudaram para a realização deste trabalho (difícil citar todos aqui).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	3
2.2. ESPÉCIE DE ESTUDO.....	4
2.3. COLETA DE DADOS E ANÁLISES.....	6
2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	7
3. RESULTADOS.....	9
4. DISCUSSÃO.....	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

RESUMO

Produzidas comumente durante a época de reprodução as vocalizações de anfíbios anuros são uma das principais formas de comunicação do grupo e são utilizadas principalmente para atração de parceiras reprodutivas e para defesa de territórios. Nosso trabalho possui uma abordagem que abrange a variação acústica em vários níveis de organização para uma população de *Scinax fuscomarginatus*, em que acompanhamos durante seis estações reprodutivas. Avaliamos e mensuramos as variações intraindividual, interindividual e ao longo do tempo (da noite e dos anos). Tentamos entender quais são as fontes de variação dos parâmetros acústicos, se são de origem ambiental como a temperatura, de fontes morfológicas como tamanho ou peso dos indivíduos, ou se são de origem comportamental como seleção sexual e reconhecimento individual. Avaliamos as características acústicas dos cantos de anúncio de 101 indivíduos da localidade de Rio Verde - GO. Identificamos que todos os parâmetros acústicos do canto de anúncio podem ser usados para o reconhecimento individual, sendo a frequência máxima o que melhor representa esse efeito. Tanto a condição corporal dos indivíduos, temperatura do ambiente e as estações reprodutivas influenciaram nos parâmetros acústicos dos cantos de anúncio. Observamos que com exceção da frequência máxima, todos os outros parâmetros acústicos foram influenciados, sendo negativamente pela temperatura do ambiente (duração do canto, número de pulsos, frequência dominante e frequência mínima) e positivamente (taxa de pulso e taxa de canto) ao longo das estações reprodutivas. Já ao longo da noite com exceção da frequência mínima, nós observamos que todos os parâmetros acústicos do canto de anúncio de *S. fuscomarginatus* foram classificados como estáticos ou intermediários, e que exceto a duração do canto e a taxa de pulso, os demais parâmetros acústicos variaram significativamente ao longo dos distintos períodos da noite. Este estudo fornece dados sobre a variação das características acústicas *S. fuscomarginatus* e nós discutimos as suas implicações para a evolução do sinal acústico, escolha do parceiro reprodutivo, para fins taxonômicos e função e mecanismos da comunicação acústica. Trabalhos com dados tão completos para uma mesma espécie são pouco frequentes, mas de suma importância para entender a dinâmica comportamental da população.

Palavras-chave: canto-de-anúncio, comportamento, reconhecimento-individual, seleção-sexual.

ABSTRACT

Commonly produced during the breeding season, anuran vocalization are one of the group's main forms of communication and are mainly used to attract reproductive partners and to defend territories. Our work has an approach that covers the acoustic variation at various levels of organization for a population of *Scinax fuscomarginatus*, which we followed during six breeding seasons. We assessed and measured intra-individual, inter-individual and time (overnight and year) variations. We aimed at understanding the sources of variation in acoustic parameters, and whether they are correlated with environmental variables such as temperature, morphological variables such as size or weight of individuals, or whether they have a more important behavioral component such as sexual selection and individual recognition. We evaluated the acoustic characteristics of the advertisement call of 101 individuals from the locality of Rio Verde - GO. We identified that all acoustic parameters of the announcement call can be used for individual recognition, with maximum frequency being the one that best represents this effect. Both the individuals' body condition, ambient temperature and the reproductive seasons influenced the acoustic parameters of the advertisement call. We observed that, with the exception of Maximum Frequency, all other acoustic parameters were negatively influenced by local temperature (call duration, number of pulses, dominant frequency and minimum frequency) and positively (pulse rate and singing rate) throughout the breeding seasons. During the night, with the exception of the minimum frequency, we observed that all acoustic parameters of *S. fuscomarginatus* announcement call were classified as static or intermediate, and that, except for call duration and pulse rate, the other acoustic parameters varied significantly over the different periods of the night. This study provides data on the variation of *S. fuscomarginatus* acoustic characteristics and we discuss its implications for acoustic signal evolution, reproductive partner choice, for taxonomic purposes, and the function and mechanisms of acoustic communication. Works with such complete data for the same species are infrequent, but of paramount importance to understand the population's behavioral dynamics.

Keywords: advertisement call, behavior, individual recognition, sexual selection.

VARIAÇÃO INDIVIDUAL NO CANTO DE ANÚNCIO DE SCINAX FUSCOMARGINATUS (LUTZ, 1925) (ANURA, HYLIDAE): UMA ANÁLISE AO LONGO DA NOITE E DAS ESTAÇÕES REPRODUTIVAS

A ser submetido para publicação no periódico: **Bioacoustics ou Journal of Herpetology**

1. INTRODUÇÃO

Para os anuros, as vocalizações são estritamente importantes, pois representam uma das principais formas de comunicação do grupo, especialmente durante o período reprodutivo (Gerhardt, 1991; Reichert, 2013; Bee et al., 2016). Em anuros, as vocalizações são classificadas baseadas no contexto em que são emitidas (Köhler et al., 2017), sendo o canto de anúncio o mais frequente (Köhler et al., 2017; Guerra et al., 2018). O canto de anúncio, cujas principais funções são o reconhecimento específico e a atração de parceiras reprodutivas (Pettitt et al., 2013; Arini et al., 2016; Bee et al., 2016), é um sinal espécie-específico e, por isso, pode ser útil em estudos comportamentais, evolutivos e taxonômicos (Blair, 1964; Pombal e Bastos, 2003; Glaw et al., 2010; Bee et al., 2013; Köhler et al., 2017; Tonini et al., 2020).

Os parâmetros acústicos dos cantos podem ser classificados como espectrais e temporais, conforme a sua estrutura e fonte de origem (Köhler et al., 2017). Os parâmetros espectrais são aqueles relacionados à frequência do canto, por exemplo, as frequências dominante, máxima e mínima (Bee et al., 2013; Andreani et al., 2020). Por outro lado, os parâmetros temporais são aqueles relacionados a características do canto ao longo do tempo, por exemplo, duração, taxa de pulso e taxa de emissão de cantos (Bee et al., 2013; Andreani et al., 2020). Atualmente, há um número considerável de estudos empíricos que descreveram a influência de fatores ambientais, morfológicos e sociais sobre tais parâmetros acústicos, o que tem contribuído para melhorar o nosso entendimento a respeito do processo de comunicação dos anuros. Por exemplo, os parâmetros acústicos dos cantos de anúncio podem ser influenciados pela temperatura e umidade do ar (Lemes et al., 2012; Sun et al., 2019), e também por sons do próprio ambiente (Moraes et al., 2012), tais como vento e chuva (Pérez-Granados et al., 2019). Outros fatores que também influenciam os parâmetros dos cantos são as características do próprio indivíduo, por exemplo, variáveis

morfológicas (p.ex. massa e CRC) e condições fisiológicas (Nevo e Schneider, 1976; Morais et al., 2012; Bee et al., 2013). Em anuros, é amplamente conhecida a relação alométrica entre tamanho dos indivíduos e as suas vocalizações (Tonini et al., 2020), havendo uma relação inversa entre o tamanho corporal do indivíduo e sua frequência dominante (Wagner, 1989a; Wagner, 1989b; Köhler et al., 2017).

Há também a influência das interações sociais sobre os parâmetros de canto (Morais et al., 2015, 2021; Dias et al., 2017). Por exemplo, a distância entre coespecíficos (Gambale et al., 2014a) ou a densidade do coro (Bastos et al., 2011) podem influenciar as vocalizações dos anuros. Em algumas espécies de anuros é possível observar o comportamento de *lek*, em que vários machos se exibem para as fêmeas coespecíficas, através dos seus sinais acústicos (Wells, 1977). Nestas espécies, é comum a aglomeração de indivíduos engajados em atividade acústica, o que pode gerar uma intensa competição acústica e, consequentemente, um mascaramento dos sinais acústicos devido à sobreposição (Wagner, 1989a; Gall e Wilczynski, 2016; Tanner e Bee, 2019). Para minimizar esses efeitos, os anuros desenvolveram estratégias, por exemplo, alterar a frequência dominante e/ou duração dos seus cantos (Wagner, 1989b; Lucas et al., 1996; McCauley et al., 2000).

Gerhardt (1991) propôs a classificação dos parâmetros acústicos, baseado nos coeficientes de variação. Parâmetros acústicos podem ser classificados como dinâmicos (variação maior que 12%; $CV_{\text{intra}} > 12\%$) ou estáticos (variação menor que 5%; $CV_{\text{intra}} < 5\%$), sugerindo que tais parâmetros estariam submetidos a distintos tipos de seleção (i.e., direcional ou estabilizadora). Desde este estudo clássico, diversos trabalhos descreveram, em diferentes níveis, a variabilidade acústica em espécies de anuros (Köhler et al., 2017). Por exemplo, os estudos abordando a variabilidade acústica em nível intra e interindividual são os mais comumente observados na literatura (Bee et al., 2001; Bee e Gerhardt, 2001; Gasser et al. 2009, Briggs, 2010; Bee et al., 2013; Gambale e Bastos, 2014; Guerra et al., 2017; Röhr et al., 2020). No entanto, há alguns estudos que descreveram a variação nos sinais acústicos dos anuros em distintos períodos da noite (Dias et al., 2017) ou entre distintas estações reprodutivas (Gambale et al. 2014; Andreani et al., 2020).

Estudos abordando a variação acústica nos fornecem importantes *insights* sobre o processo de reconhecimento individual em anuros, já que, baseado em seus cantos, os indivíduos potencialmente podem ser discriminados em um agregado reprodutivo (Bee e Gerhardt, 2002; Morais et al., 2012). Este é um aspecto particularmente importante, dado que as fêmeas escolhem seus parceiros reprodutivos baseadas nos parâmetros acústicos dos

sinais emitidos pelos machos (Welch, 1998; Bosch et al., 2000; Schwartz et al., 2002; Byrne, 2008). Desta forma, as alterações nos padrões de comunicação acústica, podem levar a alterações nas taxas reprodutivas (Warren et al., 2006; Costa et al., 2012; Klaus e Loughheed, 2013; Merrick e Koprowski, 2017). Como consequência, podem ocorrer mudanças no tamanho e estrutura populacional, tornando essas populações mais suscetíveis a reduções (Laiolo, 2010).

Diante do exposto acima, nós descrevemos o comportamento acústico de indivíduos de *Scinax fuscomarginatus*, no município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil Central. A área estudada é a localidade-tipo de *Scinax pusillus* Pombal, Bilate, Gambale, Signorelli & Bastos, 2011, atualmente sinônimo de *S. fuscomarginatus*. Especificamente, nós investigamos a variação no canto de anúncio de machos desta espécie considerando os seguintes níveis: intraindividual, interindividual, ao longo da noite e ao longo de seis estações reprodutivas. A nossa expectativa é encontrar maior variação nos parâmetros acústicos entre os indivíduos do que intraindividualmente, possibilitando a discriminação acústica destes machos em um agregado reprodutivo (Gambale et al. 2014; Guerra et al., 2017). Adicionalmente, nós esperamos que os parâmetros acústicos do canto que possuem elevado potencial de discriminação dos indivíduos apresentarão esse padrão em diferentes períodos da noite e em diferentes estações reprodutivas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

As atividades de campo foram realizadas em um corpo d'água permanente (17°48'6.02" S, 51°05'21.W, ~800 m a.s.l.) situado em uma propriedade rural, no município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil. O corpo d'água em questão situa-se em uma área de Cerrado, apresentando em seu entorno variados estratos vegetacionais, por exemplo, herbáceas, arbustos e árvores (Figura 1). Em adição, o local de estudo sofre com atividades antropogênicas, uma vez que ao seu redor há ambientes de pastagem e plantações de monoculturas (e.g., milho e soja). A região de estudo apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, tendo um período chuvoso bem definido de Outubro a Março, com precipitação média anual de 1.300 mm e temperaturas médias anuais que variam entre 20° e 25°C (Alvares et al., 2014).



Figura 1. Corpo d'água onde foi desenvolvido o estudo, município de Rio Verde - GO, Brasil.

2.2. Espécie de estudo

Neste estudo, os indivíduos considerados são topótipos de *Scinax pusillus* (Figura 2) que está em sinonímia com *S. fuscomarginatus* (Brusquetti et al., 2014). *Scinax fuscomarginatus* é uma espécie pertencente ao clado *Scinax ruber* (Brusquetti et al., 2014; Faivovich, 2002) e está amplamente distribuída na América do Sul (Frost, 2021). No Brasil, *S. fuscomarginatus* ocorre em distintos biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal), o que faz com que esta espécie seja classificada como “pouco preocupante” na lista vermelha da fauna brasileira ameaçada de extinção (ICMBio, 2018).



Figura 2. Indivíduo de *Scinax fuscomarginatus* (Lutz, 1925) em uma poça permanente, no município de Rio Verde, GO, Brasil.

Scinax fuscomarginatus é um hilídeo de pequeno porte (Pupin *et al.*, 2020) que apresenta padrão reprodutivo prolongado (Toledo e Haddad, 2005a). As informações acerca de sua história natural sugerem que esta espécie apresenta sistema de acasalamento em leque (*lek mating system*), em que os machos se agregam para realizar exibições e, consequentemente, atrair parceiras reprodutivas (Toledo e Haddad, 2005a, b). Neste sentido, na região central do Brasil, estas agregações são observadas entre os meses de outubro a março, período em que os machos realizam a atividade de vocalização (Souza *et al.*, 2020). Ainda, ao longo da noite, os machos emitem vocalizações em diferentes períodos (das 18:00 às 06:00 horas), no entanto, o pico de maior atividade acústica se dá entre 18:00 e 21:00 horas (Souza *et al.* 2020).

O repertório vocal de *S. fuscomarginatus* é composto por cantos de anúncio, esporádicos e dois tipos de canto agressivo (territorial e luta) (Pombal *et al.*, 1995; Toledo e Haddad, 2005b). O canto de anúncio é o mais comumente emitido por machos dessa espécie, sendo composto por uma única nota multipulsada (Toledo e Haddad, 2005b; Souza *et al.*, 2021). Pombal *et al.* (2011) descreveram o canto de anúncio de indivíduos

oriundos da população considerada nesse estudo, o qual apresentam, em média, 542 ± 54 ms de duração e 4837 ± 384 kHz de frequência dominante.

2.3. Coleta e análises de dados

Nós realizamos as gravações de 101 indivíduos de *S. fuscomarginatus* entre os meses de outubro a março ao longo de seis estações reprodutivas: 2014/15 (n = 18 indivíduos); 2015/16 (n = 6 indivíduos); 2016/17 (n = 48 indivíduos); 2017/18 (n = 8 indivíduos); 2018/19 (n = 16 indivíduos) e 2019/2020 (n = 5 indivíduos). As gravações foram obtidas entre 19:00 e 00:00 e para o registro das vocalizações utilizamos microfones *Sennheiser* ME-66 (Wedemark-Wennebostel, Alemanha) acoplados a gravadores *Marantz* PMD-660 (Kanagawa, Japão) ou *Tascam* DR-40 (Califórnia, USA), com as seguintes configurações de gravação: 44,1kHz, 16 bits, formato WAV. Cada sessão de gravação durou aproximadamente dois minutos de duração. Padronizamos uma distância de 50 cm entre o microfone e os indivíduos gravados. Posteriormente às gravações, coletamos os machos para as seguintes medições: (a) comprimento rostro-cloacal (CRC), com um paquímetro (precisão de 0,01mm) e (b) massa total, com uma balança digital (0,01g). Juntamente com as gravações registramos também a temperatura do ar com um termômetro de mercúrio (precisão 0,5 °C).

Dos 101 indivíduos, nós consideramos 13 e registramos as suas vocalizações em diferentes períodos ao longo da noite (entre 19:30 e 23:00). Especificamente, com intervalo de 30 minutos, nós realizamos cinco gravações (i.e., A, B, C, D, e E) do mesmo indivíduo, conforme descrito acima. Desta forma, considerar o mesmo indivíduo em diferentes períodos da noite, nos permitiu o registro da sua atividade de vocalização em distintos contextos sociais. Por exemplo, estudos prévios (i.e., Bastos et al., 2011) sugerem que nos períodos iniciais da noite, as vocalizações estão associadas principalmente à defesa e ao estabelecimento de sítios de vocalizações, enquanto no meio da noite estas se associam principalmente à atração de parceiras reprodutivas.

Nós usamos o Raven Pro 1.5 para analisar os parâmetros acústicos dos cantos de anúncio de *S. fuscomarginatus*. Para cada sessão de gravação, nós selecionamos aleatoriamente cinco cantos de anúncio e mensuramos os seguintes parâmetros acústicos: duração do canto (s), número de pulsos (pulsos/canto), frequência dominante (Hz), frequência máxima (Hz), e frequência mínima (Hz). Medimos também a taxa de repetição de pulso (pulsos/s), que é estimada através da divisão entre o número de pulsos por canto e a duração total do canto analisado. Por fim calculamos a taxa de repetição do canto

(cantos/min), que é feita através da divisão do número de cantos pela duração total da gravação. A terminologia acústica está de acordo com Köhler et al. (2017) e as figuras (espectrograma e oscilograma) foram preparadas no programa R com o uso do pacote *Seewave* 1.6.4 (Sueur et al. 2008), com as seguintes configurações: window name (Fourier transform window) = Hanning; window length = 256 samples; overlap = 90%. Os arquivos de áudio considerados neste estudo estão depositados na Coleção de Arquivos Sonoros de Anuros Neotropicais (CASAN) do Laboratório de Ecologia, Evolução e Sistemática de Vertebrados do Instituto Federal Goiano, *campus* Rio Verde.

2.4. Análises estatísticas dos dados

Variação intraindividual e interindividual:

Na literatura, é bem estabelecida a influência da temperatura sobre os parâmetros acústicos dos cantos dos anuros (Köhler et al., 2017). Então, previamente às análises de variação intraindividual e interindividual, nós controlamos o efeito da temperatura sobre os parâmetros acústicos do canto de anúncio, através da equação descrita por Kaefer e Lima (2012): $Y_{adj} = Y - (b * T_{local}) + (b * T_{média})$. Nesta o Y é o valor bruto, Y_{adj} é o valor ajustado do parâmetro, b é o coeficiente de regressão, T_{local} é a temperatura do local de chamada, e $T_{média}$ é a temperatura média de todas as gravações.

Para descrever a variação intraindividual de cada parâmetro acústico, obtivemos o coeficiente de variação (CV_{intra}), baseado em uma sessão de gravação para cada indivíduo, onde calculamos o CV_{intra} através do desvio padrão do indivíduo, dividido pela média do parâmetro do indivíduo ($(DP / \bar{X}) * 100$). Para o coeficiente de variação interindividual (CV_{inter}), calculamos utilizando a mesma fórmula, mas considerando o desvio padrão de todos os indivíduos analisados, dividido pela média do parâmetro de todos os indivíduos independente da estação reprodutiva.

Para determinar se os parâmetros acústicos do canto possuem ou não potencial para o reconhecimento individual da espécie, nós classificamos os coeficientes de variação conforme Gerhardts (1991). Assim, os parâmetros foram classificados em estático ($CV_{intra} < 5\%$); intermediário (CV_{intra} 5% a 12%) e dinâmico ($CV_{intra} > 12\%$). Para saber se um dado parâmetro acústico varia mais entre os indivíduos do que intraindividualmente, nós calculamos a razão CV_{inter}/CV_{intra} . Parâmetros acústicos com valores de CV_{inter}/CV_{intra} acima de 1,0 determinam que a variação entre os indivíduos é maior do que a variação dentro

do próprio indivíduo. Indicando que este parâmetro acústico pode ser potencialmente utilizado para o reconhecimento individual da espécie (Bee et al., 2001).

Por fim, com o objetivo de identificar as diferenças estatísticas dos parâmetros acústicos entre os indivíduos, nós realizamos uma Análise de Variância (ANOVA) simples. No entanto, quando os dados não atendiam aos pressupostos (i.e., homogeneidade das variâncias e distribuição normal) o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* foi utilizado. Utilizamos, para essas análises, os indivíduos como variáveis preditoras e os parâmetros acústicos como variáveis resposta.

Variação ao longo da noite:

Conforme descrito no tópico anterior, nós calculamos os coeficientes de variação (CV_{intra} e CV_{inter}) e a razão CV_{inter}/CV_{intra} para os distintos períodos ao longo da noite (i.e., A, B, C, D, E). Em adição, para investigar as diferenças nos parâmetros acústicos entre os períodos ao longo da noite, realizamos uma Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas, e utilizamos para isso os dados corrigidos para temperatura do ambiente. Usamos como variável preditora cada período da noite, o indivíduo como um fator de medida repetida e a variável resposta foram os parâmetros acústicos dos indivíduos. Por fim aplicamos sobre os resultados o teste *Tukey*, que faz comparações par a par com os períodos da noite, com isso é possível identificar quais períodos da noite diferem mutuamente. As análises ao longo da noite foram realizadas no programa Jamovi (Version 1.8).

Variação ao longo dos anos:

Para avaliar a variação nos parâmetros acústicos dos cantos de anúncio ao longo das estações reprodutivas, seguimos os protocolos adotados por Andreani et al. (2020), e utilizamos para essa abordagem os valores não corrigidos para temperatura. Assim, a fim de diminuir a colinearidade entre as variáveis corporais CRC e massa, criamos através da multiplicação das variáveis um único valor, que chamamos de condição corporal (Gambale et al., 2014). Posteriormente, transformamos também a variável estação reprodutiva em um contínuo, onde o valor 0 foi atribuído à primeira estação reprodutiva em nossa amostragem (ou seja, o nosso ponto de início da observação do estudo) e os anos subsequentes o valor 1 foi somado. Assim, temos os seguintes valores: 2014/2015 = 0; 2015/2016 = 1; 2016/2017 = 2; 2017/2018 = 3; 2018/2019 = 4 e 2019/2020 = 5.

Finalmente, para entender como os anos, temperatura ambiental e condição corporal influenciam nos parâmetros acústicos, aplicamos uma Regressão Linear Múltipla para cada parâmetro acústico separadamente, usando como variáveis resposta os parâmetros acústicos e como variáveis preditoras os anos, temperatura e condição corporal. Nós utilizamos a estrutura de inferência de multimodelo baseado nos critérios de seleção de Akaike (AICc), para selecionar as melhores combinações de variáveis em cada modelo (Burnham et al., 2011). Usamos o limite de importância de 0,8 para determinar a permanência da variável preditora em determinado modelo (Calcagno e Mazancourt, 2010). Usamos para a realização de todas as análises o software R (R Core Team, 2020) e utilizamos o pacote *Glmulti* para a análise de multimodelo.

3. RESULTADOS

Nós descrevemos os parâmetros acústicos baseado em 505 cantos de anúncio emitidos por 101 machos de *S. fuscomarginatus* de uma mesma população (Figura 3). A tabela 1 apresenta os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para cada parâmetro acústico analisado, assim como os valores dos coeficientes de variação (intra e interindividual) e a razão CV_{inter}/CV_{intra} . Durante as atividades de campo, a temperatura do ar variou de 18,6 a 24,4 °C ($x = 21,1 \pm 1,6$ °C), enquanto o CRC e a massa dos indivíduos variaram, respectivamente, de 16,11 a 20,73 mm ($x = 17,9 \pm 1,11$ mm) e de 0,17 a 0,49 g ($x = 0,3 \pm 0,06$ g).

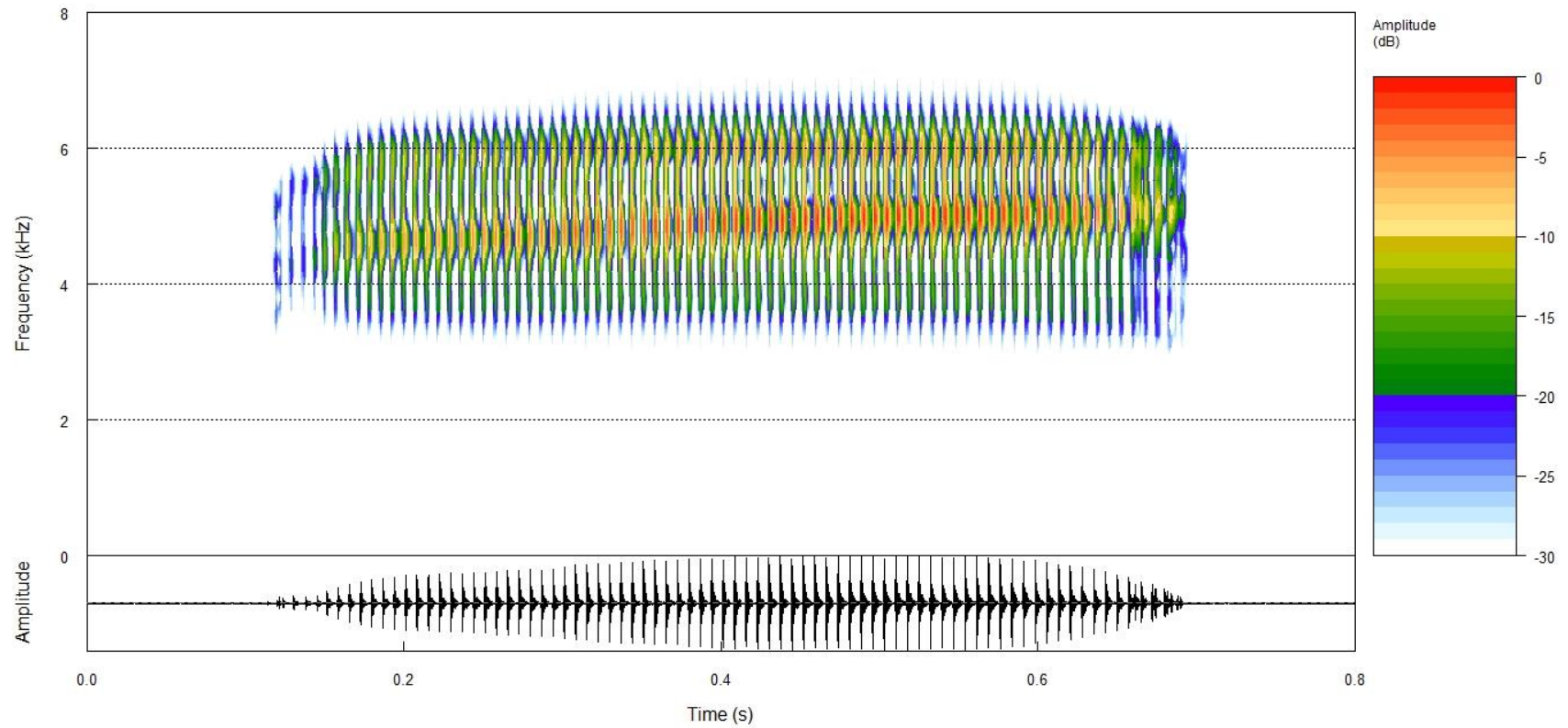


Figura 3. Espectrograma (acima) e oscilograma (abaixo) do canto de anúncio de *Scinax fuscomarginatus* (Lutz, 1925) do município de Rio Verde, GO, Brasil.

No geral, nós observamos que nenhum dos parâmetros acústicos apresentou variação intraindividual suficiente para ser classificado como dinâmico (Tabela 1). Portanto, observamos que a duração do canto ($CV_{intra} = 5,21\%$), o número de pulsos ($CV_{intra} = 5,55\%$) e a frequência mínima ($CV_{intra} = 7,60\%$) foram classificados como propriedades acústicas intermediárias, enquanto a taxa de pulso ($CV_{intra} = 2,72\%$), a frequência dominante ($CV_{intra} = 2,32\%$) e a frequência máxima ($CV_{intra} = 1,03\%$) foram classificadas como propriedades estáticas (Tabela 1). Nós também observamos que todos os parâmetros acústicos dos cantos de anúncio tiveram $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$, ou seja, variaram mais entre os indivíduos do que intraindividualmente. No geral, os parâmetros espectrais do canto de anúncio apresentaram os maiores valores, com a frequência máxima ($CV_{inter}/CV_{intra} = 4,52$) demonstrando o maior potencial para o reconhecimento individual (Tabela 2). No entanto, apenas duração do canto, frequência dominante, frequência máxima e número de pulsos são os parâmetros que tiveram $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$ ao longo das seis estações reprodutivas (Tabela 2).

Tabela 1. Valores dos parâmetros acústicos de machos de *S. fuscomarginatus* incluindo média, desvio padrão, amplitude, coeficiente de variação intraindividual (%) (média, mínimo e máximo), coeficiente de variação interindividual (%) e razão CV_{inter}/CV_{intra} .

	Média±DP (Amplitude)	CV_{intra} (Média)	CV_{intra} (Min - Máx)	CV_{inter} (Média)	Razão CV_{inter}/CV_{intra}
Duração dos cantos	0,54±0,07 (0,25 – 0,82)	5,21	1,01 - 31,1	9,76	1,87
Número de pulsos (pulsos/canto)	69,33±7,80 (30 – 97)	5,56	0,80 - 29,2	9,75	1,76
Frequência dominante (Hz)	5019,74±670,49 (656,5 – 6563,5)	2,32	0,00 - 12,6	10,17	4,39
Frequência máxima (Hz)	6189,67±295,14 (5062,50 - 7125,00)	1,03	0,00 - 5,59	4,66	4,52
Frequência mínima (Hz)	3805,33±1072,22 (93,80 - 4875,00)	7,6	0,00 - 121	17,7	2,33
Taxa de pulso (pulsos/s)	129,34±12,30 (105,09 – 202,15)	2,72	0,413 - 1,4	7,17	2,63

Tabela 2. Coeficiente de variabilidade do canto de anúncio ($CV_{i_{inter}}/CV_{i_{intra}}$) de machos de *S. fuscomarginatus* em cada estação reprodutiva amostrada. Apresentamos também os resultados da ANOVA ou Kruskal-Wallis das comparações interindividuais dos parâmetros acústicos.

Estação Reprodutiva	Parâmetros acústicos					
	Duração do canto	Frequência dominante	Frequência máxima	Frequência mínima	Número de pulsos	Taxa de pulso
2014/2015	2,51 H (16, 85) = 67,32 p = 0,0000	2,23 H (16, 85) = 68,59 p = 0,0000	2,84 H (16, 85) = 71,51 p = 0,0000	2,73 H (16, 85) = 73,79 p = 0,0000	1,93 H (16, 85) = 65,28 p = 0,0000	2,81 H (16, 85) = 68,02 p = 0,0000
2015/2016	1,79 H (4, 25) = 15,91 p = 0,0031	1,03 H (4, 25) = 14,37 p = 0,0062	10,22 H (4, 25) = 23,32 p = 0,0001	0,97 H (4, 25) = 18,47 p = 0,0010	2,55 F = 31,29 p = 0,0000	1,60 H (4, 25) = 14,62 p = 0,0056
2016/2017	1,55 H (45, 230) = 170,88 p = 0,0000	5,14 H (45, 230) = 154,51 p = 0,0000	3,55 H (45, 230) = 202,74 p = 0,000	3,46 H (45, 230) = 193,02 p = 0,000	1,35 H (45, 230) = 155,99 p = 0,0000	1,74 H (45, 230) = 166,02 p = 0,0000
2017/2018	1,23 F = 6,99 p = 0,0097	1,24 F = 6,23 p = 0,0140	1,92 H (2, 15) = 9,76 p = 0,0076	1,77 H (2, 15) = 8,17 p = 0,0168	1,45 F = 8,48 P = 0,0050	0,72 F = 2,53 P = 0,1212
2018/2019	1,61 H (15, 80) = 62,57 p = 0,0000	3,30 H (15, 80) = 73,04 p = 0,0000	4,67 H (15, 80) = 70,14 p = 0,0000	2,01 H (15, 80) = 73,68 p = 0,0000	1,45 H (15, 80) = 59,71 p = 0,0000	3,51 H (15, 80) = 60,93 p = 0,0000
2019/2020	3,48 F = 44,81 p = 0,0000	3,30 H (4, 25) = 19,69 p = 0,0006	16,13 H (4, 25) = 23,08 p = 0,0001	2,05 H (4, 25) = 21,51 p = 0,0003	4,87 F = 103,89 p = 0,0000	4,98 F = 112,92 p = 0,0000
Total	1,87 F = 11,6 p = 0,001	4,39 F = 54,0 p = 0,001	4,52 F = 55,7 p = 0,001	2,33 F = 15,7 p = 0,001	1,75 F = 10,9 p = 0,001	2,63 F = 23,1 p = 0,001

Variação ao longo da noite:

Exceto a frequência mínima, nós observamos que todos os parâmetros acústicos do canto de anúncio de *S. fuscomarginatus* foram classificados como estáticos ($CV_{\text{intra}} < 4\%$) ou intermediários ($4\% < CV_{\text{intra}} < 12\%$) ao longo da noite (Tabela 3 Figura 4). Nós também observamos que, exceto a duração do canto e a taxa de pulso, os demais parâmetros acústicos variaram significativamente ao longo dos distintos períodos da noite ($p < 0,05$ para todos os casos). Já o teste de *Tukey* não identificou quais períodos diferiram da Duração do canto e Taxa de pulsos, entretanto houve uma diferença estatisticamente significativa para o Número de pulso (períodos A e B), Frequência dominante (períodos B e D), Frequência máxima (períodos A e C; A e D), Frequência mínima (períodos A e E; B e E), Taxa de canto (períodos A e B; D e E).

Tabela 3. Médias do Coeficiente de variabilidade intraindividual (%) do canto de anúncio de todos os machos de *S. fuscomarginatus* ao longo de uma mesma noite por períodos (A, B, C, D, E).

Períodos da noite	Parâmetros acústicos do canto					
	Duração do canto	Número de pulsos	Frequência dominante	Frequência máxima	Frequência mínima	Taxa de pulso
A	4,03	4,16	2,38	0,79	6,33	1,89
B	3,42	3,39	2,67	0,69	3,29	1,91
C	4,08	4,30	2,33	0,65	2,12	1,99
D	3,38	3,40	3,43	0,56	2,40	1,83
E	3,81	4,65	2,59	0,50	17,43	2,52

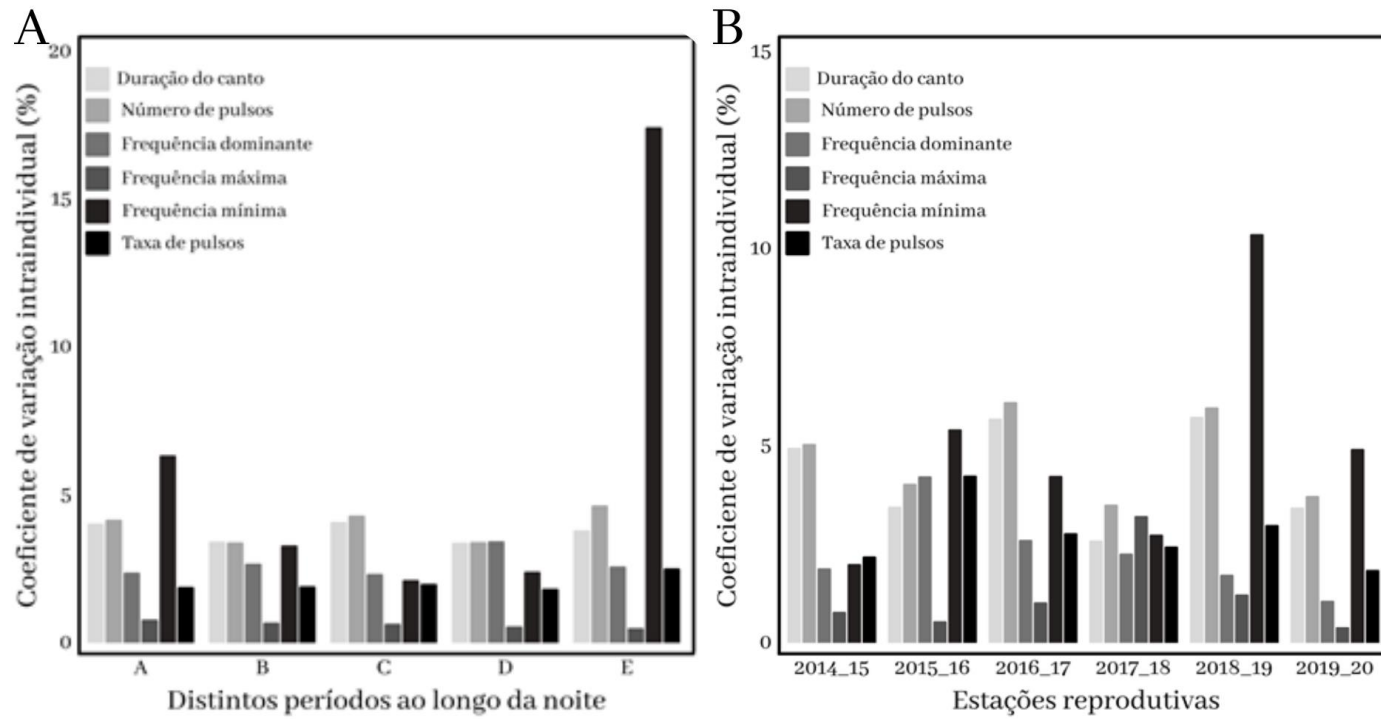


Figura 4. Coeficiente de variação intraindividual (%) de machos de *S. fuscomarginatus* ao longo dos distintos períodos da noite (A) e entre as estações reprodutivas (B).

Influência da temperatura, condição corporal (alometria) e tempo:

Os parâmetros acústicos do canto de anúncio variaram conforme a condição corporal dos indivíduos, a temperatura do ambiente e ao longo das estações reprodutivas, mas cada parâmetro apresentou padrões de variação e influência distintos. Observamos que com exceção da frequência máxima, todos os outros parâmetros acústicos foram influenciados pela temperatura do ambiente (Tabela 4). Identificamos que conforme ocorreu o aumento da temperatura, a duração do canto (Importância = 1,0000 Coeficiente regressão parcial -0,0297), o número de pulsos (Importância = 0,9999 CRP -1,2545), a frequência dominante (Importância = 0,9522 CRP -49,1484) e a frequência mínima (Importância = 0,9999 CRP -149,7444) diminuíram. Enquanto a taxa de pulso (Importância = 1,0000 CRP 4,7617) e taxa de canto (Importância = 0,9999 CRP 4,7617) aumentaram conforme o aumento da temperatura (Tabela 4).

Ficou evidente que os parâmetros temporais (taxa de pulso (Importância = 0,8074 CRP 0,6640) e taxa de canto (Importância = 0,8774 CRP 0,6894)) aumentaram ao longo dos anos, enquanto os parâmetros espectrais (frequência máxima (Importância = 0,9999 CRP -64,0891) e frequência dominante (Importância = 0,9040 CRP -47,0812)) diminuíram com o passar das estações reprodutivas. Quando levamos em consideração a condição corporal, a duração do canto (Importância = 0,9999 CRP 0,0112) e número de pulsos (Importância = 0,9999 CRP 1,8645) foram positivamente relacionados, enquanto a frequência máxima (Importância = 0,9998 CRP -55,8453) e frequência mínima (Importância = 0,9954 CRP -115,8327) foram negativamente influenciados pela condição corporal.

Tabela 4. Resultados das regressões lineares múltiplas entre machos de *S. fuscomarginatus* e a inferência de multi-modelos utilizando o limiar de 0.8.

Parâmetro do canto	Variáveis	Importância	Coefficiente regressão parcial	Variância incondicional	Intervalo de confiança
Duração do canto	Condição corporal	0,9999	0,0112	6,2257	0,0049
	Estação reprodutiva	0,3760	-0,0008	2,0456	0,0028
	Temperatura	1,0000	-0,0297	3,7400	0,0038
Número de pulsos	Condição corporal	0,9999	1,8645	0,1102	0,6526
	Estação reprodutiva	0,3382	0,0790	0,0256	0,3148
	Temperatura	0,9999	-1,2545	0,0662	0,5059
Taxa de repetição de pulso	Condição corporal	0,7166	0,6249	0,2919	1,0621
	Estação reprodutiva	0,8074	0,6640	0,2061	0,8924
	Temperatura	1,0000	4,7617	0,1285	0,7046
Taxa de repetição do canto	Condição corporal	0,3448	-0,1151	0,0518	0,4475
	Estação reprodutiva	0,8774	0,6894	0,1436	0,7449
	Temperatura	0,9999	4,7617	0,0808	0,5588
Frequência dominante	Condição corporal	0,4706	15,2666	494,5974	43,7204
	Estação reprodutiva	0,9040	-47,0812	551,9694	46,1866
	Temperatura	0,9522	-49,1484	412,1078	39,9084
	Condição corporal	0,9998	-55,8453	155,0935	24,4825
Frequência máxima	Estação reprodutiva	0,9999	-64,0891	102,6456	19,9173
	Temperatura	0,6426	-10,7501	120,3722	21,5686
Frequência mínima	Condição corporal	0,9954	-115,8327	1075,1604	64,4607
	Estação reprodutiva	0,2723	-2,1464	83,8771	17,9734
	Temperatura	0,9999	-149,7444	634,9085	49,5352

4. DISCUSSÃO

Reconhecimento individual e seleção sexual

Identificamos que todos os parâmetros acústicos do canto de anúncio de *S. fuscomarginatus*, apresentaram baixa variabilidade, ou seja, nenhum dos parâmetros do canto apresentou variação suficiente para ser classificado como dinâmico ($CV_{\text{intra}} > 12\%$).

A baixa variação se deve principalmente as suas fontes, derivados das condições ambientais e das relações sociais, apresentam tendências a valores mais extremos porque são de preferências femininas direcionais (Pfenning, 2000). Classificamos como parâmetros intermediários (CV_{intra} 5% a 12%) a duração do canto, número de pulsos e frequência mínima, sendo o último a característica mais variável. Já as propriedades estáticas ($CV_{intra} < 5\%$) nesta espécie são a taxa de repetição de pulso, frequência dominante e frequência máxima. Estando estas normalmente ligadas a restrições físicas do próprio indivíduo, em que as preferências femininas tendem a manter próximo à média, ou seja, como seleção estabilizadora ou fracamente direcional (Gasser et al., 2009; Morais et al., 2012; Gambale et al., 2014).

Pfenning (2000) estudou populações de *Spea multiplicata* (Scaphiropodidae) e identificou que fêmeas têm preferência diferente quando estão em simpatria ou alopatria com outras espécies, elas selecionam por parceiros que emitem cantos com propriedades médias, quando a espécie coexistia com congêneres. Essa estratégia de seleção sexual evita acasalamentos heteroespecíficos, quando as espécies apresentam propriedades de canto semelhantes (Lemmon, 2009; Pettitt et al., 2013). Situação correspondente pode estar ocorrendo com a população de *S. fuscomarginatus* avaliada neste estudo. Caso esta população realmente corresponda a espécie *S. pusillus*, algo que já foi discutido em trabalhos anteriores (Brusquetti et al., 2014; Melo et al., 2014), esta população estaria em simpatria com outra população de *S. fuscomarginatus*. Destacamos que esse processo pode direcionar as preferências das fêmeas para a média da população, não direcionando as escolhas com base na qualidade dos machos. Mas, estudos que abordem esse viés taxonômico ainda precisam ser realizados para confirmar essa hipótese.

Baseado nos resultados obtidos neste estudo é provável que todos os parâmetros acústicos analisados possuam potencial para discriminar os indivíduos em um agregado reprodutivo, uma vez que todos tiveram CV_{inter} / CV_{intra} acima de 1. No entanto, destacamos que a frequência máxima é a propriedade acústica com maior potencial para discriminar os indivíduos, devido a sua alta relação (CV_{inter} / CV_{intra}). Este padrão também foi observado em espécies de distintas famílias e de vários locais (Briggs et al., 2010; Morais et al., 2012; Pettitt et al., 2013; Gambale et al., 2014; Turin et al., 2018; Serrano et al., 2019; Andreni et al., 2020). Em adição, similar ao observado em estudos prévios (Gasser et al., 2009; Guerra et al., 2017; Röhr et al., 2020), nós encontramos que os parâmetros espectrais tiveram taxas de CV_{inter} / CV_{intra} superiores quando comparados com os parâmetros temporais.

Variação ao longo da noite:

Avaliando como os parâmetros acústicos do canto de anúncio variaram ao longo da noite, conforme o coeficiente de variação (%) notamos uma tendência a menor variação sendo a maioria dos parâmetros classificados como estáticos (Gerhardt, 1991). Uma possível ligação dos parâmetros acústicos com questões de restrições corporais e fisiológicas dos próprios indivíduos podem limitar a variação podendo explicar essa baixa variabilidade, já que avaliamos a mudança no canto dentro de um mesmo indivíduo ao longo da noite (Dias et al., 2017). Outro fator que pode ter interferido nos parâmetros acústicos é o processo de reconhecimento individual, uma baixa variação permite com que indivíduos sejam reconhecidos dentro do coro (Morais et al., 2012; Bee et al., 2013).

Quando falamos da frequência mínima houve maior variação no período E (dinâmico) seguido pelo período A (intermediário). Observamos que ao levar em consideração os valores de cada indivíduo e não as médias dos períodos do coeficiente de variação, é possível ver valores extremos que são exceções e podem ter puxado os valores médios para valores mais altos. Dias et al. (2017) também não encontrou resultados consistentes avaliando parâmetros do canto de anúncio em *Hypsiboas goianus*, destacamos que outros fatores de confusão não avaliados neste trabalho podem ter interferido nos resultados, como número de indivíduos no coro, presença de fêmeas ou competidores territoriais (Runkle et al., 1994; Costa et al., 2020; Guerra et al., 2020). O nosso estudo é um dos poucos que analisam a variação individual de parâmetros acústicos ao longo da noite (Dias et al., 2017; Souza et al., 2020), trabalhos que abordem essa temática são importantes para entender o comportamento reprodutivos em anuro, uma vez que as taxas reprodutivas e características acústicas estão intimamente ligados.

Influência da temperatura, condição corporal (alometria) e tempo

Os cantos de anúncio na maioria das espécies são influenciados pela temperatura do ambiente, porque os anuros são animais ectotérmicos (Morais et al., 2012; Llusia et al., 2013). Nós observamos que todos os parâmetros avaliados, com exceção da frequência máxima do canto de *S. fuscumarginatus*, são correlacionados com a temperatura do ambiente. A influência da temperatura do ambiente já foi observada em várias outras espécies, como em *Boana raniceps* (Guimarães e Bastos, 2003), *Allobates femoralis* (Gasser et al., 2009) e *Boana goiana* (Andreani et al. 2020). Identificamos que o aumento

da temperatura ambiental levou a diminuição da duração do canto, número de pulsos, frequência dominante e na frequência mínima. Podendo ser essa uma estratégia dos indivíduos para diminuir o gasto energético que aumenta quando a temperatura atinge níveis mais altos (Lingnau e Bastos, 2007). Em contrapartida, a taxa de pulso e taxa de canto aumentou quando as temperaturas se elevaram, alguns estudos já identificaram uma tendência a temperatura do ambiente influenciar mais parâmetros temporais do que parâmetros espectrais do canto (Guimarães e Bastos, 2003).

Constantemente, estudos enfatizam uma relação inversa entre a frequência dominante e a condição corporal em espécies de anuros, sendo esse um parâmetro usual para a identificação do tamanho individual do emissor, seja por fêmeas ou competidores por território (Bee, 2002; Morais et al., 2016; Röhr et al., 2020). Similar ao observado em *Anomaloglossus beebei* (Pettitt et al., 2013), nós também não encontramos relação entre a condição corporal e frequência dominante do canto de anúncio de *S. fuscomarginatus*. Nesse sentido, a frequência dominante não deve ser usada para avaliação do tamanho e condição corporal por fêmeas e competidores por território.

Existem poucos estudos que abordam como os parâmetros acústicos do canto de anúncio se comportam ao longo de estações reprodutivas (Gambale et al., 2014; Andreani et al., 2020). Assim, notamos um padrão de variação nos parâmetros acústicos de *S. fuscomarginatus*, em que os parâmetros temporais (taxa de pulso e taxa de canto) estão diminuindo ao longo das estações reprodutivas. Similar ao descrito por outros autores (Howard e Young, 1998; Smith e Hunter, 2005; Andreani et al., 2020), nós também observamos que os parâmetros espectrais (i.e., frequência máxima e dominante) diminuíram entre as estações reprodutivas. Mas, contrário ao relatado por Gambale et al., (2014) estudando *Scinax constrictus* que não encontrou variação significativa nos parâmetros acústicos das chamadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andreani, T. L., Bastos, R. P., Dias, T. M., Prado, C. P. A., & Morais, A. R. (2020). Acoustic variability among male gladiator frogs, *Boana goiana* (Lutz, 1968) (Anura:

- Hylidae): An 18-year analysis across several reproductive seasons. *Amphibia Reptilia*. <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10029>
- Arini, K., Noer, M. I., Wulandari, A., Amalia, R., & Auliandina, T. (2016). Temporal and spectral variation in advertisement call of males *Microhyla achatina* (Tschudi, 1838) are sufficient for individual discrimination. *AIP Conference Proceedings*, 1744. <https://doi.org/10.1063/1.4953506>
- Bastos, R. P., Alcantara, M. B., Morais, A. R., Lingnau, R., & Signorelli, L. (2011). Vocal behaviour and conspecific call response in *Scinax centralis*. *Herpetological Journal*, 21(1), 43-50.
- Bee, M. A. (2002). Territorial male bullfrogs (*Rana catesbeiana*) do not assess fighting ability based on size-related variation in acoustic signals. *Behavioral Ecology*, 13(1), 109–124. <https://doi.org/10.1093/beheco/13.1.109>
- Bee, M. A., & Gerhardt, H. C. (2002). Individual voice recognition in a territorial frog (*Rana catesbeiana*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269(1499), 1443–1448. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2041>
- Bee, M. A., Kozich, C. E., Blackwell, K. J., & Carl Gerhardt, H. (2001). Individual variation in advertisement calls of territorial male green frogs, *Rana clamitans*: Implications for individual discrimination. *Ethology*, 107(1), 65–84. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2001.00640.x>
- Bee, M. A., Reichert, M. S., & Tumulty, J. (2016). Assessment and Recognition of Rivals in Anuran Contests. *Advances in the Study of Behavior* (Vol. 48). *Elsevier Ltd*. <https://doi.org/10.1016/bs.asb.2016.01.001>
- Bee, M. A., Suyesh, R., & Biju, S. D. (2013). Vocal behavior of the Ponmudi Bush Frog (*Raorchestes graminirupes*): Repertoire and individual variation. *Herpetologica*, 69(1), 22–35. <https://doi.org/10.1655/HERPETOLOGICA-D-11-00042>
- Blair, W. F. (1964). Isolating Mechanisms and Interspecies Interactions in Anuran Amphibians. *The Quarterly Review of Biology*, 39(4), 334–344. doi:10.1086/404324
- Bosch, J., Rand, A. S., & Ryan, M. J. (2000). Signal variation and call preferences for whine frequency in the túngara frog, *Physalaemus pustulosus*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 49(1), 62–66. <https://doi.org/10.1007/s002650000280>
- Briggs, V. S. (2010). Call trait variation in morelett's tree frog, *Agalychnis moreletii*, of Belize. *Herpetologica*, 66(3), 241–249. <https://doi.org/10.1655/HERPETOLOGICA-D-09-00011.1>

- Brusquetti, F., Jansen, M., Barrio-Amorós, C., Segalla, M., & Haddad, C. F. B. (2014). Taxonomic review of *Scinax fuscomarginatus* (Lutz, 1925) and related species (Anura; Hylidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171(4), 783–821. <https://doi.org/10.1111/zoj.12148>
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., Huyvaert, K.P. (2011): AIC model selection and multimodel inference in behavioural ecology: some background, observations and comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 65: 23-35.
- Byers, J., Hebets, E., & Podos, J. (2010). Female mate choice based upon male motor performance. *Animal Behaviour*, 79(4), 771–778. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.01.009>
- Byrne, P. G. (2008). Strategic male calling behavior in an Australian terrestrial toadlet (*Pseudophryne bibronii*). *Copeia*, 2008(1), 57–63. <https://doi.org/10.1643/CE-05-294>
- Calcagno, V., Mazancourt, C. (2010): glmulti: an R package for easy automated model selection with (Generalized) Linear Models. *J. Stat. Softw.* 34: 1-29.
- Castellano, S., & Gamba, M. (2011). Marathon callers: Acoustic variation during sustained calling in treefrogs. *Ethology Ecology and Evolution*, 23(4), 329–342. <https://doi.org/10.1080/03949370.2011.575801>
- Costa, T. R. N., & Carnaval, A. C. O. Q. (2012). Climate change and its impacts on Brazilian amphibians. *Revista da Biologia*, 8, 33–37. Retrieved from <http://www.ib.usp.br/revista/node/92#abstract>
- Costa, F. R., Moura, P. H. A. G., & Nunes, I. (2020). On the courtship, breeding behaviour and vocalisation of *Rhinella ornata* (Spix, 1824) (Anura, Bufonidae): a well-marked escalated behaviour in a lek-like system. *Acta Ethologica*, 23(2), 69–77. doi:10.1007/s10211-020-00339-6
- Dias, T. M., Prado, C. P. A., & Bastos, R. P. (2017). Nightly calling patterns in a Neotropical gladiator frog. *Acta Ethologica*, 20(3), 207–214. <https://doi.org/10.1007/s10211-017-0263-6>
- Faivovich, J. (2002). A cladistic analysis of *Scinax* (Anura: Hylidae). *Cladistics*, 18(4), 367–393. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2002.tb00157.x>
- Frost, D.R. (2019) Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0. American Museum of Natural History, New York, USA. Electronic Database. Available from: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html> (accessed 20 October 2020).

- Gall, M. D., & Wilczynski, W. (2016). The effects of call-like masking diminish after nightly exposure to conspecific choruses in green treefrogs (*Hyla cinerea*). *Journal of Experimental Biology*, 219(9), 1295–1302. <https://doi.org/10.1242/jeb.135905>
- Gambale, P. G., & Bastos, R. P. (2014). Vocal repertoire and bioacoustic analyses in *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) from southern Brazil. *Herpetological Journal*, 24(1), 31–39.
- Gasser, H., Amézquita, A., & Hödl, W. (2009). Who is Calling? Intraspecific Call variation in the aromobatid frog *allobates femoralis*. *Ethology*, 115(6), 596–607. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2009.01639.x>
- Gerhardt, H. C. (1991). Female mate choice in treefrogs: static and dynamic acoustic criteria. *Animal Behaviour*, 42(4), 615–635. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80245-3](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80245-3)
- Glaw, F., Köhler, J., De La Riva, I., Vieites, D. R., & Vences, M. (2010). Integrative taxonomy of malagasy treefrogs: Combination of molecular genetics, bioacoustics and comparative morphology reveals twelve additional species of *Boophis*. *Zootaxa*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2383.1.1>
- Guerra, V., Llusia, D., Gambale, P. G., de Moraes, A. R., Márquez, R., & Bastos, R. P. (2018). The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. *PLoS ONE*, 13(1), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191691>
- Guerra, V., de Moraes, A. R., Gambale, P. G., Oda, F. H., & Pereira Bastos, R. (2017). Variation of the advertisement call of *Physalaemus centralis* Bokermann, 1962 (Anura: Leptodactylidae) in the Cerrado of central Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 52(2), 103–111. <https://doi.org/10.1080/01650521.2017.1294414>
- Guerra, V., de Queiroz Costa, N., Llusia, D., Márquez, R., & Bastos, R. P. (2020). Nightly patterns of calling activity in anuran assemblages of the Cerrado, Brazil. *Community Ecology*. doi:10.1007/s42974-020-00013-8
- Guimarães, L. D. & Bastos, R. P. (2003). Vocalizações e interações acústicas em *Hyla raniceps* (Anura, Hylidae) durante a atividade reprodutiva. *Iheringia. Série Zoologia*, 93(2), 149–158. <https://doi.org/10.1590/s0073-47212003000200005>
- Howard, R. D. & Young, J. R. 1998. Individual Variation in Male Vocal Traits and Female Mating Preferences in *Bufo americanus*. *Animal Behaviour*, 55(5),

- 1165e1179 IUCN .2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Acessado em 24/01/2016. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/details/55490/0>
- Kaefer, I. L., & Lima, A. P. (2012). Sexual signals of the Amazonian frog *Allobates paleovarzensis*: Geographic variation and stereotypy of acoustic traits. *Behaviour*, 149(1), 15–33. <https://doi.org/10.1163/156853912X623757>
- Klaus, S. P., & Loughheed, S. C. (2013). Changes in breeding phenology of eastern Ontario frogs over four decades. *Ecology and Evolution*, 3(4), 835–845. <https://doi.org/10.1002/ece3.501>
- Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., ... Vences, M. (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* (Vol. 4251). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4251.1.1>
- Laiolo, P. (2010). The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. *Biological Conservation*, 143(7), 1635–1645. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.025>
- Lemes, P., Tessarolo, G., Morais, A. R., & Bastos, R. P. (2012). Acoustic Repertoire of *Barycholos ternetzi* (Anura: Strabomantidae) in Central Brazil. *South American Journal of Herpetology*, 7(2), 157–164. <https://doi.org/10.2994/057.007.0205>
- Lemmon, E. M. (2009). Diversification of conspecific signals in sympatry: Geographic overlap drives multidimensional reproductive character displacement in frogs. *Evolution*, 63(5), 1155–1170. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00650.x>
- Lingnau, R., & Bastos, R. P. (2007). Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. *Journal of Natural History*, 41(17–20), 1227–1235. <https://doi.org/10.1080/00222930701395626>
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Benítez, M., & do Amaral, J. P. (2013). Calling behaviour under climate change: Geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19(9), 2655–2674. <https://doi.org/10.1111/gcb.12267>
- Lucas, J. R., Howard, R. D., & Palmer, J. G. (1996). Callers and satellites: Chorus behaviour in anurans as a stochastic dynamic game. *Animal Behaviour*, 51(3), 501–518. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0056>

- Maynard Smith, J. (1974). The theory of games and the evolution of animal conflicts. *Journal of Theoretical Biology*, 47(1), 209–221. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(74\)90110-6](https://doi.org/10.1016/0022-5193(74)90110-6)
- McCauley, S. J., Bouchard, S. S., Farina, B. J., Isvaran, K., Quader, S., Wood, D. W., & St. Mary, C. M. (2000). Energetic dynamics and anuran breeding phenology: Insights from a dynamic game. *Behavioral Ecology*, 11(4), 429–436. <https://doi.org/10.1093/beheco/11.4.429>
- Melo, M., Signorelli, L., Santos, D. L., Pinto, H. B., Fava, F., Bastos, R. P., & Nomura, F. (2014). Amphibia, anura, hylidae, *Scinax pusillus* Pombal, Bilate, Gambale, Signorelli & Bastos, 2011: Distribution extension. *Check List*, 10(4), 965–967. <https://doi.org/10.15560/10.4.965>
- Merrick, M. J., & Koprowski, J. L. (2017). Should we consider individual behavior differences in applied wildlife conservation studies? *Biological Conservation*, 209, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.021>
- Morais, A. R., Batista, V. G., Gambale, P. G., Signorelli, L., & Bastos, R. P. (2012). Acoustic communication in a Neotropical frog (*Dendropsophus minutus*): Vocal repertoire, variability and individual discrimination. *Herpetological Journal*, 22(4), 249–257.
- Morais, A. R., Siqueira, M. N., & Bastos, R. P. (2015). How do males of *Hypsiboas goianus* (Hylidae: Anura) respond to conspecific acoustic stimuli? *Zoologia (Curitiba)*, 32(6), 431–437. <https://doi.org/10.1590/s1984-46702015000600001>
- Morais, A. R., Siqueira, M. N., Márquez, R., & Bastos, R. P. (2016). Males of *Hypsiboas goianus* (Anura; Hylidae) do not assess neighbor fighting ability through acoustic interactions. *Acta Ethologica*, 19(1), 43–50. <https://doi.org/10.1007/s10211-015-0221-0>
- Morais, A. R., Siqueira, M. N., Márquez, R., & Bastos, R. P. (2021). Do male *Boana goiana* (Lutz, 1968) (Anura: Hylidae) discriminate between the calls of neighbours and strangers?. *Behaviour*, 158(7), 585–602. doi: <https://doi.org/10.1163/1568539X-bja10082>
- Nevo, E., & Schneider, H. (1976). Mating call pattern of Green toads in Isreal and its ecological corelate. *Journal of Zoology*, 178(1), 133–145. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1976.tb02268.x>
- Pérez-Granados, C., Schuchmann, K. L., Ramoni-Perazzi, P., & Marques, M. I. (2019). Calling behaviour of *Elachistocleis matogrosso* (Anura, Microhylidae) is associated

- with habitat temperature and rainfall. *Bioacoustics*, 29(6), 670–683. <https://doi.org/10.1080/09524622.2019.1658642>
- Pettitt, B. A., Bourne, G. R., & Bee, M. A. (2012). Quantitative acoustic analysis of the vocal repertoire of the golden rocket frog (*Anomaloglossus beebei*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(6), 4811–4820. <https://doi.org/10.1121/1.4714769>
- Pettitt, B. A., Bourne, G. R., & Bee, M. A. (2013). Advertisement Call Variation in the Golden Rocket Frog (*Anomaloglossus beebei*): Evidence for Individual Distinctiveness. *Ethology*, 119(3), 244–256. <https://doi.org/10.1111/eth.12058>
- Pfennig, K. S. (2000). Female spadefoot toads compromise on mate quality to ensure conspecific matings. *Behavioral Ecology*, 11(2), 220–227. <https://doi.org/10.1093/beheco/11.2.220>
- Pombal, J.P. & Bastos, R.P. (2003). Vocalizações de *Scinax perpusillus* (A. Lutz & B. Lutz) e *S. arduous* Peixoto (Anura, Hylidae), com Comentários Taxonômicos. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4), 607–610.
- Pombal, J. P., Bastos, R. P., & Haddad, C. F. B. (1995). Vocalizações de algumas espécies do gênero *Scinax* (Anura, Hylidae) do sudeste do Brasil e comentários taxonômicos. *Naturalia*, 20 (4), 607–610. doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000400007>
- Pombal, J. P., Bilate, M., Gambale, P. G., Signorelli, L., & Bastos, R. P. (2011). A New Miniature Treefrog of the *Scinax ruber* Clade from the Cerrado of Central Brazil (Anura: Hylidae). *Herpetologica*, 67(3), 288–299. doi:10.1655/herpetologica-d-10-00067.1
- Pupin, N. C., Brusquetti, F., & Haddad, C. F. B. (2020). Seasonality drives body size variation in a widely distributed Neotropical treefrog. *Journal of Zoology*, 312(2), 85–93. <https://doi.org/10.1111/jzo.12787>
- Reichert, M. S. (2013). Sources of variability in advertisement and aggressive calling in competitive interactions in the grey treefrog, *Hyla versicolor*. *Bioacoustics*, 22(3), 195–214. <https://doi.org/10.1080/09524622.2013.777942>
- Röhr, D. L., Camurugi, F., Paterno, G. B., Gehara, M., Juncá, F. A., Álvares, G. F. R., ... Garda, A. A. (2020). Variability in anuran advertisement call: a multi-level study with 15 species of monkey tree frogs (Anura, Phyllomedusidae). *Canadian Journal of Zoology*, 98(8), 495–504. <https://doi.org/10.1139/cjz-2020-0018>
- Runkle, L. S., Wells, K. D., Robb, C. C., & Lance, S. L. (1994). Individual, nightly, and seasonal variation in calling behavior of the gray tree frog, *Hyla versicolor*:

- implications for energy expenditure. *Behavioral Ecology*, 5(3), 318–325. doi:10.1093/beheco/5.3.318
- Schwartz, J. J., Buchanan, B. W., & Gerhardt, H. C. (2002). Acoustic interactions among male gray treefrogs, *Hyla versicolor*, in a chorus setting. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 53(1), 9–19. <https://doi.org/10.1007/s00265-002-0542-7>
- Serrano, J. M., Penna, M., & Soto-Azat, C. (2019). Individual and population variation of linear and non-linear components of the advertisement call of Darwin's frog (*Rhinoderma darwinii*). *Bioacoustics*, 29(5), 572–589. <https://doi.org/10.1080/09524622.2019.1631214>
- Souza, A. O., Oliveira, S. R., Dias, G. P., Bastos, R. P., & de Moraes, A. R. (2020). Annual and daily patterns of calling activity in male *scinax fuscomarginatus* (Anura: Hylidae) from Central Brazil. *Zoologia*, 37, 1–6. <https://doi.org/10.3897/zoologia.37.e54148>
- Souza, A. O., Oliveira, S. R., Bastos, R. P. & Moraes, A. R. (2021): Intraspecific advertisement call variation of *Scinax fuscomarginatus* (Lutz, 1925) from Central Brazil, Studies on Neotropical Fauna and Environment, DOI: 10.1080/01650521.2021.1978212
- Smith, M. J., & Hunter, D. (2005). Temporal and Geographic Variation in the Advertisement Call of the Booroolong Frog (*Litoria booroolongensis*: Anura: Hylidae). *Ethology*, 111(12), 1103–1115.
- Sun, X., Zhao, L., Chen, Q., Wang, J., & Cui, J. (2019). Auditory sensitivity changes with diurnal temperature variation in little torrent frogs (*Amolops torrentis*). *Bioacoustics*, 29(6), 684–696. <https://doi.org/10.1080/09524622.2019.1662845>
- Tanner, J. C., & Bee, M. A. (2019). Within-individual variation in sexual displays: Signal or noise? *Behavioral Ecology*, 30(1), 80–91. <https://doi.org/10.1093/beheco/ary165>
- A: Toledo, L. F., & Haddad, C. F. B. (2005). Reproductive biology of *Scinax fuscomarginatus* (Anura, Hylidae) in south-eastern Brazil. *Journal of Natural History*, 39(32), 3029–3037. <https://doi.org/10.1080/00222930500221403>
- B: Toledo, LF e Haddad, CFB (2005), Repertório acústico e comportamento de vocalização de *Scinax fuscomarginatus* (Anura, Hylidae), *Journal of Herpetology*, 39 (3), 455–464, doi: 10,1670 / 139-04a,1
- Tonini, J. F. R., Provete, D. B., Maciel, N. M., Moraes, A. R., Goutte, S., Toledo, L. F., & Pyron, R. A. (2020). Allometric escape from acoustic constraints is rare for frog calls. *Ecology and Evolution*, 10(8), 3686–3695. <https://doi.org/10.1002/ece3.6155>

- Turin, R. A. F., Nali, R. C., & Prado, C. P. A. (2018). Intraspecific call variation in a Neotropical gladiator frog with a complex advertisement call. *Amphibia Reptilia*, 39(1), 31–39. <https://doi.org/10.1163/15685381-00003147>
- Vélez, A., & Guajardo, A. S. (2020). Individual variation in two types of advertisement calls of Pacific tree frogs, *Hyliola* (= *Pseudacris*) *regilla*, and the implications for sexual selection and species recognition. *Bioacoustics*, 00(00), 1–21. <https://doi.org/10.1080/09524622.2020.1803133>
- A; Wagner, W. E. (1989). Social Correlates of Variation in Male Calling Behavior in Blanchard's Cricket Frog, *Acris crepitans blanchardi*. *Ethology*, 82(1), 27–45. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1989.tb00485.x>
- B; Wagner, W. E. (1989). Fighting, assessment, and frequency alteration in Blanchard's cricket frog. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 25(6), 429–436. <https://doi.org/10.1007/BF00300189>
- Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M., & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour*, 71(3), 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.07.014>
- Welch, A. M., Semlitsch, R. D., & Gerhardt, H. C. (1998). Call duration as an indicator of genetic quality in male gray tree frogs. *Science*, 280(5371), 1928–1930. <https://doi.org/10.1126/science.280.5371.1928>
- Wells, K. D. (1977). The social behaviour of anuran amphibians. *Animal Behaviour*, 25(PART 3), 666–693. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(77\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0003-3472(77)90118-X)
- Zar, J.H. (1996): Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Sueur, J., Aubin, T. & Simonis, C. (2008) Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18, 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>