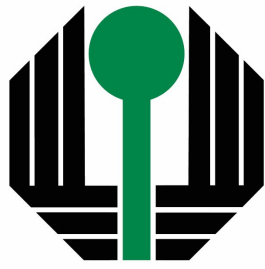


Trabalhos de bioacustica

Programa de pós-graduação em Ciências biológicas



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

Esse livro contém trabalhos finais dos alunos do curso de Introdução à Bioacústica do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina. Todas as informações são de responsabilidade dos autores.

Como a configuração espacial da paisagem influencia na detecção automática de espécies e nos índices de diversidade?

Eryka da Silva Pereira

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil, silvapereira.eryka@gmail.com.

RESUMO

A Ecologia sonora e a Bioacústica são campos de estudo multidisciplinares que tem ganhado cada vez mais espaço no meio científico por fornecerem ferramentas eficientes à promoção da biodiversidade. A análise da paisagem sonora baseia-se na relação intrínseca entre a paisagem espacial e o ambiente acústico, favorecendo a avaliação das comunidades acústicas nele inseridas, no estabelecimento de estratégias de conservação mais efetivas, facilitando o estudo de grupos de hábitos ainda um pouco obscuros e de difícil amostragem, como os tetigonídeos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi detectar sinais acústicos de tetigonídeos nas áreas de plantação de eucalipto (G9/E1-BTJ) e de Mata nativa em estágio avançado de regeneração (G13/M2-PM) relacionando as taxas de detecção à configuração espacial da paisagem e aos níveis de diversidade acústica. Para isso, foi realizada a detecção automática de tetigonídeos (Insecta:Orthoptera) em um banco de dados composto por 220 áudios referentes a 10 dias (22 a 31 de Dezembro de 2017) de amostragem, na faixa das 20 h em sítios de coleta na região do Alto Tietê Cabeceiras, na porção leste do Cinturão Verde Paulista. Foram calculados ainda os índices de Riqueza e Diversidade acústica (AR e ADI) para correlação com diversidade acústica e a configuração espacial da paisagem. Como resultado obtivemos 3.921 detecções de sons de insetos da família Tettigoniidae no banco de dados, sendo 946 delas em áreas de Eucalipto manejado (G9) e 2.975 em áreas de Mata nativa (G13); a diferença no número de detecções entre estas áreas foi estatisticamente significativa; foi encontrada ainda correlação entre a heterogeneidade da paisagem, o número de detecções de tetigonídeos e a diversidade acústica média das duas áreas de coleta., confirmando a influência da configuração espacial da paisagem na diversidade de insetos.

Palavras-chave: Ecoacústica, artrópodes, heterogeneidade, Mata Atlântica, conservação.

INTRODUÇÃO

O termo biodiversidade refere-se ao número de espécies e à heterogeneidade de microorganismos, plantas e animais existentes sobre a Terra (Gaston 2000; Farina & Pieretti 2017). Uma noção mais ampla deste conceito engloba a variabilidade genética inerente às populações naturais, as intrincadas relações ecológicas que elas mantêm, os serviços ecossistêmicos que dispensam à natureza, e portanto, a influência que estas diversas condições exercem sobre o ecossistema, gerando um equilíbrio delicado que garante as condições essenciais à vida nos mais diferentes biomas (Rawat & Agarwal 2015).

Contudo, a despeito de sua relevância, a biodiversidade ainda não é valorada e nem preservada adequadamente. Este passo é imperativo, mas ainda representa um grande desafio na realidade atual, marcada por mudanças climáticas severas, pela intensificação do aquecimento global, pela ocorrência de graves desastres ambientais, e pela modificação das paisagens naturais sendo que todos estes fatores são acentuados pela intervenção antrópica no meio natural (Farina & Pieretti 2017). Como consequência, ocorre a simplificação dos habitats e perda da qualidade ambiental, com diminuição da diversidade de espécies, isolamento e possível quebra de fluxo gênico entre elas, favorecimento das invasões biológicas, intensificação do processo de competição e possibilidade de extinções locais, a longo prazo (Alho 2012; Ross 2012).

Para auxiliar na minimização deste quadro e nas tomadas de decisão em prol da conservação ambiental, o estudo da paisagem é um componente indispensável. Definida de modo célebre como um mosaico heterogêneo, constituído por unidades interativas, segundo ao menos um fator, para um observador, e segundo uma escala definida (Metzger 2001), a paisagem apresenta conexão intrínseca com a estrutura do hábitat e a composição das comunidades (riqueza e abundância) existentes nele (McArthur 1961, 1962). Portanto, suas características estruturais (como a conectividade, o nível de heterogeneidade, complexidade estrutural) e funcionais podem influenciar diretamente na dinâmica dos processos ecológicos, auxiliando na compreensão dos padrões de distribuição e diversidade das espécies e bem como nos fatores que os determinam (Begon *et al.* 2007; Pijanowski *et al.* 2011), servindo para balizar a tomadas de decisão em prol da conservação ambiental.

Os sons são considerados propriedades ecológicas das paisagens (Schafer 1977), além de constituírem um importante recurso no processo de comunicação de

muitas espécies de animais (Farina & Pieretti 2017). Por muitas vezes o som é considerado “a voz coletiva do mundo natural” (Krause 2013). Como um fenômeno físico, ele reflete de forma fidedigna as condições acústicas do local em que foi produzido, prestando-se a à caracterização do ambiente, processos naturais e comunidades acústicas ali presentes, e podendo ser aplicado como ferramenta eficaz à análise da biodiversidade (Castro & De Miranda 2007) em áreas como Bioacústica e a Ecologia de paisagens sonoras.

Bioacústica e Ecologia de Paisagens Sonoras

A Bioacústica é uma área de pesquisa relativamente antiga, e bem consolidada, cujo surgimento é assinalado por três eventos determinantes - as primeiras tentativas de transcrição de sons de aves por ornitólogos, os esforços de Hércule Florence no refinamento das notações musicais no contexto da célebre expedição Langsdorff, e os avanços tecnológicos decorrentes da Primeira Guerra Mundial, os quais viabilizaram a criação dos primeiros sistemas acústicos para registro e reprodução de sons. A Bioacústica no entanto, só toma forma definida a partir da década de 60, com a produção e comercialização dos gravadores portáteis que dinamizaram a reprodução dos sons, tornando-os os únicos sinais passíveis de serem captados, descritos e reproduzidos facilmente (Vielliard & Silva 2004). Após sua adoção como principal ferramenta de pesquisa e método para distinção de espécies pelos ornitólogos, a Bioacústica tornou-se amplamente popular entre especialistas de outras áreas como entomólogos, herpetólogos e primatólogos, auxiliando na investigação da produção, captação e propagação do sinal sonoro no meio, e fomentando o estudo comportamental dos animais. Com isso, surge a necessidade de compilar e organizar esse grande volume de dados em sonotecas, também denominadas “bibliotecas de sons”, consideradas referências para identificações acústicas (Ranft 2004).

A Ecologia acústica, por sua vez, sinonimizada recentemente como Ecologia de paisagens sonoras, constitui um campo promissor, que emergiu entre o fim da década de 1960 e o início de 1970 (Castro & De Miranda 2007; Pijanowski *et al.* 2011a,b; Farina & Gage 2017), absorvendo conceitos de áreas afins como a Acústica, a Ecologia de paisagens e a Bioacústica, embora hoje diferencie-se significativamente destas áreas, segundo seus idealizadores (Pijanowski *et al.* 2011a,b; Farina 2013). Muitas vezes a Bioacústica é distinguida da Ecologia de Paisagens Sonoras por apresentar um viés mais

“micro” da comunidade acústica, estudando padrões sonoros de uma espécie ou no máximo duas (Pijanowski *et al.* 2011a,b) enquanto esta a Ecoacústica apresenta um viés “macro”, analisando a comunidade acústica integralmente. Além disso, a Ecoacústica prioriza uma investigação centrada no ser humano (Sueur & Farina 2015; Gasc *et al.* 2016); os primeiros estudos neste campo envolviam o planejamento urbano (Southworth 1969), a conscientização das pessoas em relação ao ambiente acústico e aos níveis crescentes de poluição sonora. Um divisor de águas para o estabelecimento da Ecologia acústica foi projeto “World Forum for Acoustic Ecology” (WFAE), proposto pelo canadense Murray Schaefer e seus contemporâneos da Simon Fraser University - Barry Truax, e Hildegard Westerkamp, que contribuiu para mensuração dos níveis de poluição sonora, catalogação e conservação das paisagens naturais, permitindo que a atuação da Ecologia de paisagens sonoras se estendesse além do propósito original, permeando as esferas artística, comunicacional, sociológica, antropológica, econômica, política, e inclusive ambiental (Castro & De Miranda 2007; Pijanowski *et al.* 2011a,b; Krause 2013; Sueur & Farina 2015). Isso porque, o estudo dos *soundscape* - conjunto de sons de diferentes origens que compõem o ambiente sonoro - tornou-se o enfoque principal da Ecologia acústica, ao lado de seus antigos interesses de pesquisa – o som e a Ecologia, auxiliando nos estudos de diversidade e conservação ambiental (Pijanowski *et al.* 2011a,b; Krause 2013; Sueur & Farina 2015; Gasc *et al.* 2016).

Comunidades acústicas: ocupação de nicho, configuração espacial do ambiente e níveis de diversidade

O conjunto de sons produzidos em um local (seja ele de origem biofônica, antropofônica e/ou geofônica) constitui o ambiente acústico, e a forma como esses sons são percebidos (via estrutura auditiva), processados (via transdução de sinal) e respondidos (via reação ao estímulo sonoro) pelas pessoas ou pela comunidade acústica circundante cria o conceito de paisagens sonoras (*soundscape*), que é altamente pautado pela relação antrópica com o meio. Tanto o ambiente acústico como as paisagens sonoras sofrem influência do contexto, ou seja, do meio físico no qual estão inseridos (Pijanowski *et al.* 2011; Towsey *et al.* 2014; Fuller 2015).

A interação acústica entre os animais é um processo fundamental à manutenção das relações interespecíficas entre os componentes da comunidade e regulação de fatores comportamentais, como particionamento de recursos, aviso

contra predadores, atração de parceiros sexuais (Fuller *et al.* 2015). Uma comunidade acústica é composta por todos os sonotipos componentes da biofonia local, representando uma agregação de espécies que produz som através de mecanismos internos ou extracorporais, podendo ser uma comunidade acústica comum (maioria dos vertebrados), infrassom (como de cetáceos <20Hz) e ultrassom (>20Hz, insetos, quirópteros) que, portanto resulta de uma troca de informações entre indivíduos (Farina *et al.* 2014; Fuller *et al.* 2015; Farina & James 2016).

Os sinais acústicos dos animais, são constituídos por componentes genéticos (memes) que podem ser herdados e selecionados, gerando aumento no *fitness*, e componentes aprendidos em função da interação dos indivíduos com o meio. Esses sinais podem gerar um sistema de comunicação efetivo, caso haja emissão, recepção, interpretação adequadas do som, e uma reação à este estímulo. Porém, problemas em quaisquer um destes passos são capazes de comprometer a efetividade da comunicação no ambiente (Del-Claro 2004; Alcock 2011). O ambiente acústico é intrinsecamente ligado às características do ambiente físico (Pijanowski *et al.* 2011 b), portanto, da mesma forma que existem estratégias para ocupação do nicho ecológico, os membros da comunidade acústica competem em torno do espectro espacial, apresentando estratégias para ocupação do nicho acústico (Towsey *et al.* 2014). Essas estratégias (como a partição temporal e espacial do nicho) dependem da configuração e previsibilidade do ambiente (fisionomia, presença de filtros ambientais, competição), das estratégias de vida da espécie, das características do canto (Krause 1993; Del-Claro 2004; Sueur & Farina 2015). Como predizem as Hipóteses do Nicho Acústico (*Acoustic Niche Hypothesis* - ANH) e da Adaptação acústica. (*Acoustic Adaptation Hypothesis* – AAH) proposta por Krause (2013), os sons produzidos por espécies que vocalizam ao mesmo tempo, em um determinado habitat sobrepõem-se, levando ao particionamento do espaço acústico, e os animais que habitam determinada região tem seu padrão acústico moldado pelas características estruturais do habitat. Assim, uma variedade de espécies coexiste através da divisão do espaço ecológico e do espaço acústico no qual estão inseridas (Krause, 1993; Acorn 2015; Sueur & Farina 2015), estando adaptadas acusticamente ao local. “Insetos, pássaros e rãs parecem cantar juntos, muitas vezes em frequências sobrepostas. Se alguma coisa, a paisagem sonora animal parece ser um grande exemplo do modo como as espécies coexistem em geral” (Acorn 2015, p. 264).

Por fim, é imprescindível ressaltar, que quanto mais complexas e intrincadas mostram-se são as propriedades acústicas do local, mais complexas e musicais serão as

comunidades acústicas presentes nele, aumentando seu viés de conservação. Ambientes e comunidades perturbados pela ação antrópica, são dotados de um padrão sonoro desequilibrado, que destoa dos locais conservados: ou muito silencioso, com sonoridade pouco diversificada ou com registros sonoros caóticos e incoerentes (Pijanowski *et al.* 2011 a,b; Krause 2013). Seguindo esta mesma linha de raciocínio, espera-se que comunidades dotadas de espécies mais audíveis apresentem um maior índice de diversidade acústica, que se correlacione positivamente com os índices de diversidade empregados pela Ecologia tradicional (Fuller *et al.* 2015).

Insetos e mecanismos de produção sonora

Os insetos são invertebrados hexápodos, de corpo segmentado, esqueleto quitinoso, mandíbula ectognata, comumente dotados de apêndices especializados - dois pares de asas e antenas; eles constituem 70% de todas as espécies de seres vivos, representando o grupo de animais mais diversificado e abundante ao redor do globo (Hickman *et al.* 2016; Pechenick 2016).

Os insetos que produzem sons, costumam dominar a paisagem sonora do ambiente (Tomás 2018), e tem como estratégia principal, a partição temporal de nicho, sinalizando com maior intensidade à noite, afim de evitar predadores, (Fuller *et al.* 2015). Apesar de alguns destes artrópodes serem destituídos de órgãos auditivos especializados (captam apenas a vibração que se propaga pelo solo) e outros não produzirem sons intencionais - alguns himenopteros, dípteros, e coleópteros produzem primordialmente sons de vibração ou farfalhamento pelo deslocamento no ar ou solo ou sons associados à alimentação, a maioria deles utiliza sinais acústicos intencionais na faixa dos ultrassons (>20kHz) durante o processo de comunicação (Scoble 1992; Krause 2013; Pechenick 2016).

Esses sinais são utilizados para atração de parceiros sexuais ou em resposta ao cortejo (canções de chamada ou namoro), para reunião dos indivíduos da mesma espécie (canções congregacionais), sinalização de perigo (sons de alarme ou aviso contra predadores), e sinais agonísticos em resposta à perturbações (como os sons de protesto associados a territorialismo ou confronto entre machos) (Ganchev *et al.* 2007; Pechenick 2016).

As esperanças, insetos classificados na ordem Orthoptera e na família Tettigoniidae (Hickman *et al.* 2016; Pechenick 2016) são considerados eficientes

indicadores da qualidade ambiental, cujo papel ecológico estende-se ainda à visitas florais e polinização (Rentz 1983, 2010; Suetsugu & Tanaka 2014; Tan *et al.* 2017). Também conhecidos como tetigonídeos, estes insetos possuem hábitos pouco estudados em comparação aos demais ortópteros, devido ao fato de serem cantores noturnos, e evitarem facilmente as armadilhas empregadas em sua captura (geralmente *light traps* e *pitfalls*) (Thompson *et al.* 2019).

O chilrear dos tetigonídeos inclui uma série de “cliques” de intervalos relativamente curtos entre si, sendo que cada um destes pulsos é considerado um evento acústico transiente único, produzido via mecanismo de estridulação, através da fricção de uma das asas contra a perna, ou em alguns casos, mediante a ressonância do tégmen (Ganchev *et al.* 2007). As chamadas típicas dos machos são compostas por uma repetição regular de chilreios ou frases de múltiplos pulsos produzidos em sequências temporais variadas. Na maioria das espécies de tetigonídeos, as fêmeas emitem sons em resposta às canções de cortejo do macho, embora haja registro de espécies nas quais as fêmeas estridulam. Algumas características bioacústicas indispensáveis à distinção das famílias, subfamílias e espécies de tetigonídeos são: o harmônico dominante, o ritmo e duração das pulsações, a propagação da energia espectral ao redor do harmônico dominante, e a energia do sobretons (Ganchev *et al.* 2007; Potamitis *et al.* 2007; Thompson 2019).

Índices bioacústicos

Os índices acústicos ou bioacústicos podem ser definidos como estatísticas que resumem alguns aspectos da estrutura e distribuição da energia acústica em uma gravação ou sinal acústico. Eles consistem basicamente de fórmulas matemáticas baseadas em índices já existentes ou não (Towsey *et al.* 2014). Eles constituem importante ferramenta à análise de biodiversidade, permitindo investigar a dinâmica ambiental, através do estudo da energia que transita numa comunidade acústica (como os níveis de entropia), visto que o som audível nada mais é do que a energia que circula em uma comunidade em forma de onda ou vibração (Farina *et al.* 2017). Os índices acústicos possuem como principal vantagem o fato de facilitarem o levantamento automatizado de espécies em ecossistemas, permitindo que tenhamos uma rápida avaliação da biodiversidade (Fuller *et al.* 2015).

Estes índices são divididos em índices de intensidade de ruído de fundo (Índice de Ruído de Fundo), índices de paisagem acústica (como o índice Bioacústico, e o índice de Paisagem Sonora Normalizada), e índices de entropia e diversidade acústica, como os índices de Entropia temporal (H'), Riqueza acústica (AR), e Diversidade Acústica (ADI), de grande aplicabilidade neste estudo, que medem a quantidade de energia em determinada paisagem sonora, gerando dados acerca da riqueza e abundância das espécies na comunidade (Sueur *et al* 2008; Fuller *et al.* 2015).

O índice de Entropia acústica (H) está relacionado ao índice de diversidade de espécies de Shannon (H') sendo equivalente ao produto das duas formas de dispersão de energia em uma gravação – a entropia temporal ou H_t (dispersão de energia acústica dentro de uma gravação) e a entropia espectral ou H_e (dispersão de energia acústica através do espectro), após a aplicação do índice de Shannon (Sueur *et al.* 2008). Este índice foi elaborado para refletir a distribuição uniforme da amplitude de um sinal acústico ao longo do tempo e da frequência de uma gravação. Assim, um único tom puro fornece um valor de entropia próximo à zero, enquanto que uma comunidade acústica composta por muitas espécies vocalizantes obtém um valor de entropia mais próximo a 1, que representa o nível máximo de entropia (Fuller *et al.* 2015).

O índice de Riqueza Acústica (*Acoustic Richness* ou AR) por sua vez, foi modelado após o índice de Shannon, levando em consideração a entropia temporal (H_t) e a amplitude geral do sinal acústico, de modo a contabilizar o ruído de fundo (Depraetere *et al.* 2012). Este índice foi projetado especialmente para investigações realizadas em locais de habitat temperado, nos quais a produção sonora da comunidade não é tão intensa quanto em ambientes tropicais (Fuller *et al.* 2015).

Por fim, temos o Índice de Diversidade Acústica (ADI) que consta como uma modificação do índice de entropia espectral, sendo calculado também a partir do índice de Shannon; seu valor tem como base a ocupação das bandas de frequência pelas espécies vocalizantes, e é validado efetivamente quando apoiado nas baixas variações de ocupação de tempo entre locais de amostragem ao longo do dia. (Villanueva-Rivera *et al.* 2011; Jorge 2017).

Detecção automática de insetos

É na Idade Moderna que ocorre a criação dos primeiros sistemas eletroacústicos no século XIX, como o telefone, o fonógrafo e o fonógrafo, que abrem precedentes

para o aparecimento de sistemas elaborados de gravação e reprodução de som, (Krause, 2013). Isto revoluciona o mundo científico e permite que os trabalhos bioacústicos ou relacionados à acústica ambiental passem a existir de modo científico, pois agora é possível não só amostrar os sons, bem como mantê-los para análise. Neste contexto, os primeiros estudos relacionados à detecção e monitoramento de insetos utilizando sons remontam ao século XIX, em 1909, quando um jornal de temática agrícola veiculou um artigo relacionado à detecção acústica de cupins (Main 1909; Mankin *et al.* 2011). No entanto os gravadores de cassetes, antigos e tradicionais que geravam um processo mais mecânico de gravação (analógico) e muitas vezes produziam degradação dos sinais acústicos, adicionando assobios, distorção, alterações de resposta de frequências, variações de velocidade, foram sendo substituídos pelos métodos digitais (Acorn 2015; Tomás 2018) Hoje existem dispositivos eletrônicos sofisticados, que permitem monitoramento em tempo real e detecção automatizada baseadas em algoritmos computacionais (Schofield 2011; Bilski *et al.* 2017; Phung *et al.* 2017). Assim, na era do *big data*, em que o monitoramento acústico (MAP) permite aos cientistas a geração de um grande volume e dados, tornam-se cada vez mais indispensáveis métodos que permitam otimizar o tempo de busca, e melhorar a eficiência da análise, como é o caso da detecção automática de espécies. (Monczak *et al.* 2019).

Justificativa

Embora os estudos de Ecologia acústica abordando os padrões sonoros de grupos como aves (Celis-Murilo *et al.* 2009; Farina *et al.* 2011 a, b; Farina & Pieretti 2014; Gasc *et al.* 2016; Pieretti *et al.* 2011; Pieretti & Farina 2013; Towsey *et al.* 2014) anfíbios (Weiperth 2016; Alonso *et al.* 2017; Deichmann 2017; Ferreira *et al.* 2018; Leon *et al.* 2019) e animais marinhos (Mciver *et al.* 2014; Rossi-Santos 2014; Hastings & Sirovic 2015; Van Oosterom *et al.* 2016; Coquereau *et al.* 2017) sejam extremamente numerosos e comuns na literatura, os trabalhos relacionados à paisagens sonoras de insetos, são escassos havendo necessidade de maior representação deles em estudos de ecologia acústica (Acorn 2015; Ferreira *et al.* 2018). Embora os insetos representem a classe mais diversificada e abundante de animais (HICKMAN *et al.* 2016; Gangwani & Landin 2018; Stork 2018), sendo benéficos à natureza, agricultura e silvicultura devido à seu papel como polinizadores, mineralizadores da matéria orgânica e agentes importantes à saúde do solo (Verchot *et al.* 2003; Losey & Valghan 2006;

Ganchev & Potamitis 2007; Allsopp *et al.* 2008; Hickman *et al.* 2016), atualmente, eles encontram-se extremamente sub-representados em obras científicas (Gangwani & Landin 2018) envolvidos em diversos esteriótipos negativos (Modro *et al.* 2009; Ulysséa *et al.* 2010; Valadares 2017) e ainda sofrendo com a perda de diversidade que incide principalmente sobre o grupo dos polinizadores como as abelhas (Kandemir 2007; Gill *et al.* 2012; Gangwani & Landin 2018).

Ademais, quanto à área de estudo, o Parque Municipal possui grande heterogeneidade estrutural de vegetação, que propicia grande gama de ambientes a serem colonizados por insetos (Uehara-Prado e Ribeiro, 2012) constituindo uma área apropriada ao estudo deste grupo. Enquanto isso, o cultivo do eucalipto, que constitui a paisagem de uma das áreas de estudo, está entre as principais atividades econômicas que ocorrem nas áreas rurais na região do Alto Tietê (Tomasulo, 2012) constituindo portanto uma fitofisionomia comum que pode melhor aproveitada e abordada em estudos para conservação da biodiversidade.

Tendo em vista todos os aspectos tratados até aqui, o objetivo deste estudo focaliza-se em realizar a detecção automática de sinais acústicos de tetigonídeos nas áreas de plantação de eucalipto (G9/E1-BTJ) e de Mata nativa em estágio avançado de regeneração (G13/M2-PM) comparando a taxa de detecção em função da configuração espacial da paisagem e dos níveis de diversidade acústica. Como objetivos específicos foram definidos: I. Correlacionar o número de detecções de insetos aos índices de diversidade acústica; II. Avaliar a eficiência da detecção (por template, áudio e sítio de coleta) e os fatores que incidem sobre ela. Para isso, buscamos responder à seguinte questão orientadora “Como a configuração espacial da paisagem influencia na detecção automática de espécies e nos índices de diversidade?”, tendo como hipóteses:

I – Que o número de detecções de sinais acústicos de tetigonídeos aumenta em função do crescimento do nível de heterogeneidade e complexidade estrutural da paisagem (alta diversidade acústica) sendo mais elevado na área de Mata nativa (G13);

II - Que o número de detecções de sinais acústicos de tetigonídeos diminui em função da redução no nível de heterogeneidade e complexidade da paisagem (baixa diversidade acústica) sendo menor na área de plantação de eucalipto (G9);

III – O número de detecções acústicas de tetigonídeos está correlacionado ao nível de diversidade acústica da paisagem, sendo que estes dois fatores são influenciados pela configuração espacial da paisagem.

MÉTODOS

Áreas de estudo

As gravações foram realizadas em 20 pontos distintos (Fig. 1) inseridos na porção leste do Cinturão Verde Paulista, na macrorregião do Alto Tietê cabeceiras, incluindo basicamente dois tipos de fitofisionomia distintas – áreas de plantação de eucalipto e áreas de Mata Atlântica Ombrófila Densa, com diferentes níveis de regeneração: Eucalipto manejado (E1), eucalipto com sete anos de regeneração (E2), eucalipto com sete a 14 anos de regeneração e Mata Atlântica em estágio inicial e avançado de regeneração (M1, e M2, respectivamente). Com base nestas fitofisionomias e estágios de regeneração, foram escolhidos seis pontos de coleta na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Botujuru, em Mogi das Cruzes (G5 – E2, G9 – E1, G12 – E3, G15 – E1, G16 - E2 e G17 -E3), oito pontos no Parque das Neblinas, situado entre Mogi das Cruzes e Bertioga (pontos G1 – E2, G2 – M1, G3 – E3, G4 – E2, G6 – E3, G7 – M1, G8 – M2, e G10 – M2), dois pontos em Salesópolis (G18 – E1 e G19 – E1), e quatro pontos no Parque Municipal Natural Francisco Affonso de Mello, em Mogi das Cruzes, apresentando unicamente fitofisionomia de Mata Atlântica (G11 – M1, G13 – M2, G14 - M1, G20 – M2). É importante ressaltar que região do Alto Tietê cabeceiras pertence ao Domínio Atlântico da região Sudeste do Brasil (Fiaschi & Pirani 2009), cujo entorno é caracterizado por floresta do tipo Ombrófila Densa (Colombo & Joly 2010).

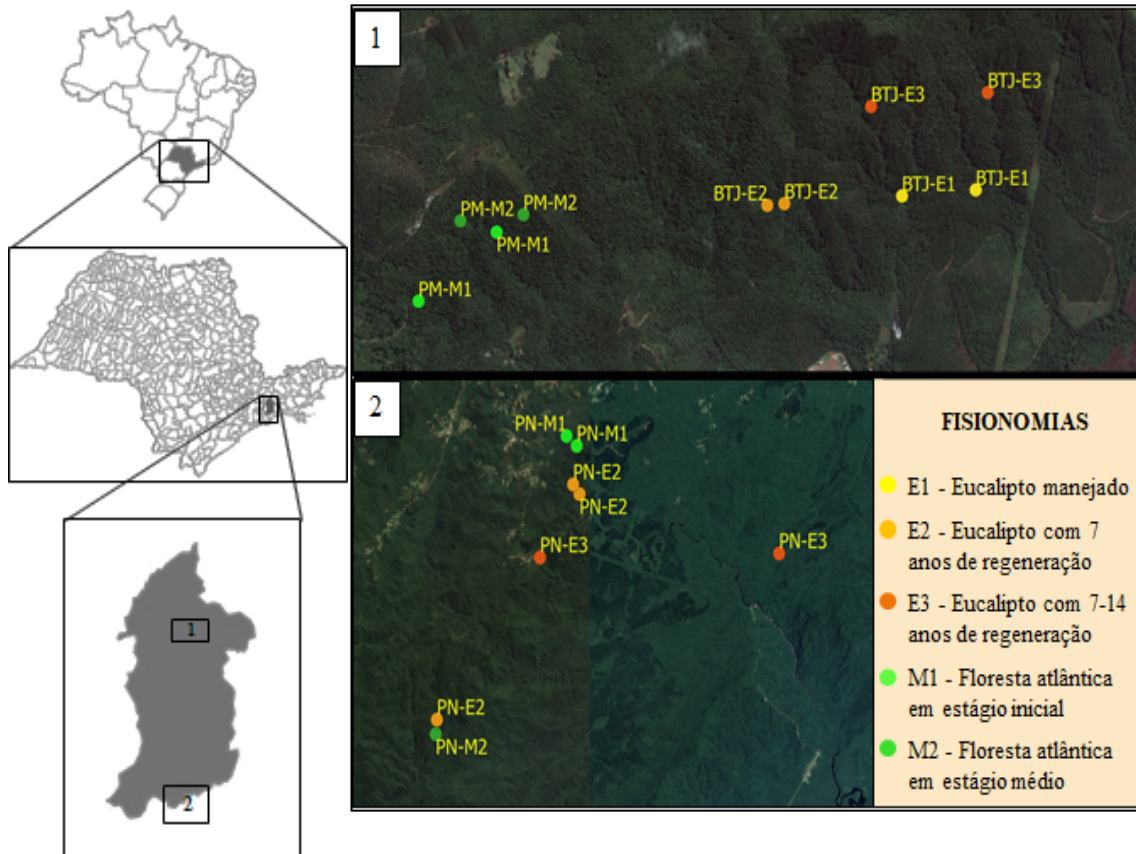


Figura 1. Localização das unidades de gravação.

2.3 Coleta dos dados acústicos

A amostragem ocorreu durante a estação chuvosa, no período de 22 de dezembro de 2017 a 22 de janeiro de 2018, totalizando 30 dias de levantamento e 900 horas de áudio. Foi realizada por meio de Monitoramento Acústico Passivo (MAP) utilizando-se 20 gravadores *Song Meter SM3 (Wildlife)*, cedidos pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) *campus* Rio Claro. Programou-se a gravação de áudio no formato estéreo (bifônico, com gravação em canal 1 e canal 2), com saída em *Waveform Audio File Format (WAV)*, não compactado. Foi realizada a gravação de 2 horas de áudio no período da manhã, 10 minutos nas horas mais quentes do dia e 35 minutos no período noturno, com gravação mais intensa no início da noite (a cada 5 minutos); não foi realizada gravação de 24 horas devido à autonomia dos equipamentos

2.4 Instalação dos aparelhos

Cada gravador foi anexado ao tronco de uma árvore em seu respectivo ponto amostral, a uma altura 1,5 metro da superfície do solo, respeitando-se uma distância mínima de 200 m de raio entre eles. Cada aparelho recebeu um código de identificação, composto pela inicial do local de instalação (exemplo: RPPN Botujuru = BTJ) e da fisionomia vegetal (exemplo: Eucalipto manejado = E1). As coordenadas geográficas referente aos pontos foram registradas via GPS (*Global Positioning System*).

2.5 Seleção dos pontos

Para realização deste estudo, foram selecionados 120 áudios de 1 minuto, da faixa das 20h de 10 dias (22 a 31 de Dezembro de 2017) de apenas dois dos pontos de coleta (G9/E1-BTJ e G13/M2-PM) amostrados. O requisito para escolha foi que as duas áreas apresentassem grande discrepância entre seus níveis de regeneração e fitofisionomia, permitindo a comparação da efetividade da detecção acústica automática e dos índices acústicos empregados frente à configuração espacial da paisagem. Os pontos G9 e G13 referem-se respectivamente à plantação de Eucalipto manejado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), no Botujuru, e à Mata Atlântica Ombrófila Densa em estágio avançado de regeneração (M2) situada nos limites do Parque Municipal Natural Francisco Affonso de Mello. Este último ponto foi escolhido por denotar as características acústicas mais próximas àquelas esperadas em um ambiente florestal conservado. O delineamento amostral realizado foi essencial à viabilidade do projeto, tendo em vista o grande volume de dados disponíveis, e o curto tempo de realização da pesquisa. Contudo, os demais dados gerados serão armazenados considerados para o desenvolvimento pesquisas futuras.

A Reserva Particular do Patrimônio Natural Botujuru (RPPN-Botujuru) (Fig. 2) localizada no município de Mogi das Cruzes é parte da Serra do Itapeti, uma área de proteção ambiental (APA) de 5.2 mil hectares, reconhecida pela UNESCO, em 1994, como parte integrante da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (Instituto Ecofuturo 2011). Tendo em vista a alta fragmentação florestal em áreas de Mata Atlântica, a Serra é um importante remanescente deste bioma. Contudo apenas 442 ha são protegidos em forma de Unidades de Conservação (Morini & Miranda 2012). Ocupando 437 ha da Serra, a RPPN Botujuru é uma propriedade da SPLF

Investimentos e Participações que foi mantida como área manejo de *Eucalyptus* e *Pinus sp.* pela Suzano Papel e celulose. O tempo de desuso permitiu que espécies nativas da flora local se desenvolvessem em alguns trechos no sub-bosque, todavia, os antigos talhões de eucalipto ainda correspondem a 75% da área total da Reserva. (Instituto Ecofuturo 2016).

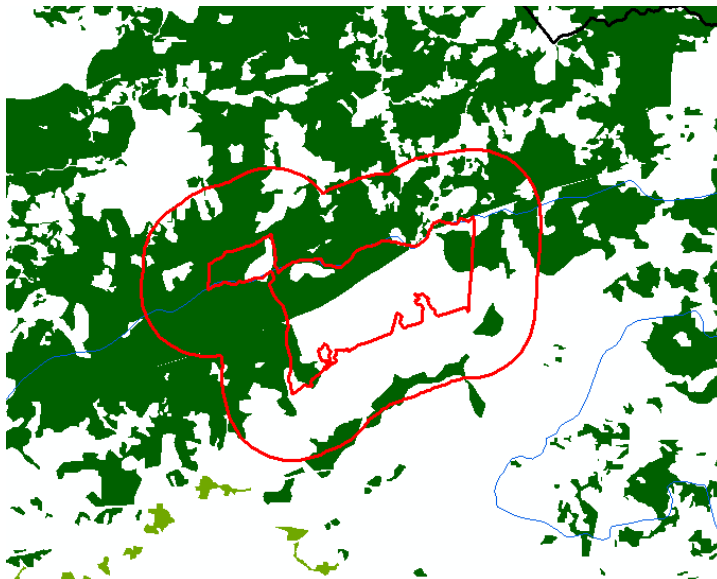


Figura 2. Perímetro da RPPN Botujuru (centro)

Já o ponto G13, inserido em área de Mata nativa em estágio avançado de regeneração pertence ao Parque Natural Municipal Francisco Affonso de Mello, também localizado na Serra do Itapeti. Esta área é uma Unidade de Conservação (Lei 6.220 de 29/12/2008) dotada de Mata Atlântica em estágio avançado de regeneração, sob a égide da Prefeitura Municipal de Mogi das Cruzes (Fig. 3) O parque possui entrada permitida para projetos de educação ambiental, pesquisadores e visitantes (Suguituru *et al.* 2013).

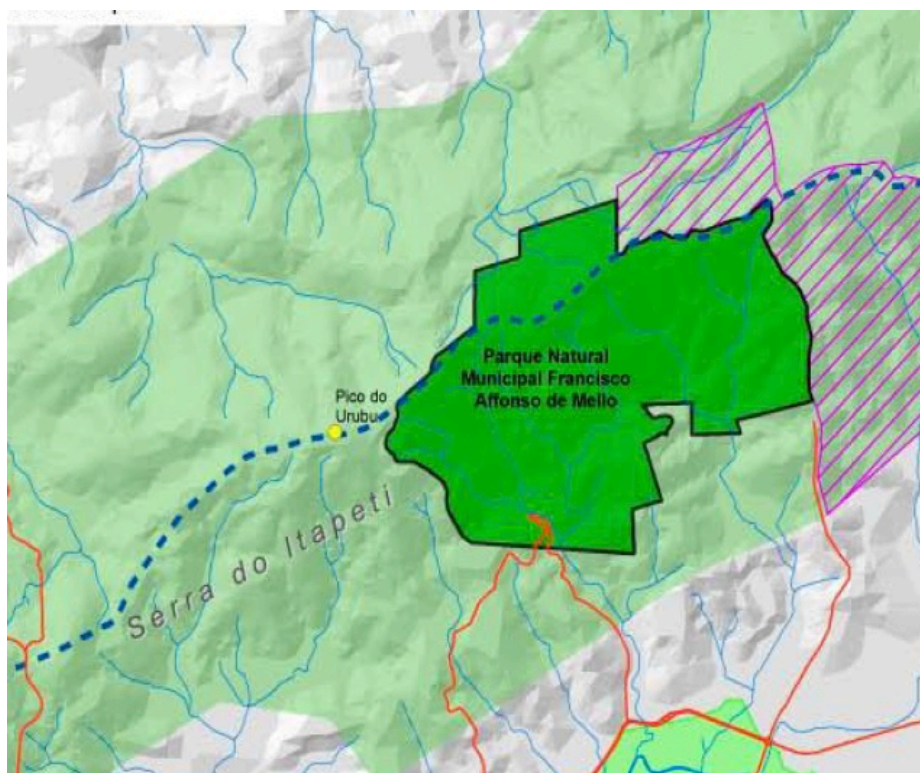


Figura 3. Mapa do Parque Natural Municipal Francisco Affonso de Mello

Análise dos dados

Identificação dos sonotipos de tettigonídeos

Antes da detecção automática, efetuou-se uma avaliação manual rápida de 12 áudios da faixa das 20h do dia 23 de Dezembro de 2017 de cada ponto de gravação selecionado anteriormente (G9 e G13), afim de confirmar a presença dos indivíduos da família Tettigonidae em um número significativo de gravações, e identificar os sonotipos distintos existentes nas gravações, que poderiam ser utilizados como *template* na próxima fase do estudo. Para isso, os áudios foram processados no *Raven Pro 1.5* e no *Software R* (versão 3.1.6), com geração e análise de 24 espectrogramas, e registro de alguns descritores acústicos importantes, como a frequência inicial e final do sinal (F^{ln} e F^f , respectivamente), frequência dominante (F^d), a entropia média (H^m) e a entropia máxima (H^{max}).

Detecção automática dos sons de insetos

Após a identificação dos sonotipos, dois áudios (LABMAP-12-17_0+1_20171223_205120EucaliptoInicial.wav e "LABMAP-12-17_0+1_20171223_200030MataNativa.wav – Material suplementar 1) referentes à mesma data (23 de Dezembro de 2017), com proximidade de horário (faixa das 20 horas), duração e qualidade de sinal adequadas, foram selecionados como *templates* para realização da detecção automática nas áreas de coleta (G9 e G13).

Para individualização do fragmento de interesse destes áudios, união dos templates, e pesquisa destes no banco de dados, utilizou-se um *script* para detecção automática adaptado de Araújo e Carneiro (2019) cujas linhas de comando foram elaboradas no *Software R* (Anexo 1). Para cálculo dos índices de Entropia Temporal (H'), Riqueza acústica e Diversidade acústica utilizou-se outro *script* elaborado no *Software R* (Anexo 2). Para realização do teste de correlação de Pearson entre número de detecções acústicas e a média de diversidade acústica entre áreas de plantação de eucalipto e áreas de Mata nativa foi utilizado o *Past 2.17c* e o *Excel*.

RESULTADOS

Sonotipos de tettigónídeos identificados manualmente

Levando em consideração a avaliação dos espectrogramas, observamos um padrão acústico característico de membros da família Tettigoniidae tanto nos sonotipos de insetos identificados nas áreas de plantação eucalipto (denominado Sonotipo 1 ou S1), quanto naqueles identificados nas áreas de Mata nativa (denominado Sonotipo 2 ou S2). Esse padrão acústico mostrou-se constituído por um conjunto de pulsos ou cliques sequenciais e repetitivos, bem demarcados visual e acusticamente, estando agrupados em frases mais ou menos longas, dotadas de intervalos entre si. Apesar de compartilharem o padrão acústico característico da família Tettigoniidae, os dois sonotipos identificados nestas 24 gravações apresentam diferenças sutis no que tange à

alguns descritores, como a frequência inicial e final do chamado (F^{In}), a frequência dominante (F^d), a entropia média (H^m), e a entropia máxima (H^{max}) (Quadro 1).

Quadro 1 – Comparação entre características acústicas dos sonotipos 1 e 2

Áudio	Sonotipo 1					Sonotipo 2				
	Eucalipto manejado (G9/E1 – BTJ)					Mata nativa (G13/M2-PM)				
	F^{In}	F^f	F^d	H^m	H^{max}	F^{In}	F^f	F^d	H^m	H^{max}
	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(bits)	(bits)	(kHz)	(kHz)	(bits)	(bits)	(bits)
LABMAP-12-17_0+1_20171223_200030.wav	14,4	24,0	18,1	5,5	6,0	14,5	23,0	15,7	5,3	5,9
LABMAP-12-17_0+1_20171223_200535.wav	13,2	23,9	19,0	5,6	6,1	13,7	23,0	18,8	5,3	5,9
LABMAP-12-17_0+1_20171223_201040.wav	14,1	23,9	20,3	5,5	6,2	14,0	23,1	18,4	5,3	5,8
LABMAP-12-17_0+1_20171223_201545.wav	14,6	24,0	19,9	5,4	5,9	13,8	23,0	14,6	5,2	5,6
LABMAP-12-17_0+1_20171223_202050.wav	14,7	23,9	18,4	5,4	5,9	13,8	22,6	15,9	5,3	5,9
LABMAP-12-17_0+1_20171223_202555.wav	14,2	23,9	18,8	5,5	6,0	13,7	22,8	15,2	5,2	5,8
LABMAP-12-17_0+1_20171223_203100.wav	14,1	23,9	17,2	5,5	6,0	13,4	22,6	13,5	5,3	5,8
LABMAP-12-17_0+1_20171223_203605.wav	14,7	24,0	18,0	5,4	5,9	14,0	22,6	14,3	5,3	5,9
LABMAP-12-17_0+1_20171223_204110.wav	14,2	23,9	15,9	5,6	6,0	14,0	22,6	14,3	5,3	5,8
LABMAP-12-17_0+1_20171223_204615.wav	14,6	24,0	16,7	5,4	6,0	13,9	22,5	14,4	5,2	5,8
LABMAP-12-17_0+1_20171223_205120.wav	14,8	23,8	16,8	5,4	6,0	13,9	22,5	14,3	5,2	6,3
LABMAP-12-17_0+1_20171223_205625.wav	14,7	23,8	18,8	5,5	5,8	13,9	22,6	14,1	5,2	5,8
Média	-	-	18,2	5,5	5,9	-	-	15,3	5,3	5,9

Ademais, o chilreio dos tetigonídeos registrados nas áreas de eucalipto inclui frases relativamente mais longas (contendo em média de 20 a 40 pulsos), com grandes intervalos entre si e pouca constância/repetição (Fig. 4. A) ; já nas áreas de mata

pristina, as frases são mais curtas (incluindo em média de 5-6 pulsos), e mais contantes

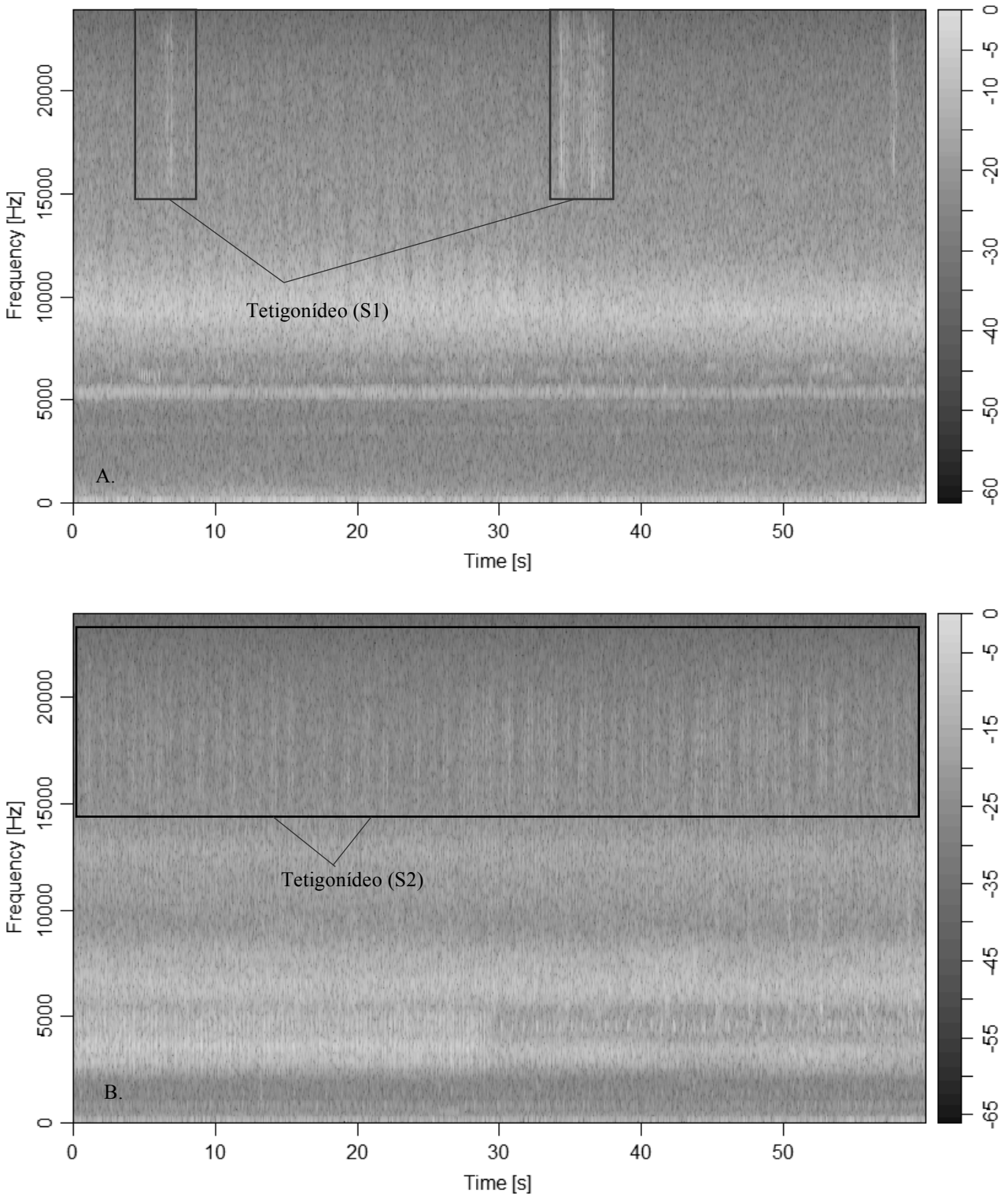


Figura 4. Espectogramas referentes ao dia 23 de Dezembro de 2017, faixa das 20h; A – Área de Eucalipto manejado (G9/E1-BTJ) às 20:51 hrs – Identificação do sonotipo 1; B – Área de Mata nativa (G13/M2 – PM) às 20:30 hrs – Identificação do sonotipo 2.

Detecção automática dos tetigonídeos

A partir dos áudios selecionados foram gerados o Template 1 e o Template 2. O template 1, representativo dos tetigonídeos registrados na área de Eucalipto manejado, apresentou frequências inicial e final equivalentes a 14,3 e 23,7 KHz respectivamente, tempo de início e fim do chamado entre 34,1 e 37,8 segundos e duração de 3,7 segundos (Fig. 5 – A ; Material suplementar 1) e o Template 2, representativo dos tetigonídeos registrados na área de Mata nativa apresentou frequência inicial equivalente a 14,2 KHz, frequência final igual a 22,3 KHz, tempo de início e fim do chamado entre 46,9 e 50,4 segundos, e 3,5 segundos de duração (Fig. 5 – B; Material suplementar 1).

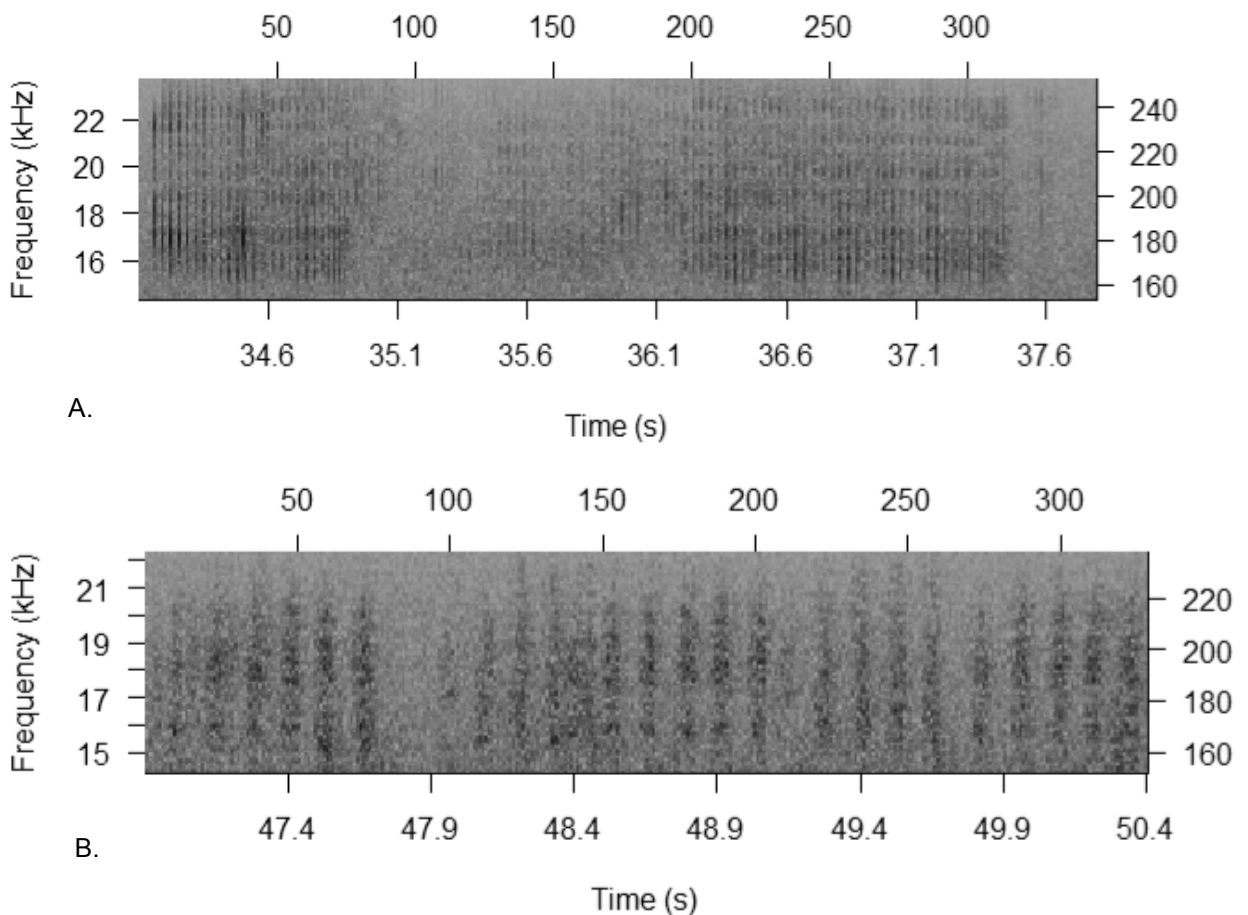


Figura 5. Templates; A – Template 1 (sonotipo 1 – registrado na área de Eucalipto manejado); B – Template 2 (sonotipo 2 – registrado na área de Mata nativa)

Os templates gerados apresentam características acústicas bem próximas, conforme pode ser verificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Características acústicas dos templates

Template	Início (s)	Fim (s)	Duração (s)	Frequência inicial (kHz)	Frequência final (kHz)	Frequência dominante (kHz)	Entropia média (bits)	Entropia máxima (bits)
T1	34,1	37,8	3,7	14,3	23,7	16,8	5,5	6,0
T2	46,9	50,4	3,5	14,2	22,3	15,8	5,3	5,7

Resultados da detecção automática

O templates 1 e 2, em conjunto, geraram 3.921 detecções de sons de insetos da família Tettigoniidae pela busca no banco de dados elaborado para o estudo (n= 220 gravações). Deste total, 946 detecções ocorreram em áudios pertencentes à área de Eucalipto manejado (110 áudios positivos) e 2.975 detecções ocorreram em gravações realizadas em área de Mata nativa (120 áudios positivos; 100% de eficiência) (Fig. 6)

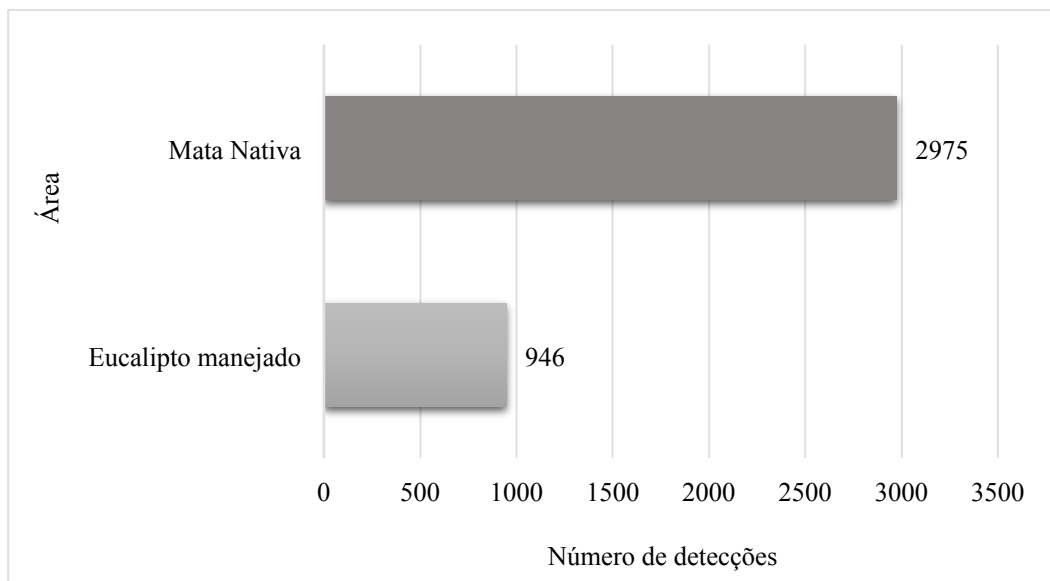


Figura 6. Número de detecções dos templates 1 e 2 (em conjunto) por área de coleta

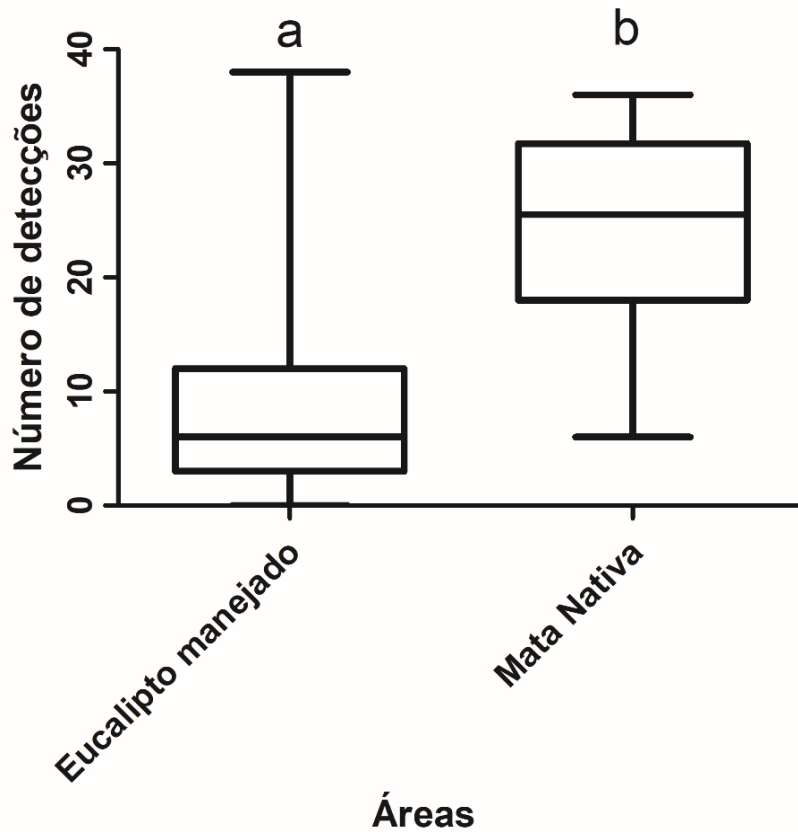


Figura 7 – Diferença no número de detecções dos templates 1 e 2 (em conjunto), por áudio, entre área de Eucalipto manejado (G9/E1 – BTJ) e área de Mata nativa em estágio avançado de regeneração (G13/M2 – PM).

Quando comparamos os resultados obtidos por áudio, verificamos uma grande discrepância entre o número absoluto de detecções dos templates 1 e 2 (em conjunto) entre os sítios de coleta, sendo a que a área Mata nativa (G13), apresentou maior número de detecções em quase todos os áudios analisados, em comparação à área de plantação de eucalipto (G9) (Material Suplementar 2). Essa diferença foi estatisticamente relevante segundo a aplicação do teste não-paramétrico de Mann-Whitney ($U= 737,5$; $p < 0,0001$), as medianas variaram consideravelmente do ponto G9 (0,65) para o ponto G13 (0,15), apresentando valor mais elevado na área de Mata nativa (Fig. 7).

Eficiência da detecção por áudio e ponto de coleta

Quanto à eficiência da detecção nestas áreas, foram verificados 110 minutos positivos para o ponto de Eucalipto manejado, e 120 minutos positivos para o ponto de Mata nativa; ou seja, 110 e 120 áudios de 1 minuto respectivamente, em que foram detectados padrões acústicos compatíveis com o template 1 e com o template 2, frente a um banco de dados composto por 120 áudios para cada área de coleta. Neste contexto, houve uma eficiência de 91,7% na detecção dos áudios na área de plantação de eucalipto e uma eficiência de 100% na área de Mata nativa (Quadro 3).

Tabela 3 – Eficiência da detecção por áudio e ponto de coleta

Ponto de coleta	Área de Eucalipto manejado (G9)	Área de Eucalipto manejado (G9)
Eficiência		
Nº de minutos positivos	110/120 min	120/120 minutos
Verdadeiros positivos	91,7%	100%
Falsos negativos	8,3%	0%

Eficiência da detecção por template

No que tange à eficiência desta análise por template, verificamos que a maior parte das detecções obtidas na área de Eucalipto manejado (913 detecções, representando 96,5% do total) e na área de Mata nativa (1.953 detecções, representando 65,6% do total) foram geradas a partir do uso do Template 1, enquanto que apenas uma pequena parcela das detecções na área de eucalipto (33 detecções, representando 3,5% do total) e 1/3 das detecções na área de Mata nativa (1.022, representando 34,4% do total,) foram geradas pelo emprego do Template 2 (Fig. 8).



Figura 8. Diferença no número de detecções acústicas de tetigonídeos por template em cada área – G9 e G13.

Somando o número de detecções de cada template em ambas as áreas e dividindo o valor resultante pelo total de detecções (3.921), verificamos que a eficiência de detecção do template 1 foi equivalente a 0,7% (2.866 detecções), enquanto o template 2 retornou uma eficiência de apenas 0,27% (1.055 detecções) (Fig. 9).

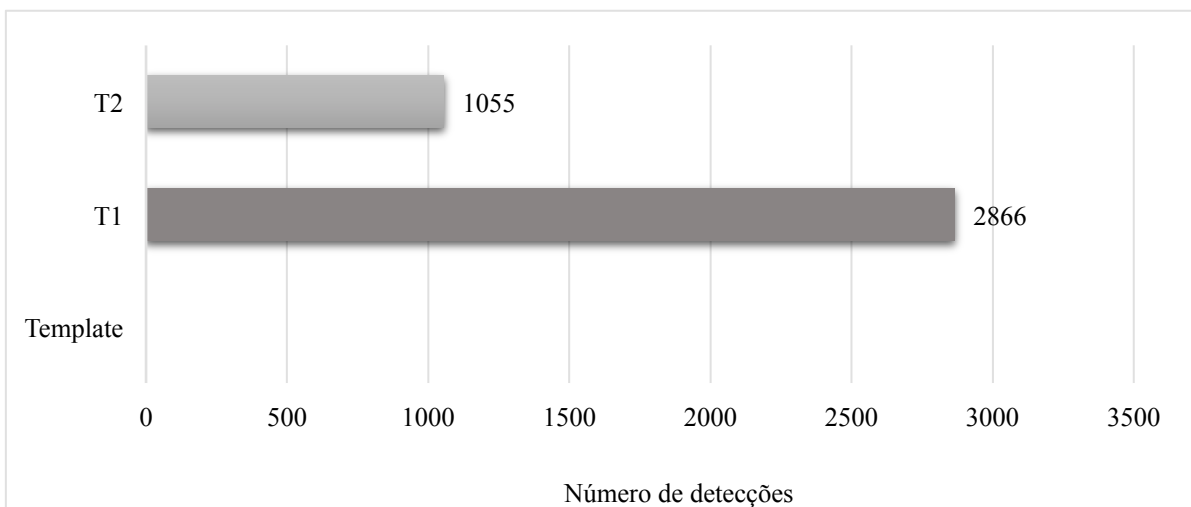


Figura 9. Diferença no número de detecções acústicas de tetigonídeos por template em cada área.

Índices acústicos

O índice de Riqueza Acústica (AR) médio para ambas as áreas (de Eucalipto manejado e Mata nativa) foi equivalente a 1, enquanto que a entropia temporal (H'), estimada durante cálculo de AR, foi em média 1, variando pouco entre as gravações (quase sempre 0,99) amostradas em cada ponto de coleta (Material suplementar 3). A média de diversidade acústica pelo Índice de Diversidade Acústica (ADI) para a área de Eucalipto manejado foi equivalente a 1,8 (canal esquerdo = 1,9; canal direito = 1,7) e de 1,9 para a área de Mata nativa (canal esquerdo = 2,2; canal direito = 1,6) (Material Suplementar 4, Quadro 4).

Quadro 4 – Resumo dos índices acústicos

Média dos índices acústicos		Eucalipto manejado (G9)	Mata nativa (G13)
Riqueza acústica (AR)		1	1
Entropia temporal (H')		1	1
Índice de Diversidade Acústica (ADI)	ADI Canal esquerdo	1,9	2,2
	ADI Canal direito	1,7	1,6
	ADI Total	1,8	1,9

Correlação entre número de detecções acústicas e a diversidade acústica

Tendo em vista que o número de detecções de sinais acústicos de tetigonídeos foi significativamente diferente entre as áreas de eucalipto e Mata nativa ($U= 737,5$; $p < 0,0001$) e que as médias do Índice Diversidade Acústica (ADI) foram bastante discrepantes entre os sítios de coleta (Quadro 3) (embora essa diferença não tenha sido estatisticamente relevante pelo teste de Mann-Whitney; $U= 6,988$, $p>0,05$), realizamos a correlação entre número de detecções acústicas e a média de diversidade acústica entre

áreas de plantação de eucalipto e áreas de Mata nativa. O teste de correlação de Pearson indicou correlação positiva ($r = 1$) entre o número de detecções de tetigonídeos e o nível de diversidade acústica médio das áreas (Fig. 10).

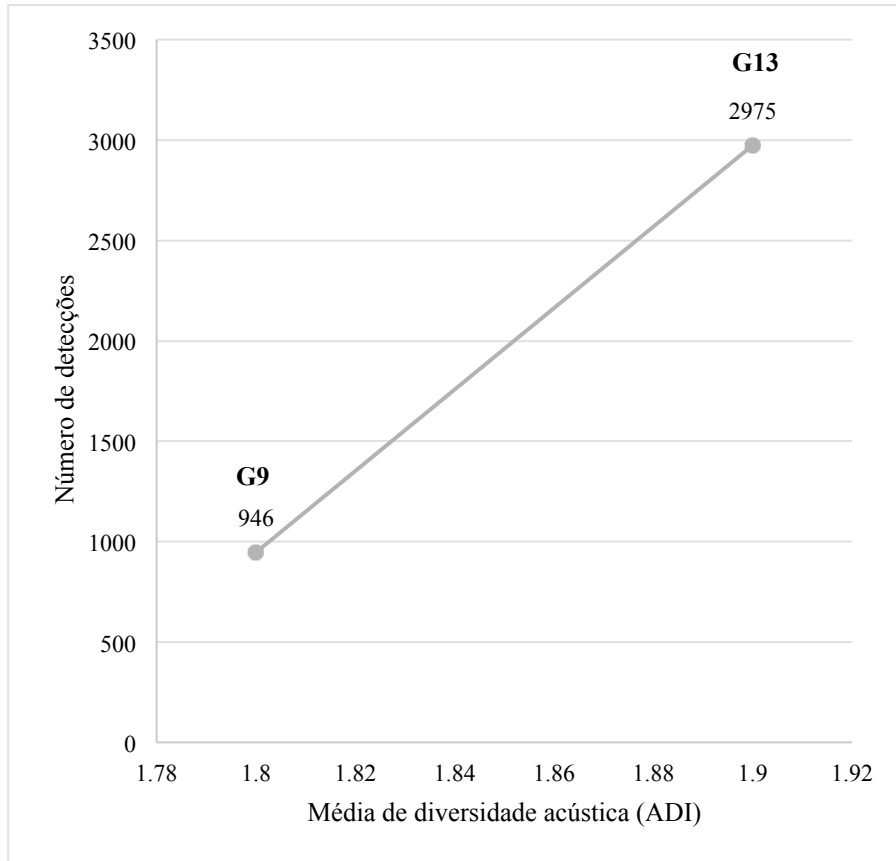


Figura 10. Correlação entre o número de detecções de tetigonídeos e a média de diversidade acústica (via ADI) nas áreas de Eucalipto manejado (G9) e de Mata nativa (G13)

DISCUSSÃO

Sonotipos de tetigonídeos identificados manualmente

Corroborando à confirmação dos resultados obtidos quanto ao padrão acústico dos sonotipos 1 e 2, Ganchev *et al.* (2007) cita que o chilrear dos tetigonídeos é caracterizado por uma sequência pulsos ou “cliques” compostos por intervalos “inter-click” relativamente curtos, onde cada pulso é um evento acústico transiente único,

produzido através do mecanismo de estridulação, via ressonância do tégmen. Ainda de acordo com o autor supracitado, algumas canções de vocação dos machos apresentam componentes produzidos em sequências temporais variadas, sendo que algumas pistas acústicas utilizadas para diferenciar famílias, subfamílias e espécies de insetos são o harmônico dominante, o ritmo e duração das pulsações e a energia dos sobretons. Isto pode explicar as variações encontradas no perfil acústico dos tetigonídeos (sonotipo 1 e 2) identificados nas áreas de plantação de eucalipto e nas áreas de Mata nativa, pois apesar de eles pertencerem à mesma família, pela diferença no ritmo e duração das pulsações, variação nos valores de frequências inicial e final do chamado (14 a 24 KHz para S1 e 13 a 23 KHz para S2) frequência dominante (18,2 em média para S1 e 15,2 para S2) nível de entropia médio (5,3 para S1 e 5,9 para S2) é possível postular que pertençam a subfamílias, gêneros ou espécies distintos. Outro fator que fornece respaldo à esta hipótese, é o fato de estes sonotipos terem sido identificados em sítios de coleta distintos, onde provavelmente ocupam nichos acústicos diferentes, tendo suas características acústicas moldadas pelos componentes estruturais do ambiente onde encontram-se inseridos e pela dinâmica da comunidade acústica que os circunda, como postulam a ANH e AAH (Sueur & Farina 2015; Fuller *et al.* 2015). Porém, não é possível confirmar qualquer identificação mais apurada do nível taxonômico destes indivíduos, considerando que não foram realizadas coletas dos espécimes a partir do qual se obteve o registro sonoro.

Deteção automática e correlação entre diversidade acústica e configuração espacial da paisagem

Conforme verificado nos resultados deste projeto, houve uma grande discrepância entre o número de detecções de tetigonídeos nas áreas de plantação de Eucalipto manejado (ponto G9) e nas áreas de Mata nativa ombrófila densa (G13), sendo que este número foi muito mais elevado nas áreas de Mata nativa, principalmente quando se considera o template 1, que teve maior eficiência de detecção. Este é um dos pontos que corrobora a hipótese de correlação entre a diversidade acústica - espelhada pelo número de detecções dos insetos (abundância de vocalizações/sinais acústicos) e a configuração espacial da paisagem – refletida pelo nível de heterogeneidade e complexidade estrutural da área nativa. Este resultado era esperado, tendo em vista que paisagens mais heterogêneas e mais complexas estruturalmente (como algumas florestas

ou outros tipos de ambientes conservados) costumam apresentar maior diversidade de formações, habitats, e conseqüentemente nichos (ecológicos e acústicos) a serem ocupados pelos animais (MacArthur *et al.* 1962; Begon *et al.* 2007) em relação à áreas mais homogêneas. Baseando-se neste conceito, a hipótese de diversidade-heterogeneidade postula que quanto maior a heterogeneidade de um ambiente, maior será a riqueza e diversidade de espécies encontradas nele, estabelecendo uma correlação direta entre a variedade de formações existentes na paisagem e riqueza/ou diversidade de espécies que nela podem coexistir (MacArthur *et al.* 1962). Isso poderia auxiliar a explicar o maior número de detecções de tetigonídeos aferido nas áreas de Mata nativa, tendo em vista que o ponto G13 (no Parque Municipal) está inserido na Macrozona Urbana de Proteção Ambiental da Serra do Itapeti, uma área de proteção de legislatura estadual (Lei Estadual n. 4.529/85) que abriga cerca de 5.2 mil hectares de maços e remanescentes vegetais importantes de Mata Atlântica, dotados de área de manancial, grande riqueza em biodiversidade e presença de sítios arqueológicos (Instituto Ecofuturo 2016).

Um mapeamento e identificação de formações vegetais para potencial restauração no município realizado por Oliveira & Sartorello (2016) no município de Mogi das Cruzes, demonstrou que os remanescentes de mata apresentam alta heterogeneidade, apesar do elevado nível de fragmentação, áreas de expansão agrícola e urbana que vem suprimindo a floresta desenvolvida. Ademais, conforme citam Morini & Miranda (2012) atualmente as fitofisionomias de Mata Atlântica encontradas na Serra do Itapeti são florestas naturais nos estágios inicial, pioneiro e médio-avançado de regeneração, incluindo paisagens dotadas de grande heterogeneidade, que refletem a própria heterogeneidade da atividade humana na região, tendo em vista que alguns ambientes no entorno da floresta encontram-se bastante antropizados pela silvicultura e pelo plantio de eucalipto, e sofrem processo de regeneração espontânea onde as áreas desmatadas são naturalmente repovoadas (Tomasulo 2012). O Parque Natural Municipal Francisco Affonso de Mello, inserido na Serra também possui grande heterogeneidade de ambientes e vegetação, apresentando desde locais descampados, à capoeiras, topos de morros, riachos, brejos, e matas mais bem estruturadas nas áreas mais distantes (Uehara-Prado & Ribeiro 2012), habitats considerados indispensáveis à manutenção da vida silvestre (Morini & Miranda 2012). Essa variedade de ambientes com certeza influi na geração de uma variedade de nichos ecológicos e acústicos distintos, segundo as hipóteses da Heterogeneidade-diversidade e do Nicho Acústico

(Macarthur *et al.*, 1962; Krause, 1993). Estes nichos, por sua vez, podem ser ocupados por insetos cosmopolitas como os tetigonídeos, gerando populações diversas e robustas acusticamente, que apresentam maior abundância de registros acústicos do que populações de outros ambientes. Isso ocorre porque a paisagem espacial e a paisagem sonora encontram-se estreitamente relacionadas; o ambiente acústico é um componente funcional das paisagens, portanto, é correto esperar que quanto mais complexas e heterogêneas forem as paisagens de determinado ambiente, mais rico e diversificado será o ambiente acústico, com maior uso do espaço acústico pelas espécies (Krause 2013; Fuller *et al.* 2015; Aide *et al.* 2017). Um dos pontos que corrobora esta relação, é o nível médio de diversidade acústica aferido nas áreas de Mata nativa (1,9), que foi mais elevado do que aquele obtido nas áreas de eucalipto manejado (1,8), que apresentam padrão de paisagem mais homogêneo e monótono.

Quanto ao menor número de detecção de sinais acústicos de tetigonídeos obtidos nas áreas de Eucalipto manejado (G9) este resultado seria justificável e facilmente discutido mediante a lógica inversa àquela utilizada para as áreas de Mata nativa. Ambientes antropizados ou perturbados pela atividade humana, como os locais de silvicultura e plantação de eucalipto existentes na RRPPN do Botujuru ou em outras áreas rurais de Mogi das Cruzes (Instituto Ecofuturo 2016) apresentam um padrão mais homogêneo ou monótono de paisagem, ou seja, dotado de menor complexidade estrutural (mais simples e menos diferenciado). Em comparação com ambientes heterogêneos, um ambiente mais homogêneo consequentemente apresenta menor variedade de habitats e nicho que as espécies possam ocupar (MacArthur *et al.* 1962; Begon *et al.* 2007). Deste modo projetamos automaticamente um menor valor de diversidade acústica (ADI médio = 1,8), e um menor número de detecções de registros acústicos de tetigonídeos para o ponto G9. Por fim, como cita Pinajowski *et al.* (2011), ambientes perturbados pela ação antrópica, são dotados de um padrão sonoro desequilibrado, que destoa dos ambientes conservados: ou muito silencioso, com sonoridade pouco diversificada, possuindo com registros sonoros caóticos e incoerentes.

Quanto à possibilidade de comparação dos resultados obtidos neste projeto com estudos similares na literatura, apesar de ainda não existirem pesquisas relacionadas à diversidade acústica ou detecção automática de insetos por meio dos sons na região do Alto Tietê, ou em áreas próximas, que possam fornecer respaldo às correlações testadas neste projeto, existe um estudo relevante realizado por Suguituru *et al.* (2013) acerca da diversidade e riqueza de formigas em remanescentes de Mata Atlântica na Bacia

Hidrográfica do Alto Tietê, em São Paulo. Este estudo representa a possibilidade mais próxima de comparação, de resultados tendo em vista a proximidade filogenética dos organismos de estudo (formigas) com os ortópteros na Classe Insecta. Suguituru *et al.* (2013) avaliaram a diversidade, composição e a similaridade da fauna de formigas entre sete remanescentes de Floresta Ombrófila Densa da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, incluindo unidades de conservação pertencentes à Macrozona Urbana de Proteção Ambiental da Serra do Itapeti onde também está situado um dos pontos de coleta deste projeto. Como resultado, os autores verificaram que a produtividade primária, a complexidade e a heterogeneidade do ambiente, expressa pela riqueza e composição das comunidades de plantas temperatura, umidade e topografia podem ser responsáveis pela variação nos índices de diversidade observado nas diferentes localidades de estudo”, o que vem diretamente ao encontro dos resultados encontrados neste projeto, onde as hipóteses de correlação entre configuração espacial da paisagem e nível de diversidade acústica foram confirmados pela diferença no número de detecções de sinais acústicos de tetigonídeos e pela diferença no nível de diversidade acústica. Conforme verificado nos resultados, apesar da diferença entre os níveis de detecção acústica de insetos ter sido significativa estatisticamente, e a diferença nos níveis de diversidade acústica entre as áreas de coleta não ter sido relevante estatisticamente, estas duas variáveis apresentaram correlação positiva ($R=1$) pois tanto o número de detecções de tetigonídeos quanto o nível de diversidade acústica crescem da área de Eucalipto manejado para a área de Mata nativa.

Outro estudo relevante à esta discussão foi desenvolvido por Aide *et al.* (2017) que comparou a riqueza de morfoespécies acústicas de pássaros, mamíferos, anuros e insetos em oito pontos de floresta tropical, com vistas à esclarecer relação entre o uso do espaço acústico (ASU) e a diversidade grupos taxonômicos. Os resultados encontrados amparam as discussões deste projeto, pois além de apontarem a riqueza de insetos como um dos melhores preditores de uso do espaço acústico, também demonstraram que a configuração do ambiente - segundo a variação de altitude e topografia - afeta a detecção de insetos e seu nível de riqueza, sendo que os índices de diversidade e riqueza para este grupo de artrópodes foram proporcionalmente maiores em algumas áreas como a Floresta pré-montana, seguida pela Floresta seca e por outros locais montanhosos não especificados.

É válido discutir ainda os resultados dos outros índices acústicos empregados, como o índice de riqueza acústica (AR), e o nível de entropia temporal (H') obtido em

função do AR. O índice de riqueza acústica em ambos os sítios de coleta (G9 e G13) não diferiu, sendo equivalente a 1. Portanto em tese, tanto as gravações realizadas tanto na área de Eucalipto manejado como na área de Mata nativa apresentam um elevado nível de riqueza (número de morfoespécies acústicas distintas), que, inclusive, seria comparável. O nível médio de entropia também foi igual e elevado nos dois sítios de coleta ($H_{tm}=1$). Reiterando o que diz Fuller et al. (2015) acerca da entropia acústica: “um único tom puro fornece um valor de entropia próximo à zero, enquanto que uma comunidade acústica composta por muitas espécies vocalizantes obterá um valor de entropia mais próximo a 1”. Tendo essa asserção em mente, é possível postular a comunidade acústica destas áreas apresenta uma grande diversidade e um elevado número de espécies vocalizantes. Outra hipótese possível para justificar este alto valor de entropia em ambos os sítios de coleta, seria a interferência do ruído de fundo nas análises, visto que o índice de riqueza acústica a partir do qual se obteve a entropia temporal, é um índice mais voltado à avaliação de florestas de clima temperado, nos quais a produção sonora da comunidade não é tão intensa quanto em ambientes tropicais (Fuller *et al.* 2015). Quando o ruído ou os sinais de banda larga (por exemplo, chuva ou cigarras) são muito altos, em uma gravação, as medidas de entropia espectral correm o risco de fornecer resultados contra-intuitivos próximos a 1. Apesar disso, Sueur *et al.* (2008) demonstrou em seu estudo, que a riqueza de espécies varia conjuntamente ao nível de entropia, utilizando um modelo logarítmico para coros simulados e registros de campo em florestas tropicais com alta atividade acústica dos animais e baixo ruído de fundo.

Eficiência dos templates

Por fim, é interessante discutir a eficiência dos templates, e os possíveis fatores de influência sobre os resultados obtidos (escolha do template, qualidade do sinal utilizado, características acústicas dos templates). Conforme já exposto na seção referente aos resultados, o template 1 apresentou maior taxa de sucesso ou compatibilidade com a paisagem sonora das gravações presentes no banco de dados do projeto, sendo capaz de gerar 913 detecções (96,5% do total) na área de Mata nativa e 1.953 detecções (65,6% do total) na área de eucalipto, totalizando 2.866 detecções em 220 minutos de gravação; enquanto isso, apenas 33 detecções (3,5% do total) na área de Eucalipto manejado e 1/3 das detecções na área de Mata nativa (1.022,

representando 34,4% do total) foram geradas pelo emprego do Template 2, totalizando 1.055 detecções em 220 minutos de gravação. Conforme pode ser observado no Quadro 2, apesar de o Template 1 possuir características acústicas bem próximas ao Template 2, sua duração, frequência dominante, nível de entropia médio e máximo são ligeiramente maiores (em décimos) do que o do template 2, o que pode ter levado a maiores chances de sucesso na detecção. Além disso, se compararmos as características acústicas dos templates com as características acústicas dos sonotipos de tetigonídeos avaliados manualmente no tópico 3.1 dos resultados, verificamos que o template 1 realmente tem maior compatibilidade com os valores de frequência e entropia das áreas de coleta.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Desejo expressar toda a minha gratidão pelos valiosos ensinamentos dos professores Drs. Carlos Barros de Araújo e Marcus Robalinho, pelos comentários úteis e auxílio dos colegas Riuler Acosta, João Miguel, e pela troca de experiência e aprendizado gerado durante a disciplina de Bioacústica Teórica e Aplicada que fomentou a elaboração deste projeto.

REFERÊNCIAS

- Acorn, J. 2015. Insects and the “Soundscape”. *American Entomologist*, 61 (4): 263-264.
- Aide, T., Hernández-Serna, A., Campos-Cerqueira, M., Acevedo-Charry, O. & E Deichmann, J. Species richness (of insects) drives the use of acoustic space in the tropics. *Remote Sensing*, v. 9, n. 11, p. 1096, 2017.
- Alcock, J. 2011. *Comportamento animal: uma abordagem evolutiva*. 9.ed. Porto Alegre: Artmed, 606p.
- Alho, C. Jr. 2012. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. *Estudos avançados*, v. 26, n. 74, p. 151-166.
- Alonso, J. B., Cabrera, J., Shyamnani, R., Travieso, C. M., Bolaños, F., García, A., ... & Wainwright, M. 2017. Automatic anuran identification using noise removal and audio activity detection. *Expert Systems with Applications*, 72, 83-92.

Allsopp, M. H., De Lange, W. J., & Veldtman, R. 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS One*, 3(9), e3128.

Begon, M.; Townsend, C. R. & Harper, J. L. 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora.

Bilski, P., Bobiński, P., Krajewski, A., & Witomski, P. 2017. Detection of wood boring insects' larvae based on the acoustic signal analysis and the artificial intelligence algorithm. *Archives of Acoustics*, 42(1), 61-70.

Castro, R. L. & De Miranda, J. B. 2007. *Ecologia acústica*. Dissertação de mestrado. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. Universidade de Nova Lisboa, 2007.100f.

Celis-Murillo, A., Deppe, J. L., & Allen, M. F. 2009. Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. *Journal of Field ornithology*, 80(1), 64-78.

Colombo, A. F.; Joly, C.S. 2010. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*.

Coquereau, L., Lossent, J., Grall, J., & Chauvaud, L. 2017. Marine soundscape shaped by fishing activity. *Royal Society open science*, 4(1), 160606.

Del-Claro, K. 2004. *Comportamento Animal – Uma introdução à ecologia comportamental*. Jundiaí: Livraria Conceito.

Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & Sueur, J. 2012. Monitoring animal diversity using acoustic indices: implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 13(1), 46-54.

Deichmann, J. L., Hernández-Serna, A., Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. 2017. Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest. *Ecological indicators*, 74, 39-48.

Farina, A. 2013. *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*. 1 ed. Berlin: Springer Science e Business Media, 315p.

Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., & McWilliam, J. 2014. Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban ecosystems*, 17(4), 923-944.

Farina, A.; Gage, S. H. Ecoacoustics: a new science. 2017. In: Farina, A; Gage, S. H. *Ecoacoustics: The ecological role of sounds*. 1 ed. Nova Jersey: John Wiley e Sons, 352p.

Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., & McWilliam, J. 2014. Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban ecosystems*, 17(4), 923-944.

Farina, A.; James, P. 2016. The acoustic communities: Definition, description and ecological role. *Biosystems*, v. 147, p. 11-20.

Farina, A., Lattanzi, E., Malavasi, R., Pieretti, N., & Piccioli, L. 2011. Avian soundscapes and cognitive landscapes: theory, application and ecological perspectives. *Landscape ecology*, 26(9), 1257-1267 b.

Farina, A., Pieretti, N., & Piccioli, L. 2011. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. *Ecological Informatics*, 6(6), 354-363 a.

Ferreira, L., Oliveira, E. G., Lopes, L. C., Brito, M. R., Baumgarten, J., Rodrigues, F. H., & Sousa-Lima, R. 2018. What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics*, 2, PVH6YZ.

Fiaschi, P.; Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, v.47, p. 477-496.

Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., & Gage, S. H. 2015. Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration?. *Ecological Indicators*, v. 58, p. 207-215.

Ferreira, L., Oliveira, E. G., Lopes, L. C., Brito, M. R., Baumgarten, J., Rodrigues, F. H., & Sousa-Lima, R. 2018. What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics*, 2, PVH6YZ.

Ganchev, T.; Potamitis, I.; Fakotakis, N. 2007. Acoustic monitoring of singing insects. In: 2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - ICASSP'07 (Vol. 4, pp. IV-721), 2007, Honolulu, Hawaii, USA. p. 721-724.

Ganchev, T.; Potamitis, I. 2007. Automatic acoustic identification of singing insects. *Bioacoustics*, 16(3):281-328.

Gangwani, K., & Landin, J. 2018. The decline of insect representation in biology textbooks over time. *American Entomologist*, 64(4), 252-257.

Gaston, K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, v. 405, n. 6783, p. 220.

Gasc, A., Francomano, D., Dunning, J. B., & Pijanowski, B. C. 2016. Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions. *The Auk: Ornithological Advances*, 134(1), 215-228

Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., & Raine, N. E. 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. *Nature*, 491(7422), 105.

Hastings, P. A., & Širović, A. 2015. Soundscapes offer unique opportunities for studies of fish communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5866-5867.

Hickman, C. P.; Roberts, L. S.; Keen, S. L. 2016. *Princípios integrados de zoologia*. 16 ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-Guanabara Koogan, 954p.

Instituto Ecofuturo. 2011. *Plano de manejo do Parque Natural Municipal Francisco Affonso de Mello “Chiquinho Veríssimo”*. São Paulo.

Instituto Ecofuturo. 2016. *Reserva Botujuru Serra do Itapety: Um breve resumo do plano de manejo*. São Paulo.

Jorge, F. P. 2017. *Os índices acústicos de aves para o monitoramento de floresta: o potencial do uso em fragmentos de Mata Atlântica*. Tese de doutorado. Ilhéus: Universidade Estadual de Santa Cruz.

Kandemir, I. 2007. A review of mass honey bee losses in the United States and Colony Collapse Disorder (CCD). *U. Bee J*, 7, 63-69.

Krause, B. L. 1993. The niche hypothesis. *Soundscape Newsletter*, 6, 6–10.

Krause, B. L. 2013. *A grande orquestra da natureza: descobrindo as origens da música no mundo selvagem*. 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 246p.

Leon, E., Peltzer, P. M., Lorenzon, R., Lajmanovich, R. C., & Beltzer, A. H. 2019. Effect of traffic noise on *Scinax nasicus* advertisement call (Amphibia, Anura). *Iheringia. Série Zoologia*, 109.

Losey, J. E., & Vaughan, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4), 311-323.

MacArthur, R. H. & MacArthur, J. W. 1961. On Bird Species Diversity. *Ecology*, v. 42, n. 3, p. 594-598.

MacArthur, R. H. MacArthur, J. W. & Preer, J. 1962. On Bird Species Diversity. II. Prediction of Bird Census from Habitat Measurements. *The American Naturalist*, v. 96, n. 888, p. 167-174, 1962.

MacArthur, R. H. 1964. Environmental factors affecting bird species diversity. *The American Naturalist*, v. 98, n. 903, p. 387-397.

Main, F. 1909. La destruction des fourmis blanches. *Journal of Tropical Agricultural*, 101:350.

Mankin, R. W., Hagstrum, D. W., Smith, M. T., Roda, A. L., & Kairo, M. T. K. 2011. Perspective and promise: a century of insect acoustic detection and monitoring. *American Entomologist*, 57(1), 30-44.

McIver, E. L., Marchaterre, M. A., Rice, A. N., & Bass, A. H. 2014. Novel underwater soundscape: acoustic repertoire of plainfin midshipman fish. *Journal of Experimental Biology*, 217(13), 2377-2389.

Metzger, J. P. 2001. O que é ecologia de paisagens? *Biota neotropica*, 1:1-9.

Modro, A. F. H., de Sousa Costa, M., Maia, E., & Aburaya, F. H. 2009. Percepção entomológica por docentes e discentes do município de Santa Cruz do Xingu, Mato Grosso, Brasil. *Biotemas*, 22(2), 153-159.

Monczak, A., Ji, Y., Soueidan, J., & Montie, E. W. 2019. Automatic detection, classification, and quantification of sciaenid fish calls in an estuarine soundscape in the Southeast United States. *PloS one*, 14(1), e0209914.

Morini, M. S. C.; Miranda, V. F. O. (orgs). 2012. *Serra do Itapeti: Aspectos históricos, sociais e naturalísticos*. 1. Ed. São Paulo: Canal 6.

Oliveira, A. K. & Sartorello, R. 2016. Mapeamento de formações vegetais e identificação de áreas para restauração no município de Mogi das Cruzes. In: *XIX Congresso de Iniciação Científica da Universidade de Mogi das Cruzes*. Disponível em:

<http://www.umc.br/_img/_diversos/pesquisa/pibic_pvic/XIX_congresso/artigos/Anne_Karoline_de_Oliveria.pdf>.

Pechenik, J. A. 2016. *Biologia dos Invertebrados* 7ed. São Paulo: McGraw Hill Brasil.

Phung, Q. V., Ahmad, I., Habibi, D., & Hinckley, S. 2017. Automated insect detection using acoustic features based on sound generated from insect activities. *Acoustics Australia*, 45(2), 445-451.

Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868-873.

Pieretti, N., & Farina, A. 2013. Application of a recently introduced index for acoustic complexity to an avian soundscape with traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 891-900.

Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., E Krause, B. L. 2011. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, v. 26, n. 9, p. 1213-1232, a

Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... E Pieretti, N. 2011. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, v. 61, n. 3, p. 203-216, b.

Potamitis, I.; Ganchev, T.; Fakotakis, N. 2007. Automatic acoustic identification of crickets and cicadas. In: 2007 9th *International Symposium On Signal Processing And Its Applications* Ieee, 2007, Sharja, p. 1-4.

Ranft, R. 2004. Natural sound archives: past, present and future. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 76, n. 2, p. 456-460.

Rawat, U. S., & Agarwal, N. K. 2015. Biodiversity: concept, threats an conservation. *Environment Conservation Journal*, 16(3), 19-28.

Rentz, D. C. F., & Clyne, D. 1983. A new genus and species of pollen-and nectar-feeding katydids from eastern australia (Orthoptera: Tettigoniidae:Zaprochilinae). *Australian Journal Of Entomology*, 22(2), 155-160.

Rentz, D. C. F. 2010. A guide to the katydids of Australia. CSIRO Publishing.

Rossi-Santos, M. R. 2014. Oil industry and noise pollution in the humpback whale (Megaptera novaeangliae) soundscape ecology of the southwestern Atlantic breeding ground. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 184-195.

Schofield, J. 2011. *Real-time acoustic identification of invasive wood-boring beetles*. Tese de Doutorado. Reino Unido: University of York.

Scoble, M. J. 1992. *The Lepidoptera. Form, function and diversity*. Oxford University Press.

Southworth, M. 1969. *The sonic environment of cities. The sonic environment of cities. Environment e Behavior, 1(1):49-70.*

Stork, N. E. 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth?. *Annual review of entomology, 63*, 31-45.

Suetsugu, K., & Tanaka, K. 2014. Consumption of *Habenaria sagittifera* pollinia by juveniles of the katydid *Ducetia japonica*. *Entomological Science, 17(1)*, 122-124.

Sueur, J.; Farina, A. 2015. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemitotics, 8(3):493-502.*

Suguituru, S. S., de Souza, D. R., de Bortoli Munhae, C., Pacheco, R., & de Castro Morini, M. S. 2013. Diversidade e riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em remanescentes de Mata Atlântica na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, SP. *Biota Neotropica, 13(2)*, 141-152.

Tan, M. K., Artchawakom, T., Wahab, R. B. H. A., Lee, C. Y., Belabut, D. M., & Tan, H. T. W. 2017. Overlooked flower-visiting Orthoptera in Southeast Asia. *Journal of Orthoptera Research, 143-153.*

Thompson, A. C., Samways, M. J., & Bazelet, C. S. 2019. Biosphere reserve zones are equal in terms of katydid ecoacoustics. *Bioacoustics, 1-17.*

Tomás, H. R. 2018. *Paisagem sonora do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro: riqueza e diversidade acústica de um trecho de Mata Atlântica*. Trabalho de Conclusão de Curso. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas.

- Tomasulo, P. 2012. Flora fanerogâmica da Serra do Itapeti. In: *Serra do Itapeti: aspectos históricos, sociais e naturalísticos (MSC Morini & VFO Miranda, org.)*. Editora Canal6, Bauru, 107-125.
- Towsey, M., Wimmer, J., Williamson, I., & Roe, P. 2014. The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment. *Ecological Informatics*, v. 21, p. 110-119, 2014.
- Uehara-Prado, M., & Ribeiro, D. B. 2012. Borboletas em Floresta Atlântica: métodos de amostragem e inventário de espécies na Serra do Itapeti. In: *Serra do Itapeti: aspectos históricos, sociais e naturalísticos, 1*, 167-186.
- Ulysséa, M. A., Hanazaki, N., & Lopes, B. C. 2010. Percepção e uso dos insetos pelos moradores da comunidade do Ribeirão da Ilha, Santa Catarina, Brasil. *Biotemas*, 23(3), 191-202.
- VALADARES, L. A percepção do homem sobre os insetos. In: PASA, M. C. e DAVID, M. 2017. *Múltiplos olhares sobre a biodiversidade*. 5ed. Cuiabá: EdUFMT, Carlini e Caniato Editorial, 550 p.
- Van Oosterom, L., Montgomery, J. C., Jeffs, A. G., & Radford, C. A. 2016. Evidence for contact calls in fish: conspecific vocalisations and ambient soundscape influence group cohesion in a nocturnal species. *Scientific reports*, 6, 19098.
- Verchot, L. V., Moutinho, P. R., & Davidson, E. A. 2003. Leaf-cutting ant (*Atta sexdens*) and nutrient cycling: deep soil inorganic nitrogen stocks, mineralization, and nitrification in Eastern Amazonia. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(9), 1219-1222.
- Vielliard, J.; Silva, M. L. 2004. A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em Comportamento animal. Bioacoustics as a research tool in animal behavior”, Estudos do Comportamento II, edited by G. Assis, R. Brito, and WL Martin (Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil), p. 1-15.
- Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape ecology*, 26(9), 1233.

Weiperth, A., Smith, E., Simigla, S., Puky, M., & Tang, Y. 2016. Soundscape Dynamics at Anuran Reproductive Sites in Pannonian Biogeographical Region: Effects of Road Noise on Vocal Activity. *Asian Herpetological Research*, 7(1), 35-41

A distribuição disjunta como pista para variação vocal: Alopatria vocal em *Synallaxis* (Furnariidae)

Helon Simões Oliveira

Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil

RESUMO

Espécies de aves passeriformes suboscines (subordem Tyranni), não apresentam a capacidade de aprendizagem vocal, sendo seus cantos simples, estereotipados e geneticamente predefinidos. Por essas características, essas espécies são ótimos modelos para avaliações de variações geográficas na variação do canto. Tendo em vista que populações de espécies separadas devido à uma distribuição geográfica disjunta pode estar passando por processos evolutivos distintos, é esperado que espécies de suboscines com distribuição disjunta apresente uma forte correlação entre distâncias vocais e geográficas já que não há fluxo gênico entre suas populações. Para testar essa hipótese, foram escolhidas duas espécies do gênero *Synallaxis*, uma com distribuição contínua e outra com distribuição disjunta. Vinte e um cantos de cada espécie foram extraídos de gravações disponibilizadas no site WikiAves.com.br. De cada canto foi mensurado sete métricas referentes à variação de frequência e duração do canto. Essas métricas foram utilizadas para criação de uma matriz de distância vocal entre cada canto e, juntamente com uma matriz de distância geográfica, foi utilizada em um teste de Mantel para avaliação da possível correlação entre a distância vocal e geográfica de cada espécie. Após análises estatísticas, foi confirmado a correlação entre a distância vocal e a distância geográfica da espécie com distribuição geográfica disjunta e a ausência dessa correlação para a espécie com distribuição contínua. Esse resultado demonstra que a distribuição disjunta das espécies pode ser um fator catalizador no surgimento de variações vocais entre populações de passeriformes suboscines devido à processos evolutivos condizentes com a especiação alopátrica. Assim, espécies com distribuição disjunta tende a ter uma maior diversificação genética e requerem maior atenção de medidas conservacionistas que venham a garantam a conservação das várias áreas de ocorrências dessa espécie. **Palavras-chave:** Alopatria, bioacústica, suboscines, *Synallaxis frontalis*, *Synallaxis hellmayri*.

INTRODUÇÃO

Nas aves o canto é uma expressão vocal com função biológica de reconhecimento específico (Silva & Vielliard 2009). Dentre os representantes da ordem dos passeriformes são encontrados os oscines (Passeri) e suboscines (Tyranni) (Ohlson *et al.* 2013). Os oscines são reconhecidos como aves canoras em que o ambiente exerce uma importante influência na configuração do canto por meio do aprendizado vocal por via cultural (Marler & Tamura 1964; Bolhuis & Gahr 2006). Como consequência variações vocais geográficas e temporais são recorrentes em espécies de oscines (Podos & Warren 2007; Roach & Phillmore 2017; Hamao *et al.* 2018). Por outro lado, os membros de Tyranni (suboscines) não desenvolveram a habilidade de aprendizado vocal, sendo produzidos sons estereotipados e com pouca influência do ambiente (Tobias *et al.* 2012; Touchton *et al.* 2014). A vantagem dessa diferença no desenvolvimento do canto nestas duas subordens de Passeriformes é que os suboscines são bons modelos para análises acústicas usadas em conjunto com a teoria da evolução e especiação (Seddon *et al.* 2008), isolamento de populações (Tobias *et al.* 2012) e variações geográficas de vocalização (Ippi *et al.* 2011).

Espécies com distribuição geográfica disjunta, vivem em duas ou mais áreas de distribuições usualmente separados por uma barreira, que por sua vez impede ou dificulta a dispersão de indivíduos de uma área para outra (Zullini 2018). Após diversos eventos reprodutivos ocorrendo independentemente nas áreas isoladas, suas populações podem evoluir por conta própria de maneiras diferentes e, após muitas gerações, assumir caracteres diferentes, o que se traduz como especiação por alopatria (Leal & Fleishman 2004; Zullini 2018). Assim, mesmo populações da mesma espécie, quando isoladas podem apresentar variações em seus fenótipos (Lande 1980) como características morfométricas, fisiológicas ou mesmo na comunicação intraespecífica (Lindell 1998).

Considerando que existe uma aquiescência entre variações genética e vocal em espécies de passeriformes suboscines (Irwin *et al.* 2008), é razoável que espécies dessa subordem que apresentem distribuição geográfica disjunta apresentem maior relação entre a variação vocal e distância geográfica entre populações. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo verificar as relações entre distância sonora e distância geográfica de duas espécies do gênero *Synallaxis* (Furnariidae), uma com distribuição

contínua (*Synallaxis frontalis* Pelzeln, 1859) e outra com distribuição disjunta (*Synallaxis hellmayri* Reiser, 1905). Essas espécies foram escolhidas principalmente devido à suas condições de distribuição geográfica, pela proximidade filogenética (Derryberry *et al.* 2011) e por apresentarem sons morfologicamente semelhantes e dissilábicos (Whitney & Pacheco 1994). Esperasse que *S. hellmayri* apresente uma forte relação positiva entre a distância sonora e a distância geográfica, enquanto que *S. frontalis*, se apresentar uma relação significativa esta tenderia a ser menor (menor coeficiente de correlação) que o seu congênere de distribuição disjunta.

MÉTODOS

As amostras de vocalizações, de ambas as espécies, foram obtidas de gravações depositadas por várias pessoas no banco de cantos do portal digital do WikiAves.com.br. As vocalizações de *S. frontalis* foram obtidas respeitando a sobreposição com a ocorrência de *S. hellmayri*, como esta segunda é uma espécie endêmica da caatinga este foi o local de coleta para ambas as espécies (Figura 1). Foram coletados 21 cantos com boa qualidade de cada espécie distribuídos em 30 localidades dentro do bioma da Caatinga. Como o portal do WikiAves não disponibiliza a posição geográfica exata do local onde foi gravado, as coordenadas geográfica obtidas para gerar a matriz de distância geográfica entre as amostragens são correspondentes às sedes do municípios no qual as gravações foram realizadas.

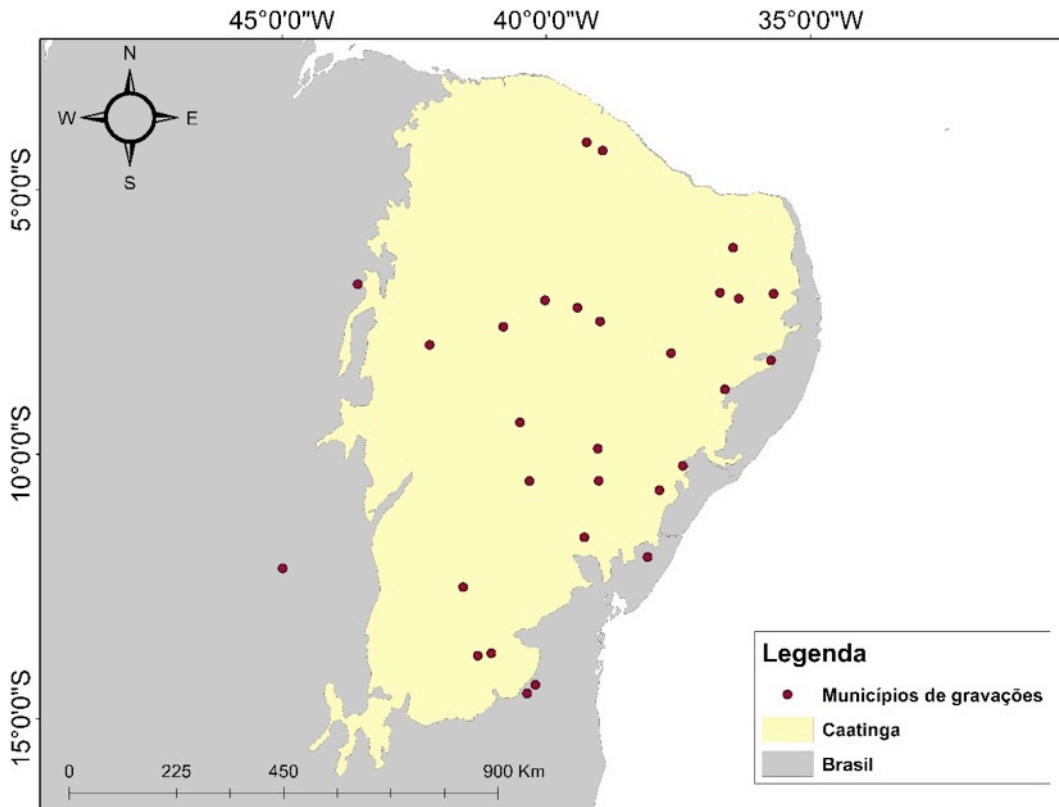


Figura 1: Pontos geográficos representando os municípios onde foram gravados os cantos obtidos no banco de dados do WikiAves.com.br.

Distância sonora e geográfica

Foi extraído um canto completo de cada gravação coletada, os fragmentos de áudio extraídos passaram por um filtro de banda de 0,5 a 6 KHz para *S. hellmayri* e de 1 a 9 KHz para *S. frontalis*, após esta etapa os arquivos de áudio tiveram suas amplitudes normalizadas à amplitude máxima (0 dB), esse tratamento foi realizado no software Audacity 2.3.2 (Audacity Team 2019). Seguindo a metodologia utilizada em outros trabalhos com abordagens semelhantes (e.g., (Roach & Phillmore 2017; Hamao *et al.* 2018), foi mensurado sete variáveis sonoras de cada canto: frequência mínima (Fmin); frequência máxima (Fmax); frequência dominante (Fdom); duração da primeira nota (T1); duração da segunda nota (T2); duração do intervalo entre as duas notas (T3); duração total (T4, Figura 2). Essas medidas foram obtidas no software R (R Core Team 2018) com a utilização da função *spectro* do pacote *seewave* (Sueur *et al.* 2008).

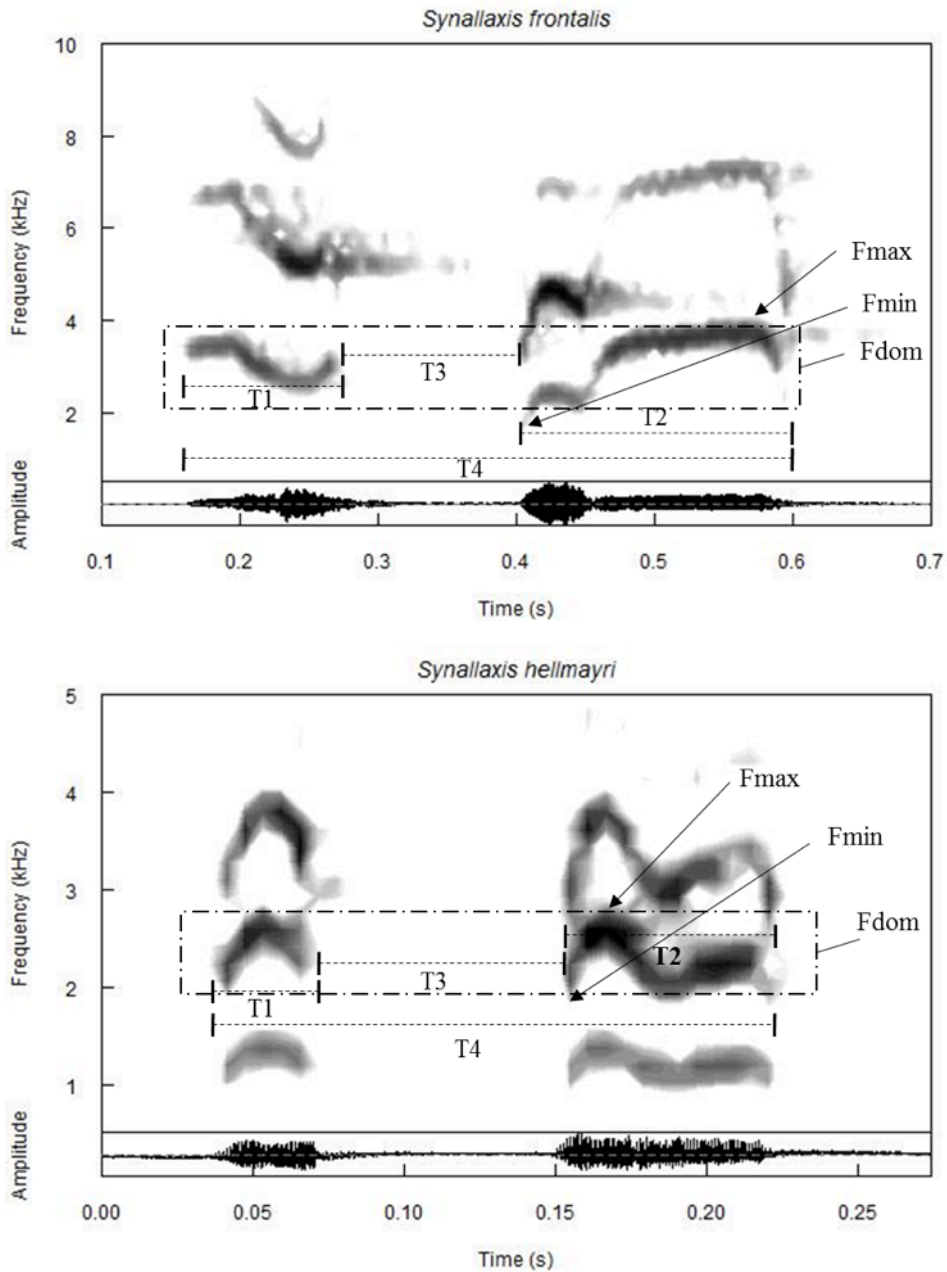


Figura 2: Espectrograma dos cantos de *Synallaxis frontalis* e *Synallaxis hellmayri* demonstrando as variáveis acústicas aferidas. T1 a T4 representam a duração das notas 1 e 2, duração do intervalo entre as notas e a duração total do canto, respectivamente. Fmax, Fmin e Fdom representam as frequências máximas, mínima e dominante, respectivamente.

Após a aferição das variáveis sonoras para os 21 cantos de cada espécie foi gerada uma matriz de distância vocal e uma matriz de distância geográfica, pela distância euclidiana (Legendre & Legendre 2012). Foi aplicado um teste de mantel com

coeficiente de correlação de Spearman com a finalidade de verificar a relação entre as distâncias sonoras e geográficas independentemente em cada espécie. Tanto as matrizes de distâncias vocais e geográficas quanto a análise estatística, foram realizados por meio do pacote *vegan* (Oksanen *et al.* 2012) do software R (R Core Team 2018).

RESULTADOS

Ao longo de todos os cantos amostrados de *S. frontalis* não houve uma correlação significativa entre as distâncias sonora e geográfica, contudo ao analisar a correlação entre a distância sonora e geográfica entre indivíduos de *S. hellmayri*, foi identificado uma correlação positiva e significativa ($p < 0,05$, Tabela 1).

Tabela 1: Correlações entre as distâncias sonora e geográfica de cada espécie, medida pelo teste de Mantel. Os valores em negrito indicam uma correlação significativa.

Distância sonora Espécie	Distância geográfica	
	Correlação (<i>r</i>)	Significância (<i>p</i>)
<i>Synallaxis frontalis</i>	$r = 0,06$	$p = 0,29$
<i>Synallaxis hellmayri</i>	$r = \mathbf{0,35}$	$p = \mathbf{0,01}$

DISCUSSÃO

Neste trabalho foi verificado se a característica da distribuição geográfica disjunta pode ser um indicio de variação geográfica no canto de aves do gênero *Synallaxis* (Furnariidae). Para tanto, foi escolhida duas espécies, *S. frontalis* e *S. hellmayri*. O petrim, *S. frontalis* é uma espécie comum no Nordeste brasileiro e que tem sua área de ocorrência contínua desde esta região até o Norte da região patagônica na Argentina (Remsen 2019b). Em contrapartida, o joão-chique-chique, *S. hellmayri*, é uma espécies endêmica da caatinga e apresenta sua distribuição compreendida em 12 pequenos polígonos situados neste bioma (Remsen 2019a). Os resultados encontrados indicam que a espécie com distribuição disjunta (*S. hellmayri*) apresenta uma correlação significativa entre a distância sonora e a distância geográfica, enquanto que para a espécie com distribuição contínua (*S. frontalis*) esse padrão não é verdadeiro.

Espécies subocines (subordem Tyranni), como os da família Tyrannidae e Furnariidae, apresentam conservantismo de plumagem muito forte, de modo que o padrão de cores e formas se mantem ao longo dos eventos de especiação, dessa forma vocalizações estereotipadas são importantes para o reconhecimento interespecífico (Brenowitz 1991). Considerando que nos subocines a aprendizagem vocal não exerce ou exerce muito pouca influência sobre a consolidação do canto dos adultos (Touchton *et al.* 2014; Kretschmer *et al.* 2018), variações geográficas no canto como a que foi encontrada para *S. hellmayri* são indícios de variações genética entre populações (Irwin *et al.* 2008; Sementili-Cardoso *et al.* 2018).

A espécie *S. hellmayri* ocorre, principalmente em áreas de caatinga arbustiva densa com uma densidade alta de *Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult, devido ao seu hábito de forragear na serapilheira densa da caatinga arbustiva e se manter críptico (Remsen 2019a), a espécie pode apresentar baixa capacidade de dispersão por áreas abertas. Somando essas características de ocorrência e comportamental ao tipo de distribuição geográfica disjunta, as populações de *S. hellmayri* podem estar passando por processos únicos de especiação condizentes com a especiação alopátrica (Ricklefs & Relyea 2016). Baseando-se nos resultados obtidos, esperasse que populações mais distantes geograficamente apresentem maior distância genética como resultado da alopatria (Irwin *et al.* 2008), o que torna importante a geração de planos de conservação para espécies com distribuição disjunta o que tornaria possível a preservação da variabilidade genética da espécie. Por sua vez, *S. frontalis* é comum em arbustos de áreas abertas e antropizadas (Remsen 2019b) o que facilita sua dispersão ao longo de sua vasta distribuição, gerando uma melhor homogeneização do patrimônio genético da espécie (Haavie *et al.* 2004; Mehner *et al.* 2010). Assim, outros fatores climáticos podem estar relacionado à distância sonora entre os indivíduos desta espécie, como temperatura e umidade (Sementili-Cardoso *et al.* 2018), no entanto essas variáveis não correspondem à proposta inicial do projeto.

Embora este trabalho evidencie que a disjunção espacial na distribuição da espécie seja um fator que propicie variações na distância sonora de espécimes de espécies subocines, algumas questões adicionais devem ser exploradas. É preciso avaliar um maior número de espécies com distribuição disjunta para identificar a recorrência do padrão incluindo outros gêneros de subocines. Ao mesmo tempo, incluir desde

espécies com uma distribuição estritamente pontual como a *Synallaxis kollari* até toda distribuição das espécies mais abrangentes dos gêneros. Assim poderia se responder se, mesmo espécies com distribuição contínua poderiam apresentar relações significativas entre a distância sonora e geográfica se suas distribuições forem muito extensas? Se sim, o tamanho da área de distribuição geográfica estaria relacionado com o coeficiente de correlação entre as distancias geográficas e sonoras dessas espécies?

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colaboradores do site WikeAves.com.br pelo depósito de suas gravações e ao professor Carlos Barros de Araújo pela experiência compartilhada durante a disciplina de bioacústica.

REFERÊNCIAS

Audacity Team. 2019. Audacity. 2.3.2 ed. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>

Bolhuis, J. J. & Gahr, M. 2006. Neural mechanisms of birdsong memory. *Nature Reviews Neuroscience* 7: 347-357.

Brenowitz, E. A. 1991. Evolution of the vocal control system in avian brain. *The Neurosciences* 3: 399-407.

Derryberry, E. P., Claramunt, S., Derryberry, G., Chesser, R. T., Cracraft, J., Aleixo, A., Pérez-Emán, J., Remsen, J. J. V. & Brumfield, R. T. 2011. Lineage diversification and morphological evolution in a large-scale continental radiation: The neotropical ovenbirds and woodcreepers (aves: Furnariidae). *Evolution* 65: 2973-2986.

Haavie, J., Borge, T., Bures, S., Garamszegi, L. Z., Lampe, H. M., Moreno, J., Qvarnström, A., Török, J. & Sætre, G. P. 2004. Flycatcher song in allopatry and sympatry – convergence, divergence and reinforcement. *Journal of Evolutionary Biology* 17: 227-237.

Hamao, S., Komatsu, H. & Shinohara, M. 2018. Geographic Variation in Yellow Bunting Songs. *Ornithological Science* 17: 159-164.

Ippi, S., Vásquez, R. A., Dongen, W. F. D. V. & Lazzoni, I. 2011. Geographical variation in the vocalizations of the suboscine Thorn-tailed Rayadito *Aphrastura spinicauda*. *Ibis* 153: 789-805.

Irwin, D. E., Thimgan, M. P. & Irwin, J. H. 2008. Call divergence is correlated with geographic and genetic distance in greenish warblers (*Phylloscopus trochiloides*): a strong role for stochasticity in signal evolution? *Journal of Evolutionary Biology* 21: 435-448.

Kretschmer, R., de Lima, V. L. C., de Souza, M. S., Costa, A. L., O'Brien, P. C. M., Ferguson-Smith, M. A., de Oliveira, E. H. C., Gunski, R. J. & Garner, A. D. V. 2018. Multidirectional chromosome painting in *Synallaxis frontalis* (Passeriformes, Furnariidae) reveals high chromosomal reorganization, involving fissions and inversions. *Comparative cytogenetics* 12: 97-110.

Lande, R. 1980. Genetic Variation and Phenotypic Evolution During Allopatric Speciation. *The American Naturalist* 116: 463-479.

Leal, M. & Fleishman, Leo J. 2004. Differences in Visual Signal Design and Detectability between Allopatric Populations of Anolis Lizards. *The American Naturalist* 163: 26-39.

Legendre, P. & Legendre, L. F. 2012. *Numerical ecology*, v 24. 3, Amsterdam: Elsevier.

Lindell, C. 1998. Limited Geographic Variation in the Vocalizations of a Neotropical Furnariid, *Synallaxis albescens*. *The Wilson Bulletin* 110: 368-374.

Marler, P. & Tamura, M. 1964. Culturally Transmitted Patterns of Vocal Behavior in Sparrows. *Science* 146: 1483-1486.

Mehner, T., Pohlmann, K., Elkin, C., Monaghan, M. T., Nitz, B. & Freyhof, J. 2010. Genetic population structure of sympatric and allopatric populations of Baltic

ciscoes (*Coregonus albulacomplex*, Teleostei, Coregonidae). *BMC Evolutionary Biology* 10: 85.

Ohlson, J. I., Irestedt, M., Ericson, P. G. P. & Fjeldså, J. 2013. Phylogeny and classification of the New World suboscines (Aves, Passeriformes). *2013* 3613: 35.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R. B., Simpson, G., Solymos, P., Stevenes, M. H. H. & Wagner, H. 2012. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-2.

Podos, J. & Warren, P. S. 2007. The Evolution of Geographic Variation in Birdsong. *Advances in the Study of Behavior* 37: 403-458.

R Core Team. 2018. A language and environment for statistical computing. 3.4.4 ed. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Remsen, J. V. J. 2019a. Red-shouldered Spinetail (*Synallaxis hellmayri*), p. In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D. A. & Juana, E. (eds.) *Handbook of the Birds of the World Alive*. v Barcelona: Lynx Edicions.

Remsen, J. V. J. 2019b. Sooty-fronted Spinetail (*Synallaxis frontalis*). p. In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D. A. & Juana, E. (eds.) *Handbook of the Birds of the World Alive*. v Barcelon: Lynix Edicions.

Ricklefs, R. E. & Relyea, R. 2016. *A Economia da Natureza*, v 7, Rio de Janeiro-RJ: Guanabara Koogan.

Roach, S. P. & Phillmore, L. S. 2017. Geographic variation in song structure in the Hermit Thrush (*Catharus guttatus*). *The Auk* 134: 612-626.

Seddon, N., Merrill, Richard M. & Tobias, Joseph A. 2008. Sexually Selected Traits Predict Patterns of Species Richness in a Diverse Clade of Suboscine Birds. *The American Naturalist* 171: 620-631.

Sementili-Cardoso, G., Rodrigues, F. G., Martins, R. M., Gerotti, R. W., Vianna, R. M. & Donatelli, R. J. 2018. Variation among vocalizations of *Taraba major* (Aves:

Thamnophilidae) subspecies. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 53: 120-131.

Silva, M. L. & Vielliard, J. M. E. 2009. A aprendizagem vocal em aves: evidências comportamentais e neurológicas, p. 177-197. In: Henriques, A. L., Alves, G. J., Brito, A. R. C. S. & Martin, W. L. B. (eds.) *Estudos do Comportamento II*. v Belém-PA: Editora da UFPA.

Sueur, J., Aubin, T. & Simonis, C. 2008. Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18: 213-226.

Tobias, J. A., Brawn, J. D., Brumfield, R. T., Derryberry, E. P., Kirschel, A. N. G. & Seddon, N. 2012. The importance of suboscine birds as study systems in ecology and evolution. *Ornitologia Neotropical* 23: 261-274.

Touchton, J. M., Seddon, N. & Tobias, J. A. 2014. Captive Rearing Experiments Confirm Song Development without Learning in a Tracheophone Suboscine Bird. *PLOS ONE* 9: e95746.

Whitney, B. M. & Pacheco, J. F. 1994. Behavior and vocalizations of *Gyalophylax* and *Megaxenops* (Furnariidae), two little-known genera endemic to Northeastern Brazil. *The Condor* 96: 559-565.

Zullini, A. 2018. Basic problems of biogeography. *Natural History Sciences* 5: 13-18.

**Similaridade acústica em indivíduos de espécies do grupo jacchus, gênero
Callithrix (Primates, Callitrichidae).**

Ephraim Luiz de Andrade França

Universidade Estadual de Londrina

RESUMO

O gênero *Callithrix* é constituído por seis espécies de primatas do Novo Mundo que habitam áreas de Cerrado, Caatinga e Floresta Atlântica no Brasil. A história evolutiva do grupo é constantemente estudada devido à situação taxonômica complexa em que se encontra o grupo. Dados morfológicos, acústicos e sistemáticos definiram dois grupos dentro do gênero, o grupo aurita e o grupo jacchus. As quatro espécies que formam o grupo jacchus *C. geoffroyi*, *C. jacchus*, *C. kuhlii* e *C. penicillata* não apresentam uma classificação filogeneticamente segura. As similaridades acústicas são indicativos que podem auxiliar no entendimento de relações evolutivas entre os grupos. Esse estudo objetiva indicar similaridades entre as espécies que formam o grupo jacchus por meio da avaliação de parâmetros acústicos das espécies do gênero *Callithrix*. Foram realizadas medições e cálculo de parâmetros de chamados longos das espécies do gênero, a partir dos quais elaborou-se agrupamentos das distâncias entre a média dos parâmetros para cada espécie e para cada indivíduo. O grupo aurita, formado por *C. aurita* e *C. flaviceps*, destacou-se do grupo jacchus quanto a estrutura geral do chamado e estrutura de agrupamentos. A espécie *C. geoffroyi* demonstrou-se basal para o grupo jacchus e mais relacionada à espécie *C. penicillata*. O agrupamento por indivíduos e por gênero permitiu diferentes análises dentre os grupos e espécies. Fatores morfológicos, evolutivos e ecológicos influenciam na composição acústica das espécies. Melhor amostragem acústica é necessária nas espécies *C. penicillata* e *c. kuhlii*, o que aperfeiçoaria os resultados desse método.

PALAVRAS-CHAVE: Aurita; bioacústica; primata; vocalização;

INTRODUÇÃO

O gênero *Callithrix* é constituído por seis espécies que ocupam as regiões central e sul do Brasil, habitando os biomas Caatinga, Cerrado e Floresta Atlântica (Rylands & Mittermeyer 2009). A definição dessas espécies foi discutida por diversos pesquisadores, influenciados pela hibridização em cativeiro desses animais (Hershkovitz 1977; Coimbra-Filho *et al.* 2006). As espécies concordam com o conceito biológico de espécie e dois grupos foram filogeneticamente definidos e corroborados (Malukiewicz *et al.* 2016). Um grupo é o jacchus e é formado pelas espécies *C. jacchus*, *C. penicillata*, *C. kuhlii* e *C. geoffroyi* e o outro grupo aurita, formado por *C. aurita* e *C. flaviceps*.

Dentro do grupo jacchus, foram observadas divergências quanto a posição das espécies. Análises filogenéticas utilizando sequências de genes mitocondriais, no entanto, suportam *C. geoffroyi* como a espécie mais antiga do grupo e *C. jacchus*/*C. penicillata* como as mais recentes (Tagliaro *et al.* 1997; Roosmalen & van Roosmalen 2003; Malukiewicz *et al.* 2016). As vocalizações podem auxiliar o entendimento filogenético dentro do grupo jacchus, sendo um traço elucidativo para o entendimento de relações taxonômicas (Zimmerman 1990; Coimbra-Filho *et al.* 2006; Mendes *et al.* 2009).

Vocalizações são um importante meio de comunicação social para primatas (Epple 1968). Esse aspecto é observado, primariamente, em espécies arbóreas, para as quais a baixa visibilidade de outros indivíduos dificulta o uso de sinais visuais em grande distância (Altmann 1967). Assume-se para o gênero *Callithrix* que os sinais auditórios são de grande importância pois, assim como outros primatas da América do Sul, são exclusivamente arbóreos (Epple 1968). Dentre os calithrichídeos o uso de vocalizações varia entre as espécies, refletindo a complexidade comportamental e social, características morfológicas e contexto ambiental (Bezerra & Souto 2008).

As vocalizações do tipo “chamado longo” ou “phee”, são extremamente funcionais para o gênero *Callithrix*, sendo utilizadas como sinais de ocupação de um território, coesão intragrupo, contato à distância e atração sexual (Epple 1968; Snowdon 1993). Como mecanismo de comunicação intergrupos, o chamado longo é importante para a identificação de conspecíficos e, portanto, sinais específicos em espécies são

essenciais para a comunicação efetiva (Snowdon 1986; Mendes *et al.* 2009). O chamado longo foi testado por Mendes *et al.* (2009) para a separação dos grupos aurita e jacchus e espécies no gênero. No entanto, não puderam ser definidas a similaridade das espécies no grupo jacchus. Esse trabalho utilizará novos parâmetros para o chamado longo que possam indicar similaridade filogenética entre as espécies do grupo jacchus, discutindo a taxonomia moderna do grupo.

MATERIAL E MÉTODOS

As vocalizações utilizadas pertencem a base de dados da Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard e foram recordados por diversos pesquisadores no Brasil (Tab.1). Os áudios foram normalizados, equalizados e cortados utilizando o software *Audacity* para posterior medição no software R, utilizando os pacotes SeeWave e TuneR. Foram utilizados chamados longos formados por três ou mais notas, com boa qualidade e definição.

Tabela 1. Número de chamados longos e indivíduos medidos.

Espécie	n (chamados longos)	n (indivíduos)
<i>Callithrix aurita</i>	32	4
<i>Callithrix flaviceps</i>	46	8
<i>Callithrix geoffroyi</i>	109	14
<i>Callithrix jacchus</i>	24	5
<i>Callithrix kuhlii</i>	3	1
<i>Callithrix penicillata</i>	11	1

Os parâmetros para análise foram gerados com as medidas: frequência mínima e máxima, frequência inicial e final, tempo inicial e final, frequência dominante, número de notas e intervalo entre notas. Os parâmetros utilizados na análise foram: frequência mínima e máxima, frequência inicial, duração total do chamado, frequência dominante, número de notas, modulação (frequência final – frequência inicial), intervalo entre a primeira e segunda nota e intervalo entre a segunda e terceira nota.

Foi calculada a média de cada parâmetro para cada indivíduo e médias ponderadas dos parâmetros para cada espécie. Foi calculada a distância na matriz de

dados dos parâmetros entre as espécies e indivíduos para posterior análise de agrupamentos de dados. A análise de agrupamento foi realizada para todas as espécies, todos os indivíduos, indivíduos do grupo jacchus e espécies do grupo jacchus. Além disso, foram elaborados sonogramas representativos de cada uma das espécies.

RESULTADOS

Sonogramas representativos de chamados longos para as espécies estão dispostos na Fig. 1. Há variação no número de notas em cada chamado nas espécies, portanto o número de notas representado não se relaciona a média de notas em cada espécie. Estruturas diferentes foram visualmente observadas nos cantos de *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps*, os quais apresentam uma tendência de modulação descendente e uma modulação ascendente seguida de uma descendente abrupta no final de cada nota.

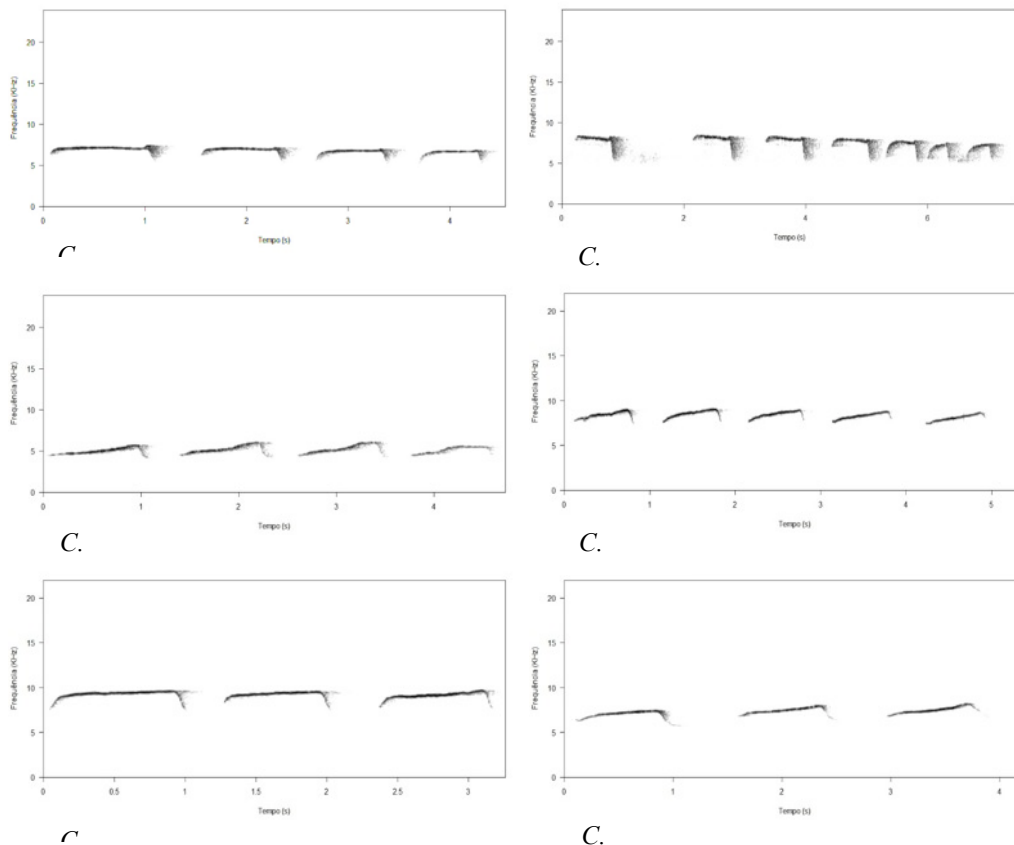
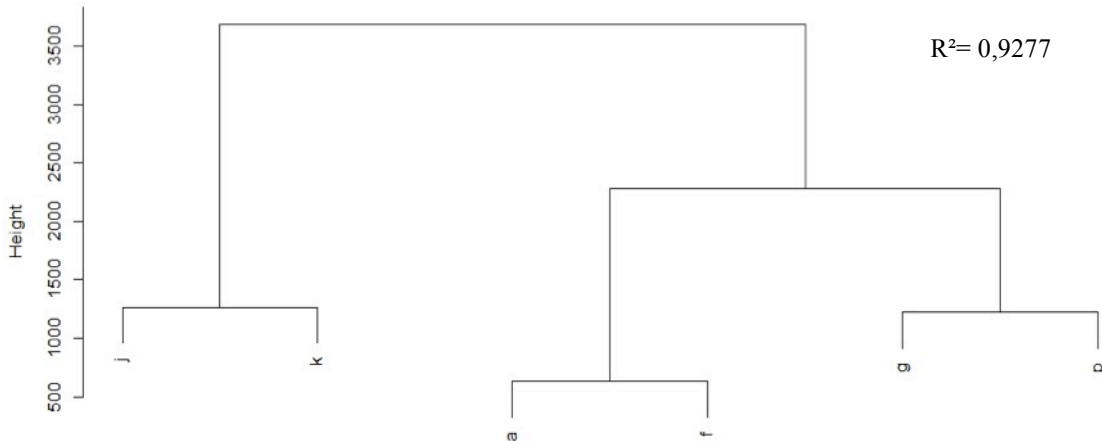


Figura 1. Sonogramas representativos de chamados longos em *Callithrix*.

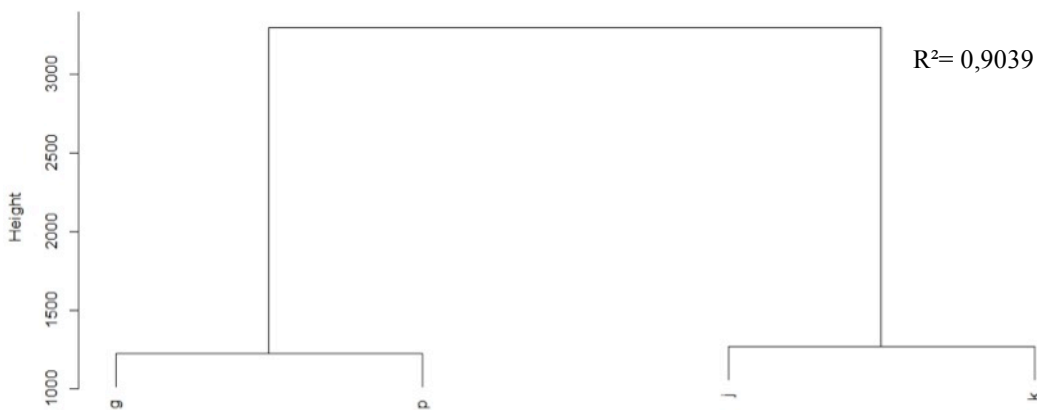
As análises de agrupamento em nível de espécies indicam que *C. aurita* e *C. flaviceps* estão mais próximos entre si do que outras espécies. Além disso, as espécies *C. geoffroyi* e *C. penicillata* apresentam parâmetros mais semelhantes com o grupo *C. aurita* e *C. flaviceps* do que com *C. jacchus* e *C. kuhlii* (Fig. 2 e 3).

Figura 2. Análise de agrupamento de espécies do gênero *Callithrix*, baseado em parâmetros acústicos.



Análise realizada com distância euclidiana pelo método *Average linkage*. a – *C. aurita*, f – *C. flaviceps*, g – *C. geoffroyi*, j – *C. jacchus*, k- *C. kuhlii*, p – *C. penicillata*.

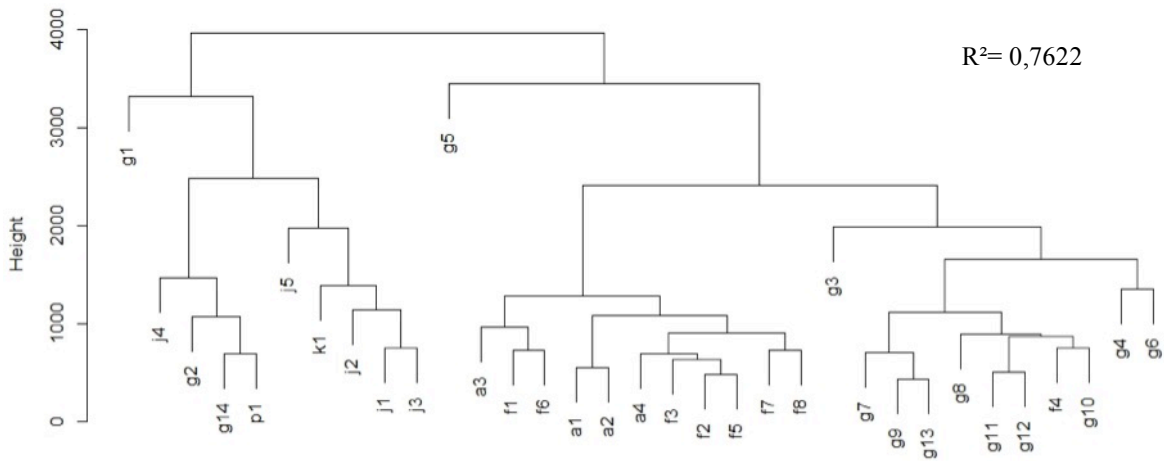
Figura 3. Análise de agrupamento de espécies do grupo jacchus no gênero *Callithrix*, baseado em parâmetros acústicos.



Análise realizada com distância euclidiana pelo método *Average linkage*. g – *C. geoffroyi*, j – *C. jacchus*, k- *C. kuhlii*, p – *C. penicillata*.

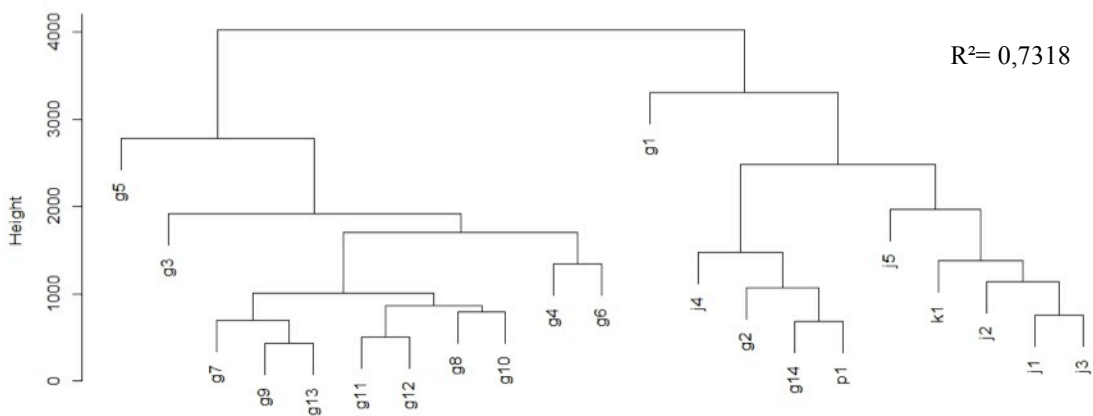
A análise de agrupamento de indivíduos das espécies de *Callithrix* demonstram agrupamento exclusivo em *C. aurita* e *C. flaviceps*. Indivíduos *C. geoffroyi* formam grupo irmão com este e grupo externo aos dois agrupamentos. Um indivíduo de *C. geoffroyi* foi alocado como grupo externo do grupo formado por *C. jacchus* e *C. penicillata* (Fig.4). O agrupamento realizado com indivíduos do grupo jacchus indicou um agrupamento entre *C. jacchus* e *C. kuhlii*, e outro entre indivíduos das quatro espécies. Esses dois contrastam com um grupo externo de *C. geoffroyi* e um grupo irmão de todos estes citados formado por *C. geoffroyi* (Fig. 5).

Figura 4. Análise de agrupamento de indivíduos das espécies do gênero *Callithrix*, baseado em parâmetros acústicos.



Análise realizada com distância euclidiana pelo método *Average linkage*. Os números correspondem aos indivíduos em cada espécie. a – *C. aurita*, f – *C. flaviceps*, g – *C. geoffroyi*, j – *C. jacchus*, k – *C. kuhlii*, p – *C. penicillata*.

Figura 5. Análise de agrupamento de indivíduos das espécies do grupo jacchus no gênero *Callithrix*, baseado em parâmetros acústicos.



Análise realizada com distância euclidiana pelo método *Average linkage*. Os números correspondem aos indivíduos em cada espécie. g – *C. geoffroyi*, j – *C. jacchus*, k- *C. kuhlii*, p – *C. penicillata*.

DISCUSSÃO

As diferenças visualmente evidentes na estrutura geral do canto das espécies do grupo aurita (*C. aurita* e *C. flaviceps*) são um forte indicativo da distinção evolutiva dos grupos aurita e jacchus (Mendes *et al.*, 2009). Os agrupamentos demonstraram que os parâmetros acústicos também demonstram essa separação, já que *C. aurita* e *C. flaviceps* estiveram relacionados exclusivamente entre si nos agrupamentos de espécies e indivíduos.

Evidências acústicas, ontogênicas e morfológicas suportam a posição externa do grupo aurita em relação ao jacchus (Maroig *et al.*, 2004; Mendes *et al.*, 2009; Malukiewicz *et al.*, 2016). Em relação ao grupo jacchus, no entanto, há divergência quanto a filogenia (Malukiewicz *et al.*, 2016). Os agrupamentos por espécie indicam que *C. jacchus* e *C. kuhlii*, e *C. geoffroyi* e *C. penicillata* são mais relacionados. No entanto, nos agrupamentos de indivíduos nota-se agrupamentos exclusivo de *C. geoffroyi* e poucos indivíduos entre as outras espécies. Foram medidos parâmetros de um grande número de indivíduos dessa espécie e a variação acústicas entre os mesmos pode promover a inclusão de indivíduos em grupos não exclusivos.

De maneira geral, *C. geoffroyi* formou grupos externos à outras espécies no grupo jacchus, demonstrando sua distinção acústica em relação à essas espécies e maior proximidade ao grupo aurita. Em análises morfológicas, a espécie foi considerada irmã de todas as outras no gênero, incluindo *C. aurita*, corroborando com o observado nesse trabalho, isso, no entanto, pode resultar de dados incompletos quanto ao sequenciamento de mDNA (Malukiewicz *et al.*, 2014). Em análise mais completa de mDNA, a espécie se comportou como grupo externo as outras no grupo jacchus, corroborando com a diferença evidente de *C. geoffroyi* e outras espécies do grupo jacchus observado nesse trabalho (Malukiewicz *et al.*, 2016).

As distinções acústicas podem ser explicadas por distinções morfológicas em primatas (Garcia *et al.*, 2017), como o trato vocal (Riede *et al.*, 2005). Dados morfológicos cranianos indicam maiores semelhanças morfológicas entre *C. geoffroyi* e *C. penicillata*, sendo *C. kuhlii* externo a esses e *C. jacchus* externo a esse agrupamento

(Maroig *et al.*, 2004). Nos agrupamentos por espécie observou-se a prevalência da semelhança entre *C. geoffroyi* e *C. penicillata* demonstrando que as condições morfológicas podem correlacionar-se mais aos parâmetros acústicos do que distinções evolutivas e genéticas (Mendes *et al.*, 2009). A dissimilaridade entre as vocalizações de *C. geoffroyi* e *C. kuhlii* pode ter sido originada devido ao contato histórico entre populações das espécies. As espécies apresentam padrões de distribuição e morfologia semelhantes, o que exerce forte pressão evolutiva para distinção vocal no reconhecimento de parceiros (Mendes *et al.*, 2009).

As análises utilizando indivíduos das espécies evidenciaram a externalidade da espécie *C. geoffroyi* e as relações mais próximas entre as outras três espécies do grupo *jacchus*. A subamostragem das espécies *C. penicillata* e *C. kuhlii*, com um único indivíduo analisado, podem ter alterado as conformações dos cladogramas pois representam especificidades acústicas de um único indivíduo, de um único bando. As relações entre *C. jacchus*, *C. geoffroyi*, *C. aurita* e *C. flaviceps*, que foram melhor amostrados, foram esclarecidas no trabalho, indicando a possibilidade do uso do método para a investigação de similaridades morfológicas e evolutivas a partir de espécies acusticamente bem amostradas.

REFERÊNCIAS

- Altmann S.A. 1967. The structure of primate communication, p: 325-362. In: Altmann S.A. (ed.). *Social communication among primates*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bezerra B.M. & Souto A. 2008. Structure and Usage of the Vocal Repertoire of *Callithrix jacchus*. *Int J Primatol* 29:671–701.
- Coimbra-Filho A. F., Mittermeier R. A., Rylands A. B., Mendes S. L., Kierulff M. C. M. & Pinto, L. P. S. 2006. The taxonomic status of Wied's black-tufted-ear marmoset, *Callithrix kuhlii* (Callitrichidae, primates). *Primate Conservation* 21: 1-24.
- Epple G. 1968. Comparative studies on vocalization in marmoset monkeys (Hapalidae). *Folia primatologica* 8:1-40.
- Garcia M., Herbst C.T., Bowling D.L., Dunn J.C., Fitch W.T. 2017. Acoustic allometry revisited: morphological determinants of fundamental frequency in primate vocal production. *Scientific Reports* 7, 10450.
- Hershkovitz P. 1977. *Living New World monkeys (Platyrrhini)*, v. 1. Chicago: University of Chicago Press.

- Malukiewicz J. *et al.* 2014. Hybridization effects and genetic diversity of the common and black-tufted marmoset (*Callithrix jacchus* and *Callithrix penicillata*) mitochondrial control region. *American Journal of Physical Anthropology* 155: 522-536.
- Malukiewicz J., Hepp M.C., Guschanski K., Stone A.C. 2016. Phylogeny of the jacchus group of *Callithrix* marmosets based on complete mitochondrial genomes. *American Journal of Physical Anthropology* 162: 157-169.
- Marroig G., Cropp S., Cheverud J.M. 2004. Systematics and Evolution of the Jacchus Group of Marmosets (Platyrrhini). *American Journal of Physical Anthropology* 123:11–22.
- Mendes S.L., Vieliard J.M.E., Marco Jr., P.de. 2009. The Vocal Identity of the *Callithrix* Species (Primates, Callitrichidae). p: 63-84. In: Ford S.M et al. (eds.). *The Smallest Anthropoids, Developments in Primatology: Progress and Prospects*. Boston: Springer.
- Riede T., Bronson E., Hatzikirou H., Zuberbuhler K. 2005. Vocal production mechanisms in a non-human primate: morphological data and a model. *Journal of Human Evolution* 48: 85-96.
- Roosmalen M.G.M. & van Roosmalen T. 2003. The description of a new genus, *Callibella* (Callitrichinae, primates), including its molecular phylogenetic status. *Neotropical Primates*, 11:1 –10.
- Rylands A. B. & Mittermeier R. A. 2009. The diversity of the New World primates (Platyrrhini): an annotated taxonomy, p:24-54. In: Garber P.A., Estrada A., Bicca-Marques J.C., Heymann E.B., Strier K.B. (eds.). *South American primates: comparative perspectives in the study of behavior, ecology, and conservation*. New York: Springer.
- Snowdon C.T. 1993. A vocal taxonomy of the callitrichids, p: 78-94. In: Rylands A.B. (ed.). *Marmosets and tamarins: systematics, behaviour, and ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- Snowdon C.T., Hodun A., Rosenberger A.L., Coimbra-Filho A.F. 1986. Long-call structure and its relation to taxonomy in lion tamarins. *Am J Primatol* 11:253–261.
- Tagliaro C.H., Schneider M.P.C., Schneider H., Sampaio I.C. & Stanhope M.J. 1997. Marmoset phylogenetics, conservation perspectives, and evolution of the mtDNA control region. *Molecular Biology and Evolution* 14: 674–684.
- Zimmermann E. 1990. Differentiation of vocalizations in bushbabies (Galaginae, Prosimiae, Primates) and the significance for assessing phylogenetic relationships. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 28: 217-239.

Comparação de vocalizações de anuros em diferentes fragmentos de Mata Atlântica no Sul e no Sudeste do Brasil.

João Miguel Neri Camilo Moreira

RESUMO

Os cantos de anúncio são importantes traços de história de vida dos anfíbios anuros, que servem de base para estudos sobre a biologia dos mesmos. Tendo em vista a importância da análise da influência da fragmentação sobre os anuros da Mata Atlântica, este projeto se propôs a comparar características acústicas dos cantos de anúncio produzidos por indivíduos coespecíficos em diferentes fragmentos de Mata Atlântica. A hipótese era de que estas características (duração do canto e diferentes parâmetros de frequência) iriam variar entre regiões, considerando-se a heterogeneidade das mesmas, e de que as diferenças inter-regionais seriam maiores do que as intra-regionais. Foram analisados cantos de *Vitreorana uranoscopa* em dois fragmentos diferentes, e duas amostras diferentes oriundas da mesma região foram utilizadas para analisar as variações intra-regionais. Cantos de *Aplastodiscus perviridis* provenientes de três fragmentos foram comparados. Estas análises comprovaram a existência de variações inter-regionais, mas não foi possível determinar que elas são significativamente superiores às variações intra-regionais. A robustez de comparações como esta dependem do número de cantos analisados, da caracterização cuidadosa dos habitats e da padronização das gravações.

Palavras-chave: *Vitreorana uranoscopa*, *Aplastodiscus perviridis*, análise bioacústica, plasticidade fenotípica, comunicação sonora.

INTRODUÇÃO

O estudo da comunicação sonora em anuros é uma importante ferramenta para a compreensão da ecologia, do comportamento, da fisiologia e da filogenética destes anfíbios, além de poder ser utilizado para delinear esforços de conservação (Narins *et al.*, 2007; Bee, 2013; Mcloughlin *et al.*, 2019). O aparelho de produção de sons destes animais apresenta grande plasticidade, emitindo sons que podem variar de acordo com a situação em que se encontram, com a mensagem que pretendem comunicar e com fatores bióticos e abióticos presentes no ambiente, como a temperatura, a umidade ou a competição intraespecífica (Duellman & Trueb, 1994). Tal complexidade faz com que este sistema de comunicação seja um dos mais estudados na Bioacústica (Cocroft & Ryan, 1995) e origina variações sonoras entre diferentes indivíduos de uma mesma espécie (Oseen & Wassersug, 2002).

Dentre as vocalizações dos anuros, as mais comuns são conhecidas como cantos de anúncio. Estes cantos são classificados de acordo com o seu contexto: cantos de acasalamento são emitido pelos machos como forma de cortejo às fêmeas coespecíficas; cantos territoriais têm a função de demarcação territorial e afastamento de outros machos da mesma espécie; e cantos de disputa são utilizados na comunicação entre machos em interação agonística (Wells, 1977). Os cantos de anúncio são traços de história de vida de grande impacto para o valor adaptativo dos indivíduos machos, estando, inclusive, relacionados à seleção sexual por parte das fêmeas (Gerhardt, 1994). Além deles, também foram registrados cantos de soltura (ou de aviso), cantos de reciprocidade por parte das fêmeas e cantos mistos (Aronson, 1944; Littlejohn, 1977 e Lingnau *et al.*, 2004).

A Bioacústica envolve a descrição da complexidade acústica dos sons emitidos pelos animais. Neste contexto, a análise de características espectrais para a inferência de informações acerca dos organismos vocalizantes é uma vertente que tem se expandido graças a desenvolvimentos tecnológicos (Mcloughlin *et al.*, 2019). Por apresentarem uma variação dentre indivíduos relativamente baixa, mas considerável variação entre indivíduos, os cantos de anúncio são ideais para análises espectrais com o objetivo de comparar indivíduos e populações e de estudar relações filogenéticas (Köhler *et al.*,

2017). As características mais utilizadas para a classificação e identificação dos sons são parâmetros de frequência, como a frequência fundamental (o primeiro harmônico a ser emitido) e a dominante (aquela que é emitida com maior intensidade), além da duração da emissão sonora e (Duellman e Trueb, 1994; Mcloughlin *et al.*, 2019). A Figura 1.1 representa a produção de sons por anfíbios anuros.

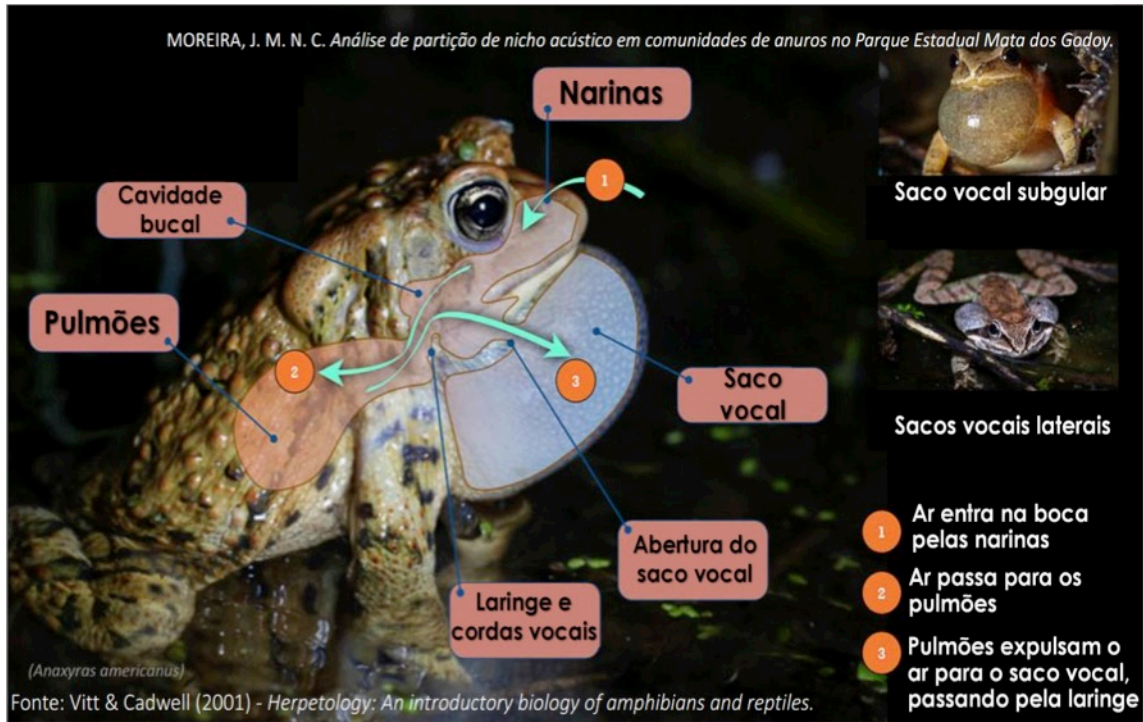


Figura 1.1 - Sistema de vocalização de anfíbios anuros

A maioria dos estudos sobre anuros na região de Londrina foi realizada no Parque Estadual Mata dos Godoy (23° 27' S, 51° 15' W), uma reserva florestal crucial para a biodiversidade regional (Bernarde & Anjos, 1999; Torezan, 2006). Originalmente, a área fazia parte da Fazenda Santa Helena, propriedade que hoje situa-se ao Norte do Parque. Desde 1989, a mata é uma unidade de conservação de proteção integral (Torezan, 2006), e área de interesse para pesquisas em ecologia e biodiversidade: remanescente florestal da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual), a fauna e a flora do parque são muito diversificadas, incluindo espécies ameaçadas na região (Mikich & Bérnils, 2004). Os estudos publicados sobre a anurofauna de Londrina focaram-se no Parque e em seus arredores (Bernarde & Anjos, 1999; Machado & Bernarde, 2002; Torezan, 2006).

Os fragmentos de Mata Atlântica remanescentes próximas a regiões urbanas e/ou rurais, como a Mata dos Godoy, sofrem mais influência humana e possuem, por consequência, ecossistemas mais heterogêneos e perturbados, com uma vasta gama de habitats de características diferentes que estão em constante transformação. Condições climáticas como a pluviosidade irregular e o clima subtropical úmido mesotérmico reforçam o dinamismo de fragmentos florestais como este (Torezan, 2006). A fragmentação dos habitats é uma das principais ameaças aos anfíbios anuros e às populações presentes no bioma da Mata Atlântica e leva, comumente, à acentuação de pressões ambientais sobre os indivíduos (Faria, 2017).

Tendo em vista o conhecimento teórico exposto nesta introdução, é cunhada a hipótese de que anuros de uma mesma espécie que ocupam diferentes fragmentos de Mata Atlântica apresentarão diferenças nas características espectrais de seus cantos, cada um adaptando-se às pressões seletivas específicas de seus ambientes que influem sobre sua atividade de vocalização (em particular, sobre os cantos de anúncio), como ruídos e presença de organismos antagônicos. As diferenças inter-regionais nas características acústicas seriam, portanto, superiores às diferenças intra-regionais. Estas diferenças evidenciariam que, apesar de fazerem parte de um mesmo bioma, estas parcelas preservadas de Mata Atlântica possuem importantes diferenças entre si, que influenciam diretamente as histórias de vida dos anuros, a comunicação acústica entre eles e a maneira como eles ocupam estes ambientes.

O objetivo deste estudo é, portanto, fazer comparações entre as características acústicas dos cantos de anúncios produzidos por indivíduos da mesma espécie em diferentes fragmentos de Mata Atlântica, a partir de arquivos de áudio do acervo do Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da UEL, de modo a testar a hipótese descrita acima.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécies estudadas

Duas espécies serão utilizadas para as comparações supracitadas: *Vitreorana uranoscopa*, encontrada em duas das três áreas de estudo, e *Aplastodiscus perviridis*, encontrada nas três áreas.

A espécie *Vitreorana uranoscopa* (Amphibia, Anura, Centrolenidae) (Figura 2.1a) é conhecida como perereca-de-vidro, devido à pele translúcida de seu ventre. No Brasil, ela está presente nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste. Seus sons são caracterizados por apresentarem pulsos curtos de banda ampla, harmônicos e modulação discreta de frequência (Haga *et al.*, 2014).

A espécie *Aplastodiscus perviridis* (Amphibia, Anura, Hylidae) (Figura 2.1b), por sua vez, é conhecida como perereca-dos-olhos-vermelhos. Sua distribuição vai do Centro-Oeste brasileiro à Argentina. Os cantos de corte da espécie são, normalmente, de baixa frequência, curta duração e repetidos frequentemente, com pequenos intervalos entre eles (Haddad *et al.*, 2005).



Figura 2.1 - A) A perereca *Vitreorana uranoscopa*. B) A perereca *Aplastodiscus perviridis*. Fonte: Wikimedia Commons.

Áreas de estudo

Os arquivos de áudio de três áreas diferentes serão utilizadas neste trabalho: do Ribeirão dos Apertados no Parque Estadual Mata dos Godoy, em Londrina, da Fazenda Rio Claro, em Lençóis Paulista, e da Fazenda Doralice, na cidade de Ibiporã.

Na Mata dos Godoy, foi realizado em 2017 um estudo (ainda não publicado) sobre a partição de nicho acústico entre as espécies de anuros presentes (Moreira, 2018). Neste estudo, nove espécies de anuros foram identificadas (*Aplastodiscus perviridis*, *Crossodactylus schmidti*, *Dendropsophus nanus*, *Hypsiboas albopunctatus*, *Leptodactylus mystacinus*, *Physalaemus cuvieri*, *Proceratophrys avelinoi*, *Scinax perereca* e *Vitreorana uranoscopa*), cinco delas em sobreposições acústicas em potencial. Originalmente, este projeto analisou três diferentes parcelas do Parque, tratando os grupos de anuros encontrados em cada uma delas como diferentes comunidades. Atualmente, as três são consideradas componentes de uma mesma metacomunidade, uma vez que o fluxo gênico entre estas três parcelas é uma possibilidade. As análises aqui apresentadas se concentrarão na primeira parcela, chamada de Ribeirão dos Apertados.

A Reserva Particular do Patrimônio Natural do estado de São Paulo Olavo Egydio Setúbal (-23.581756, -46.462341), também conhecido como Parque do Carmo, encontra-se dentro da área da Fazenda Rio Claro, em Lençóis Paulista - SP - Brasil. Em 2013, foi lançado o Guia Interativo dos Anfíbios da Fazenda Rio Claro, por Fábio Maffei e Flávio Kulaif Ubaid. Trata-se de um livro acompanhado de um CD-ROM, que conta com 48 cantos de diferentes espécies que ocorrem na Fazenda em questão, frutos do projeto de mestrado de Maffei. Este projeto, financiado pela empresa Duratex, encontrou 40 espécies diferentes no Parque do Carmo, nas propriedades da fazenda e nas florestas adjacentes à mesma. Os estratos florestais amostrados são florestas estacionais semidecíduais (Maffei, 2010).

O terceiro fragmento de Mata Atlântica é a A Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Doralice, em Iporã - PR (23°16'8 e 51°01'W e 480 m de altitude). Esta região é, normalmente, úmida, por ser permeada por lagos, por brejos entre eles e por várzeas que, muitas vezes, alagam. O clima na região é subtropical úmido, sem estiagem, com temperatura e precipitação médias anuais de 18,9°C e 1.234 mm, respectivamente. A vegetação, caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual Moderada, é descontínua, e a influência humana é intensa, incluindo ruídos de máquinas agrícolas e veículos. Além disso, há uma grande quantidade de poças temporárias e de matéria orgânica, dentro e fora dos corpos d'água (Soares-Silva *et al.*, 1992; IAP, 2015). As gravações no local foram realizadas durante as saídas de campo previstas no

projeto de Doutorado da pesquisadora Tatiana Motta-Tavares, do Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da Universidade Estadual de Londrina.

Coleta de dados

Para registrar os áudios provenientes da Fazenda Rio Claro, foram utilizados os gravadores Sony TCM-5000 EV e Panasonic RQ-L31, com o microfone direcional Sennheiser ME67. Em seguida, o programa Sony Sound Forge 8.0 foi utilizado para a digitalização e a edição dos arquivos. Estas gravações foram realizadas entre 2009 e 2010. A metodologia completa é descrita em Maffei (2010).

O autor do presente trabalho participou das gravações realizadas na Mata dos Godoy e na Fazenda Doralice. As gravações na Mata dos Godoy foram realizadas no primeiro trimestre 2017, e as gravações na Fazenda Doralice, no quarto trimestre de 2017 e no primeiro trimestre de 2018. A metodologia descrita abaixo é comum às gravações realizadas em ambas as localidades.

Em campo, quando um indivíduo ou coro de anuros era escutado, o o ponto era fixado no GPS e o gravador, um Roland® R-26 era posicionado a um metro do chão, o mais próximo possível à fonte da vocalização, apontado para a direção da mesma e, em caso de pontos próximos a cursos d'água, jusante ao sentido da correnteza (Figura 2.2). Então, eram realizadas gravações de 44100 Hz, no formato WAV 24-bit. Temperatura e umidade eram registrados por meio de um termohigrômetro Inconterm® TFA. A data e o horário de das gravações também eram anotados. início As gravações foram feitas entre as 18 e as 23h.



Figura 2.2 - Posicionamento do gravador e do termohigrômetro durante registro de áudio.

Análise dos dados

De modo a padronizar os arquivos, todos os registros de áudio feitos em estereofonia foram transformados em arquivos .WAV monofônicos, a partir da junção de 50% de cada um dos dois canais em um só ou, em casos em que havia uma discrepância muito grande entre a qualidade do registro de um canal em relação ao outro, com a escolha do melhor canal. Além disso, durante o ano de 2017, os arquivos gravados na Mata dos Godoy foram analisados e triados. As vocalizações de anuros encontradas foram identificadas e registradas em arquivos de som individuais.

Em um primeiro momento, foram criados sonogramas e oscilogramas para os cantos de anúncio de cada espécie em cada localidade. Em seguida, foi feita uma análise de parâmetros acústicos como duração, amplitude, pico da frequência

dominante e duração do intervalo entre cantos, e a estrutura da nota, no software R (versão 3.4.6). Os cantos avaliados foram escolhidos aleatoriamente dentro dos arquivos de áudio. Neste estudo, os parâmetros utilizados para caracterizar e comparar os cantos são a duração do canto, a frequência média, a frequência fundamental, as frequências dominantes mínima e máxima e a entropia espectral (ou seja, a distribuição de energia no espectro de frequência, sendo 0 um tom puro e 1 um som completamente saturado em ruído). As médias dos valores obtidos a partir da análise de diferentes cantos é apresentada nos resultados

Ademais, para checar se os sons produzidos por indivíduos de fragmentos diferentes diferem mais do que os sons produzidos por indivíduos de uma mesma comunidade, duas gravações diferentes de *Vitreorana uranoscopa* provenientes do mesmo fragmento da Mata dos Godoy serão analisadas e comparadas.

A partir destas análises, foi possível caracterizar a estrutura do canto de anúncio de cada uma das espécies registradas em suas diferentes localidades de ocorrência. Este protocolo de análises foi adaptado de Beecher (1988) e de Araya-Salas & Smith-Vidaurre (2016). Uma vez que os dados das características acústicas de cada amostra estejam tabelados, as distâncias euclidianas entre as amostras foram calculadas, para saber quais amostras diferem mais umas das outras e, no caso da *V. uranoscopa*, se a diferença entre amostras da mesma espécie provenientes de um mesmo fragmento (intra-regional) é menor do que as diferenças inter-regionais.

Para a análise dos áudios, foram utilizados os programas Raven Lite® 2.6 (Cornell Lab of Ornithology), Audacity® e R versão 3.4.6, com os pacotes warbleR e seewave (R Foundation), principalmente.

RESULTADOS

3.1 *Vitreorana uranoscopa*

Ao todo, 40 cantos de anúncio de *V. uranoscopa* foram analisados. Os valores para as variáveis acústicas dos cantos produzidos no Parque Estadual Mata dos Godoy e na Fazenda Rio Claro encontram-se na Tabela 3.1. Duas gravações feitas na Mata dos Godoy em noites diferentes foram analisadas.

Tabela 3.1 - Variáveis acústicas de cantos de anúncio de *Vitreorana uranoscopa* de duas regiões diferentes (Godoy 1 = gravação do dia 03/06 no Parque Estadual Mata dos Godoy; Godoy 2 = gravação do dia 16/02 Parque Estadual Mata dos Godoy; no Rio Claro = Fazenda Rio Claro; \pm = desvio padrão da frequência média, em kHz; N = número de cantos de anúncio analisados). Valores em negrito são os maiores encontrados para cada variável.

<i>Variável</i>	<i>Godoy 1 (N = 18)</i>	<i>Godoy 2 (N = 12)</i>	<i>Rio Claro (N = 10)</i>
Duração do canto (s)	0,990	0,794	0,400
Frequência média (kHz)	6,370 ($\pm 2,845$)	5,625 ($\pm 2,487$)	5,047 ($\pm 1,101$)
Frequência Dominante Mínima (kHz)	4,129	4,859	4,325
Frequência Dominante Máxima (kHz)	5,981	5,017	5,062
Entropia espectral (de 0 a 1)	0,774	0,764	0,773
Frequência fundamental média (kHz)	5,647	4,425	2,922

Os cantos de anúncio mais representativos produzidos em cada localidade estão representados na forma de oscilogramas e sonogramas na Figura 3.1. A gravação na Mata dos Godoy foi feita às 20h50 do dia 06 de Março de 2017, a uma temperatura média de 26,6°C (“Godoy 2”, na tabela acima).

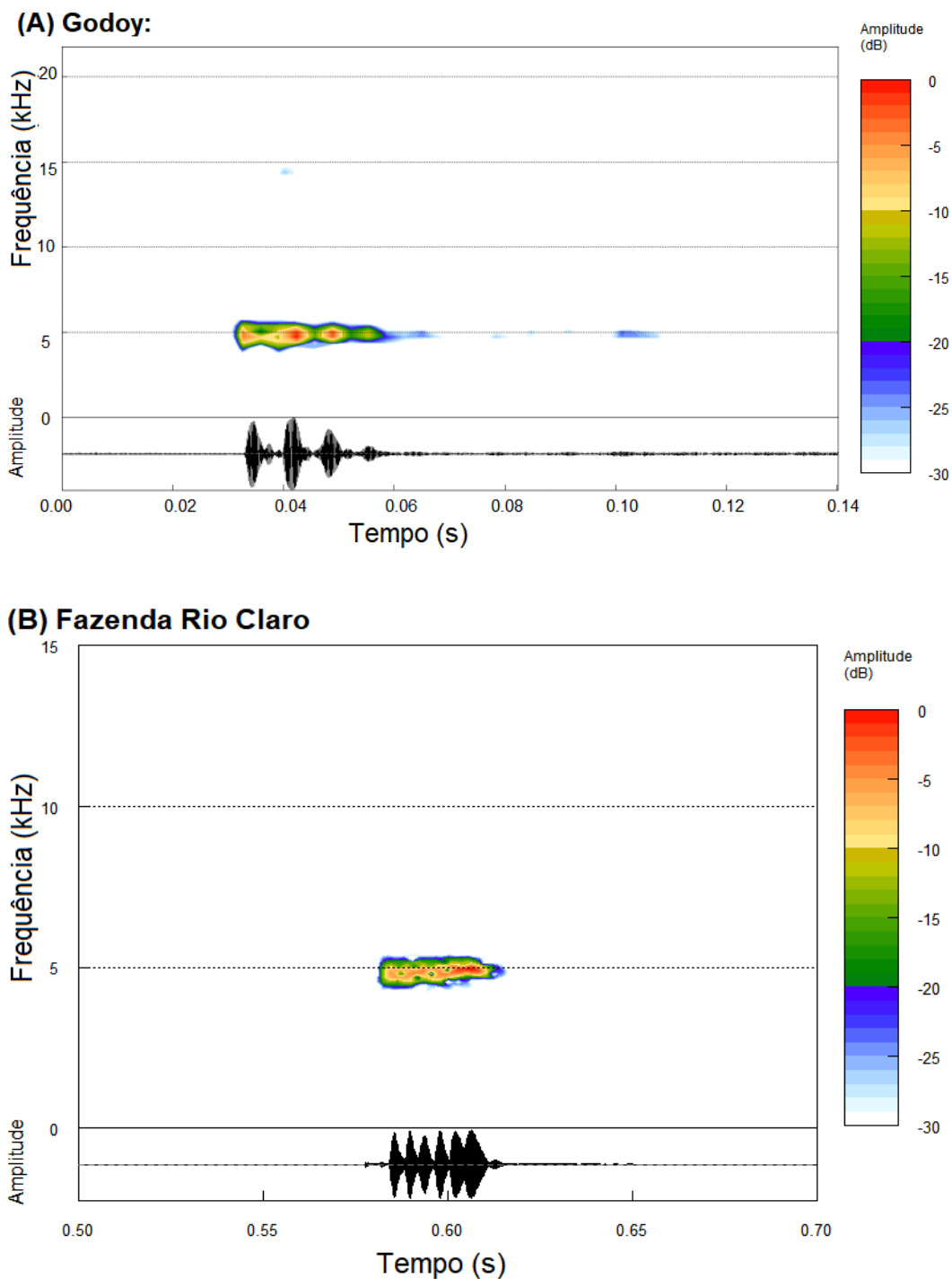


Figura 3.1 - Representações gráficas dos cantos de anúncio de *V. uranoscopa* em diferentes localidades: (A) Mata dos Godoy e (B) Fazenda Rio Claro. Os gráficos coloridos, na parte superior, são sonogramas, os em preto e branco, na parte inferior, são oscilogramas. As barras coloridas verticais são escalas de amplitude em decibéis.

A distância entre as características acústicas das duas amostras da Mata dos Godoy (2,035) foi menor do que a distância entre a primeira amostra (“Godoy 1”) e a amostra da Fazenda Rio Claro (3,482), mas a distância entre esta e a segunda amostra (“Godoy 2”) foi ligeiramente menor (1,881).

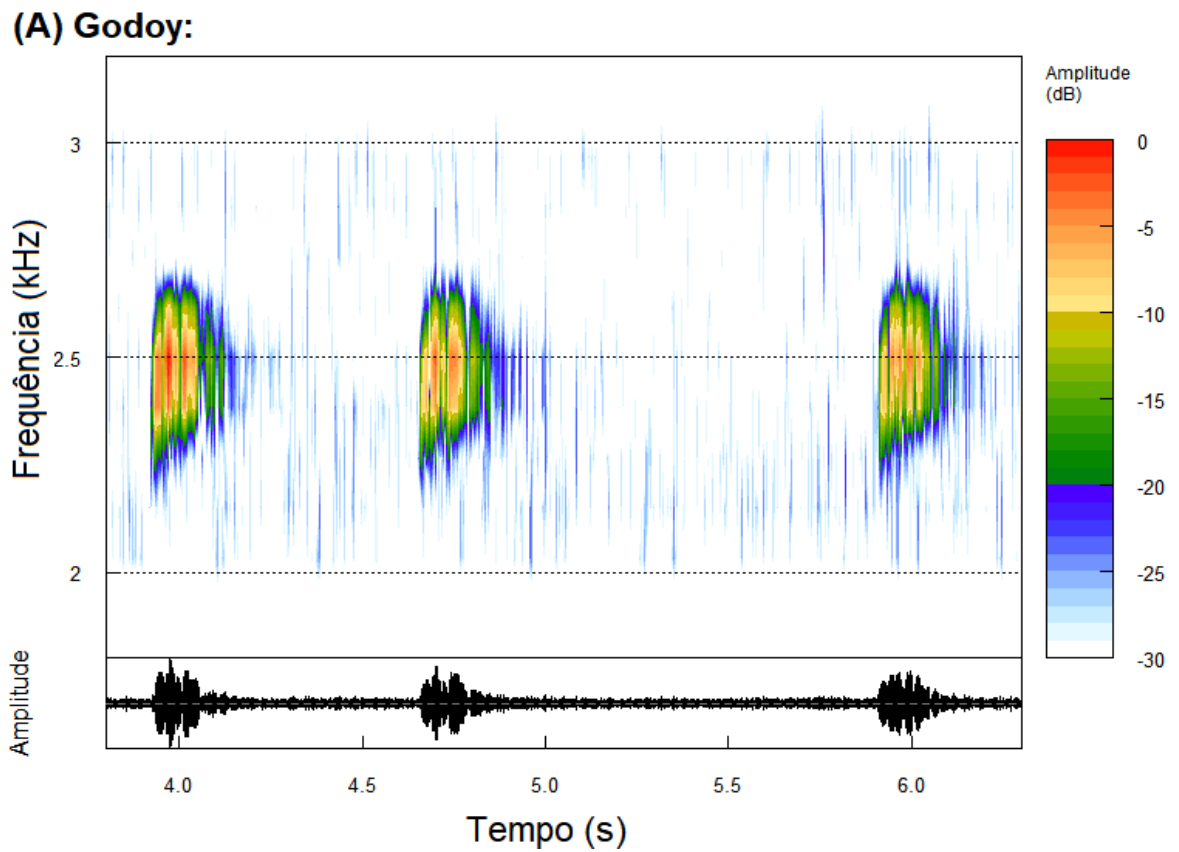
3.2 *Aplastodiscus perviridis*

Ao todo, 45 cantos de anúncio de *A. perviridis* foram analisados. Os valores para as variáveis acústicas dos cantos produzidos no Parque Estadual Mata dos Godoy, na Fazenda Rio Claro e na Fazenda Doralice encontram-se na Tabela 3.2.

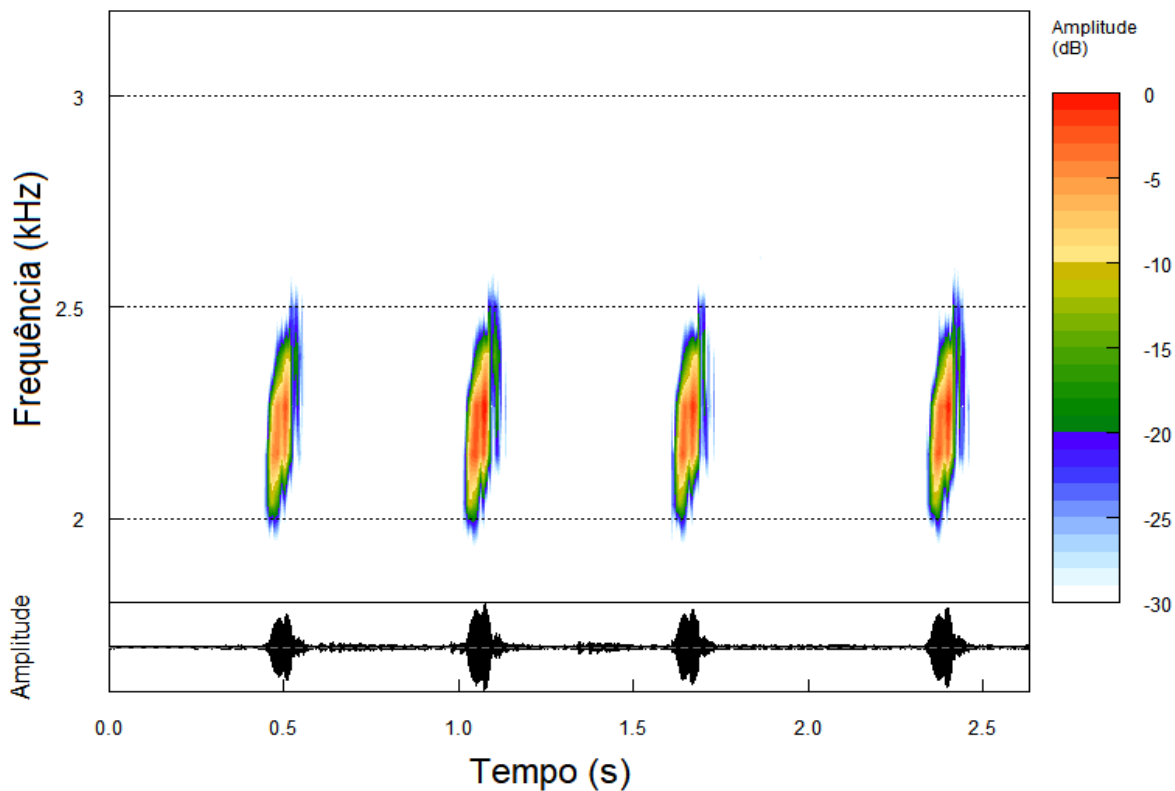
Tabela 3.2 - Variáveis acústicas de cantos de anúncio de *Aplastodiscus perviridis* de diferentes regiões (Godoy = Parque Estadual Mata dos Godoy; Rio Claro = Fazenda Rio Claro; Doralice = Fazenda Doralice; \pm = desvio padrão da frequência média, em kHz; N = número de cantos de anúncio analisados). Valores em negrito são os maiores encontrados para cada variável.

<i>Variável</i>	<i>Godoy</i> (N=21)	<i>Rio Claro</i> (N = 14)	<i>Doralice</i> (N = 10)
Duração do canto (s)	0,402	0,407	0,204
Frequência média (kHz)	5,010 (\pm 1,169)	2,048 (\pm 0,436)	2,498 (\pm 0,558)
Frequência Dominante Mínima (kHz)	3,058	1,280	2,067
Frequência Dominante Máxima (kHz)	6,933	2,368	2,592
Entropia espectral (de 0 a 1)	0,981	0,753	0,637
Frequência fundamental média (kHz)	2,276	1,923	2,228

Os cantos de anúncio mais representativos produzidos em cada localidade estão representados na forma de oscilogramas e sonogramas na Figura 3.2. A gravação na Mata dos Godoy foi feita às 20h36 do dia 14 de Fevereiro de 2017, a uma temperatura média de 25,9 °C.



(B) Rio Claro:



(C) Doralice:

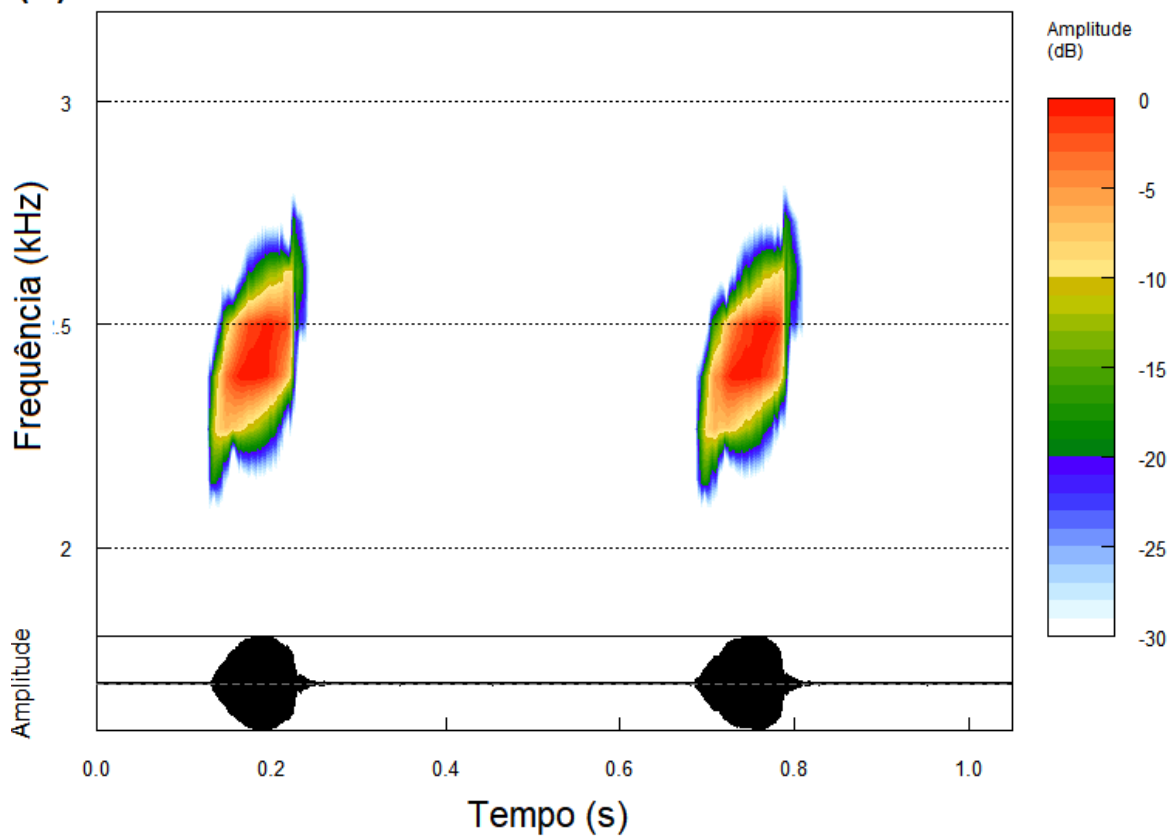


Figura 3.2 - Representações gráficas dos cantos de anúncio de *A. perviridis* em diferentes localidades: (A) Mata dos Godoy, (B) Fazenda Rio Claro e (C) Fazenda Doralice. Os gráficos coloridos na parte superior são sonogramas, os em preto e branco na parte inferior são oscilogramas. As barras coloridas verticais são escalas de amplitude em decibéis.

Os cálculos de distância revelam uma maior proximidade entre os cantos amostrados na Fazenda do Rio Claro e a Fazenda Doralice (1,091) e uma distância maior entre as amostras de Rio Claro e da Mata dos Godoy (6,200). As distâncias entre as amostras da Mata dos Godoy e da Fazenda Doralice foi de 5,539.

DISCUSSÃO

Amostras de áudios gravados em três diferentes fragmentos de Mata Atlântica foram comparados para testar a hipótese de que há uma diferença considerável entre as características espectrais dos cantos de anúncio de anuros de uma mesma espécie em regiões diferentes, sendo a variação inter-regional (entre cantos de anúncios produzidos em fragmentos diferentes) maior do que a variação intra-regional (entre cantos produzidos em um mesmo fragmento). A análise evidenciou que parâmetros acústicos de *V. uranoscopa* e *A. perviridis* variam nos três ambientes, mas não permite concluir que as diferenças inter-regionais são maiores do que as intra-regionais, como previa a hipótese. Devido ao fato do canto de anúncio ser um fenótipo que apresenta variações consideráveis entre indivíduos, é provável que a detecção de padrões regionais só possa ser realizada a partir da análise de um número maior de cantos de diferentes indivíduos em diferentes regiões.

As diferenças nas características acústicas podem estar relacionadas a diferenças nas estruturas das comunidades e nas características dos habitats nos quais os organismos vocalizantes se encontram. Em um trabalho sobre variações intraespecíficas em cantos de anúncio de *Eleutherodactylus glamyrus*, Rodrigues, de la Nuez & Alonso (2010), as características que apresentaram mais variação foram a modulação de frequência e o tempo de aumento de amplitude (sendo a duração e a frequência dominante as mais estáveis), e a temperatura e o tamanho dos animais produzindo a comunicação foram as principais variáveis explicativas. Características como estas podem variar consideravelmente de fragmento para fragmento: mesmo dentro do

mesmo bioma, a temperatura é influenciada por fatores como o microclima de cada localidade, a pluviosidade e a incidência luminosa e, mesmo dentro da mesma espécie, o tamanho dos animais pode ser bastante diferente, sofrendo influência de fatores como a própria temperatura e a disponibilidade de alimento e de outros recursos (Erdtmann & Lima, 2013).

Além disso, em ambientes cujo nicho acústico está saturado, espera-se que ocorra uma modulação de características acústicas em resposta à competição intra- e interespecífica (Villanueva-Rivera, 2014). Essa partição de nicho e as variações nos parâmetros acústicos que a acompanham seriam, portanto, mais prováveis de ocorrer em comunidades de maior riqueza específica. Este é um fator que poderia gerar heterogeneidades intra-regionais no canto de anúncio, e uma dissimilaridade inter-regional ainda maior. Entretanto, tal partição não foi detectada em estudo realizado com dados coletados entre Janeiro e Abril de 2017 (Moreira, 2018).

Os três fragmentos analisados são caracterizados como florestas estacionais semidecíduais. Não existem estudos publicados sobre a anurofauna da Fazenda Doralice, mas, de acordo com dados ainda não publicados e com a riqueza esperada (IAP, 2015; com base em estudos realizados na região do baixo Tibagi), a composição de sua comunidade de anuros seria, provavelmente, parecida com a do Parque Estadual Mata dos Godoy (apresentada em Torezan, 2006), enquanto que a anurofauna da fazenda Rio Claro é a mais distinta das três (Maffei, 2010), além de ser a mais distante geograficamente. Neste trabalho, os cantos de *A. perviridis* registrados na Mata dos Godoy foram os mais distintos, o que pode indicar que a composição das comunidades não é um bom preditor para variações nas características dos cantos de anúncio desta espécie.

Entretanto, algumas ressalvas devem ser feitas em relação aos resultados deste trabalho. As análises foram feitas com um número pequeno de cantos, cuja origem não pôde ser determinada (ou seja, podem haver um ou mais indivíduos vocalizando a cada gravação e o mesmo indivíduo pode ter sido gravado vocalizando em dias diferentes). Além disso, as gravações de Rio Claro foram feitas por pesquisadores, equipamentos e desenhos amostrais diferentes, o que compromete e restringe as comparações que podem ser feitas entre os cantos de uma mesma espécie. Outras ocorrências no

momento da gravação (como presença de ruídos e a acústica do ambiente) podem afetar as análises realizadas.

Também é importante ressaltar que, devido às restrições citadas e ao fato do trabalho ser focado na bioacústica, muitas variáveis importantes para a caracterização destes fragmentos (como temperatura e fitofisionomia) e dos indivíduos que estavam vocalizando (como peso e ocorrência de competição intraespecífica) não foram consideradas e análises estatísticas mais robustas não foram realizadas por estarem fora do escopo deste projeto. Por isso, as conclusões tiradas a partir destes resultados não são generalizáveis.

Em próximos trabalhos como este, a caracterização do local de vocalização deve ser realizada seguindo-se metodologias estabelecidas de caracterização de habitat. As análises das características espectrais de cantos de anúncio devem ser feitas com um número maior de cantos e, se possível, com informações objetivas sobre os indivíduos emissores. A utilização de cantos gravados nas localidades-tipo da espécie (ou em um ambiente que ofereça as condições ambientais teoricamente ideais para a ocorrência da mesma) como base para comparações pode ajudar a padronizar análises desta natureza. Além disso, é importante ressaltar que nenhum dos três trabalhos de onde advêm as gravações aqui utilizadas tinham como objetivo a comparação entre sons de indivíduos coespecíficos de regiões diferentes. Projetos como este evidenciam a importância da padronização em trabalhos de Bioacústica, de modo que as gravações produzidas possam servir de base para uma gama cada vez maior de análises, comparações, medições e generalizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Carlos Barros de Araújo, Luiz dos Anjos e Marcos Robalinho Lima, pelo empenho e dedicação na formação de novos profissionais e pesquisadores em Ecologia e Bioacústica. Aos meus coorientadores e colegas de laboratório, Gabriel Lima Medina Rosa e Tatiana Motta-Tavares, pesquisadores pelo Laboratório de Ornitologia e Bioacústica, por terem me ensinado tanto em tão pouco tempo e por terem contribuído com arquivos de áudio, ideias, caronas e companheirismo. Aos colegas de disciplina, pelas discussões interessantes, pelas contribuições ao meu projeto e pela companhia sempre divertida. Aos funcionários e

proprietários das Fazendas Rio Claro, Doralice e Santa Helena e aos funcionários e administradores do Parque Estadual Mata dos Godoy. Aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio incondicional durante esta disciplina e a realização deste trabalho. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

Araya-Salas, M.; Smith-Vidaurre, G. 2017. warbleR: an r package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 8, n. 2, p. 184–191

Aronson, L.R. 1944. The sexual behaviour of Anura. 6. The mating pattern of *Bufo americanus*, *Bufo fowleri*, and *Bufo terrestris*. *Amer. Mus. Novit.*

Bee, M. A.; Schwartz, J. J.; Summers, K. 2013. All's well that begins Wells: celebrating 60 years of Animal Behaviour and 36 years of research on anuran social behaviour. *Animal Behaviour*, v. 85, n. 1, p. 5–18.

Beecher, M.D. 1988. Spectrographic analysis of animal vocalizations: implications of the “uncertainty principle”. *Bioacoustics The International Journal of Animal Sound and its Recording*, v. 1, p. 187–208.

Bernarde, P. S. & Anjos, L. 1999. Distribuição espacial e temporal da anurofauna no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, Paraná, Brasil (Amphibia, Anura). *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia PUCRS, Série Zoologia*, 12:111-140.

Cocroft, R. B.; Ryan, M. J. 1995. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Anim. Behav.* , v. 49, p. 283–303

Duellman, W. E.; Trueb, L. 1994. *Biology of amphibians*. Johns Hopkins University Press.

Erdtmann, L.K. & Lima, Albertina. 2013. Environmental effects on anuran call design: What we know and what we need to know. *Ethology Ecology & Evolution*. 25. 10.1080/03949370.2012.744356.

Faria, L. F. 2017. *A Síndrome das florestas vazias e a importância dos pequenos fragmentos para a conservação dos anfíbios*. 43 f. Dissertação - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

Farina, Almo. 2014. *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*. Springer Science+Business Media Dordrecht. 1ª ed. 315 p.

Gerhardt, H. C. 1994. The Evolution of Vocalization in Frogs and Toads. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 25, n. 1, p. 293–324

Haddad, CFB; Faivovich, J.; Garcia, PCA. 2005. *The specialized reproductive mode of the treefrog Aplastodiscus perviridis (Anura : Hylidae)*. Amphibia-reptilia. Leiden: Brill Academic Publishers, v. 26, n. 1, p. 87-92.

Haga, I.A.; De Andrade, F.S.; Toscano, N.P. 2014. Advertisement call and habitat of *Vitreorana uranoscopa* (Anura: Centrolenidae) in Brazil. *Salamandra* 50(4): 236–240.

IAP. 2015. *Plano de manejo do município de Ibiporã - PR*. Ibiporã.

Köhler, J. et al. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa*.

Lingnau, R.; Guimarães, L. D.; Bastos, R. P. 2004. Vocalizações de *Hyla wernerii* (Anura, Hylidae) no sul do Brasil. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, v. 3.

Littlejohn, M.J. 1977. Long-range acoustic communities in anurans: an integrated and evolutionary approach. In: TAYLOR, D. H.; GUTTMAN, S. I. eds. *The reproductive biology of amphibians*. New York, Plenum. p.263,264.

Machado, R.A. & P.S. Bernarde. 2002. Anurofauna da bacia do rio Tibagi, p. 297-306. In: M.E. MEDRI; E. BIANCHINI; O.A. SHIBATTA & J.A. PIMENTA (Eds). *A Bacia do Rio Tibagi*. Londrina, Edição dos editores, 595p.

Machado, R. A.; Bernarde, P. S.; Morato, S. A. B. & Anjos, L. 1999. Análise comparada da riqueza de anuros entre duas áreas com diferentes estados de conservação no município de Londrina, Paraná, Brasil (Amphibia: Anura). *Revista Brasileira de Zoologia*, 19:997-1004.

Maffei, Fábio. *Diversidade e uso do habitat de comunidades de anfíbios anuros em Lençóis Paulista, Estado de São Paulo.* 2010. 74 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu.

Mcloughlin, M.P.; Stewart, R & McElligott, A.G. 2019. “Automated Bioacoustics: Methods in Ecology and Conservation and Their Potential for Animal Welfare Monitoring”. *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 16, 155.

Moreira, João Miguel N.C. 2018. *Análise de partição de nicho acústico em comunidades de anuros no Parque Estadual Mata dos Godoy.* 2017. 58 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

Rodriguez, A.; De la Nuez, D.; Alonso, R. 2010. Intraspecific variation in the advertisement call of the cloud-forest frog *Eleutherodactylus glamyrus* (Anura: Eleutherodactylidae). *Journal of Herpetology* 44: 457-466.

SOARES-SILVA, L.H.; BIANCHINI, E.; FONSECA, E.P.; DIAS, M.C.; MEDRI, M.E.; ZANGARO-FILHO, W. 1992. Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares da bacia do rio Tibagi. 1. Fazenda Doralice, Ibiporã, PR. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: 1992. p. 199-206.

Villanueva-Rivera, L. J. 2014. *Eleutherodactylus* frogs show frequency but no temporal partitioning: implications for the acoustic niche hypothesis. *PeerJ*, v. 2, p. e496.

Matriz de distância acústica do gênero *Endecous* Saussure, 1878

(Orthoptera: Grylloidea)

Riuler Corrêa Acosta

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia,
Laboratório de Ecologia de Insetos. Estudante de doutorado em Biologia Animal.

Resumo

Os grilos do gênero *Endecous* Saussure, 1878 são comuns na região Neotropical, observados durante a noite quando deixam seus abrigos sob troncos, rochas ou cascas, para forragear na serrapilheira. No gênero *Endecous*, algumas espécies possuem seu som de chamado registrado, tais como *E. onthophagus*, *E. naipi*, *E. alejomesai*, *E. bahiensis* e *E. itatibensis*. O padrão encontrado nos sons de chamado do gênero não acompanha a organização taxonômica dessas espécies em seus respectivos subgêneros, dos quais foram criados com base na morfologia dos escleritos fálcos, sendo que o relacionamento filogenético dessas espécies é desconhecido. Desta forma, o objetivo do trabalho é propor uma matriz de dissimilaridade para os sons de chamado do gênero *Endecous*. O dendrograma gerado a partir da matriz se mostrou similar ao esperado, formando grupos, neste caso o grupo (1) formado por *E. onthophagus* e *E. naipi* com *chirps* compostos por frases de 2 a 7 pulsos, e (2) formado por *E. alejomesai*, *E. bahiensis* e *E. itatibensis* com *chirps* formando pares de pulsos.

Palavras-chave: bioacústica, grilos, Notendecous, Phalangopsidae, som de chamado.

INTRODUÇÃO

Os machos estridulam nas diferentes fases do comportamento reprodutivo, com o repertório incluindo o som de chamado, corte, interrupção de corte, cópula, pós cópula, territorialidade e agressividade (Alexander 1957, 1967). A maioria das espécies apresenta o repertório composto por três sinais, o som de chamado, corte e agressividade (Crankshawn 1979; Simmons 2013; Alexander 1961), porém, machos de *Adelosgryllus rubricephalus* Mesa e Zefa, 2004 perderam o som de chamado, e de *Laranda meridionalis* Desutter-Grandcolas, 1994 perderam completamente a capacidade de estridular (Desutter-Grandcolas 1994). O maior repertório é apresentado por *Anurogryllus muticus* (De Geer, 1773), com seis sons distintos (Alexander 1967).

O som de chamado é produzido quando o macho se encontra sexualmente maduro e solitário em seu habitat, apresentando função de atração a longa distância (Alexander 1957, 1961, 1967). A partir dele a fêmea pode localizar e estimar os machos com melhores qualidades genéticas, ignorando aqueles que estão no final do período reprodutivo, ou doentes (Crankshawn 1979; Cade 1981; Zhantiev 1981; Balakrishnan *et al.* 1996; Nelson & Nolen 1997; Brown 1999; Zuk *et al.* 2008).

O som de corte atua como pré-requisito para a cópula, sendo produzido após reconhecimento sexual entre macho e fêmea (Crankshawn 1979). O som de corte foi menos estudado quando comparado ao som de chamado por não apresentar valor taxonômico, uma vez que seus parâmetros temporais (ritmo) e físicos (frequência) apresentam descontinuidade (Nelson & Nolen 1997; Zuk *et al.* 2008) devido sua dependência de intensidade e de proximidade da fêmea (Zuk *et al.* 2008).

Os grilos do gênero *Endecous* Saussure, 1878 são comuns na região Neotropical, observados durante a noite quando deixam seus abrigos sob troncos, rochas ou cascas, para forragear na serapilheira (Zefa 2006, 2010; Souza-Dias *et al.* 2017). Algumas espécies são permanentes ou ocasionalmente cavernícolas, alimentando-se de matéria em decomposição e guano (Otte & Alexander 1983; Desutter-Grandcolas, 1996). Os machos possuem tégminas desenvolvidas, e algumas espécies possuem seu som de chamado registrado, mas nem todos disponíveis online, tais como *E. onthophagus* Berg, 1891, *E. naipi* Souza-Dias, 2017, *E. alejomesai* Zefa, 2010, *E. bahiensis* Castro-Souza,

Zefa & Lopes, 2017, *E. betariensis* de Mello & Pellegatti-Franco, 1998 e *E. itatibensis* Rehn, 1918 (Cigliano *et al.* 2019).

As espécies de *Endecous* são morfologicamente similares, com diferenças inter-específicas principalmente na forma de escleritos fálcos. O gênero foi descrito inicialmente por Saussure (1878) e posteriormente foi dividido em três subgêneros por Gorochov (2014). O subgênero *E. (Notendecous)* Gorochov, 2014 apresenta a prega ectofálica (= raquis) muito grande, esclerito lamelar e quase completamente membranoso e o esclerito endofálico (= fórmula) longo. Por outro lado, *E. (Endecous)* e *E. (Pedroecous)* compartilham a prega ectofálica de tamanho médio, não lamelar e semiesclerotizada, e o esclerito endofálico curto, ambos diferindo principalmente no epífalo alongado em *E. (Endecous)* e curto em *E. (Pedroecous)* em vista dorsal e ventral (Gorochov 2014; Souza-Dias *et al.* 2017). Porém, vale ressaltar que o subgênero *Pedroecous* não foi utilizado no trabalho, visto que sua única espécie, *E. apterus*, não possui tégminas, logo não produz sons (Souza-Dias *et al.* 2017).

O som de chamado das espécies de *Endecous* pode ser arranjado em dois grupos distintos de acordo com a estrutura do seu *chirp*, sendo os grupos (1) formado por *E. onthophagus* e *E. naipi* com *chirps* compostos por frases de 2 a 7 pulsos, e (2) formado por *E. alejomesai*, *E. bahiensis* e *E. itatibensis* com *chirps* formando pares de pulsos (Souza-Dias *et al.* 2017). Esse padrão de som de chamado não acompanha a organização taxonômica dessas espécies em seus respectivos subgêneros, os quais foram criados com base na morfologia dos escleritos fálcos, sendo que o relacionamento filogenético dessas espécies é desconhecido. Desta forma, o objetivo do trabalho é propor uma matriz de dissimilaridade para o som de chamado das espécies dos dois subgêneros.

MÉTODOS

Os sons de chamado das espécies dos dois subgêneros foram obtidos através da Biblioteca de sons do Laboratório de Zoologia de Invertebrados da Universidade Federal de Pelotas – UFPel e através da base de dados on-line para estudos envolvendo ortópteros, Orthoptera Species File (Cigliano *et al.* 2019).

Os sons de chamado foram editados com um filtro *high pass* de 100 Hz e foi normalizado a 0dB, para que suas medições fossem realizadas sob cinco parâmetros: tempo inicial e final do *chirp*, frequência mínima e máxima do *chirp* e frequência dominante, semelhante ao proposto por Estrela (2019) (fig 1).

As análises acústicas foram realizadas no *R* software (R Core Team 2018) usando os pacotes *tuneR* (Ligges *et al.* 2013) e *seewave* (Sueur *et al.* 2008) para a geração de uma matriz de distância euclidiana contendo as características do som de cada espécie.

Os espectrogramas foram configurados com Fast Fourier Transformation (FFT)-Length 512, Flaptop Window e Window overlap de 90%.

A matriz gerada através da caracterização realizada pelo *seewave* e *tuneR* terá seus valores ajustados, de modo que colunas serão invertidas para linhas, e vice-versa. Estes valores foram plotados no RStudio em um dendrograma, ressaltando a distância entre as espécies, que foi gerado pelos pacotes Cluster (Maechler 2019) e Graphics (Murrel 2005) para a elaboração de um dendrograma de dissimilaridade.

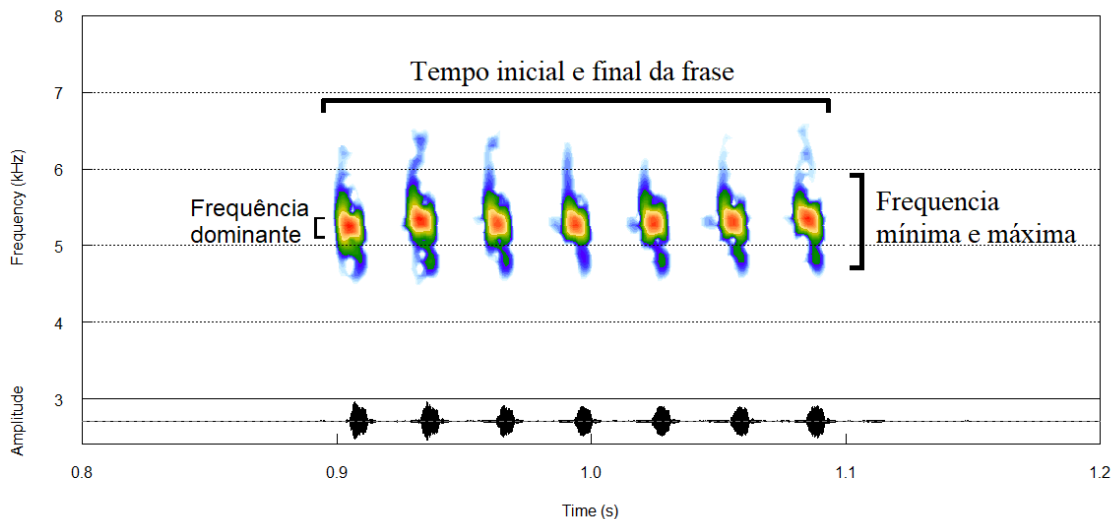


Figura 1: Espectrograma e oscilograma de *Endecous onthophagus* Berg, 1891 exemplificando as medidas utilizadas no trabalho.

RESULTADOS

Caracterização do som de chamado

Através da caracterização dos sons de cada espécie, é visto que a variação encontrada na frequência dominante não foi suficiente para distinguir os grupos, visto que *E. alejomesai* (fig. 4) e *E. naipi* (fig. 5), *E. itatibensis* (fig. 6) e *E. bahiensis* (fig. 7) possuem valores próximos, diferente do valor obtido para *E. onthophagus* (fig. 8), com o maior valor de frequência dominante da espécie (fig. 2).

Tabela 1: Valores encontrados na caracterização dos sons de chamado das espécies do gênero *Endecous* Saussure, 1878.

	<i>E.</i> <i>alejomesai</i>	<i>E.</i> <i>itatibensis</i>	<i>E.</i> <i>onthophagus</i>	<i>E.</i> <i>bahiensis</i>	<i>E.</i> <i>naipi</i>
Freq. Mínima	4194.752	3010.351	4448.552	3100.684	3546.151
Freq. Máxima	5153.552	3574.351	6930.154	3922.398	5238.153
Tempo inicial	0.154295	0.115387	0.37464	0.346614	0.526242
Tempo final	0.23232	0.22536	0.552384	0.430819	0.638167
Freq. dominante	4373.904	3259.265	5307.134	3310.151	4311.184

Desta forma, o carácter que distinguiu os grupos foi a duração do sinais, que variaram de acordo com os grupos pré-definidos de *chirp* com pares de pulsos e de maior número de pulsos.

Matriz de distância

O arranjo hipotético dos subgêneros, seguindo a estrutura das frases em pares de pulsos ou em grupos maiores, seguiu o esperado, de modo que aqueles que possuem pares de pulsos por frase, como *E. alejomesai*, *E. itatibensis* e *E. bahiensis*, foram agrupados, bem como *E. onthophagus* e *E. naipi*.

Tabela 1: Tabela de dissimilaridade euclidiana de sons de chamado de *Endecous* Saussure, 1878.

	1	2	3	4	5
1	0.000000e+00	3.306634e+03	8.284081e+03	8.283826e+03	1.208457e+03
2	3.306634e+03	0.000000e+00	1.140920e+04	1.140894e+04	2.139028e+03
3	8.284081e+03	1.140920e+04	0.000000e+00	2.634248e-01	9.351471e+03
4	8.283826e+03	1.140894e+04	2.634248e-01	0.000000e+00	9.351214e+03
5	1.208457e+03	2.139028e+03	9.351471e+03	9.351214e+03	0.000000e+00

O dendrograma (fig. 9) gerado a partir da matriz de dissimilaridade (fig. 3) de *traits* acústicos se mostrou similar ao esperado, formando grupos, neste caso o grupo (1) formado por *E. onthophagus* e *E. naipi* com *chirps* compostos por frases de 2 a 7 pulsos, e (2) formado por *E. alejomesai*, *E. bahiensis* e *E. itatibensis* com *chirps* formando pares de pulsos.

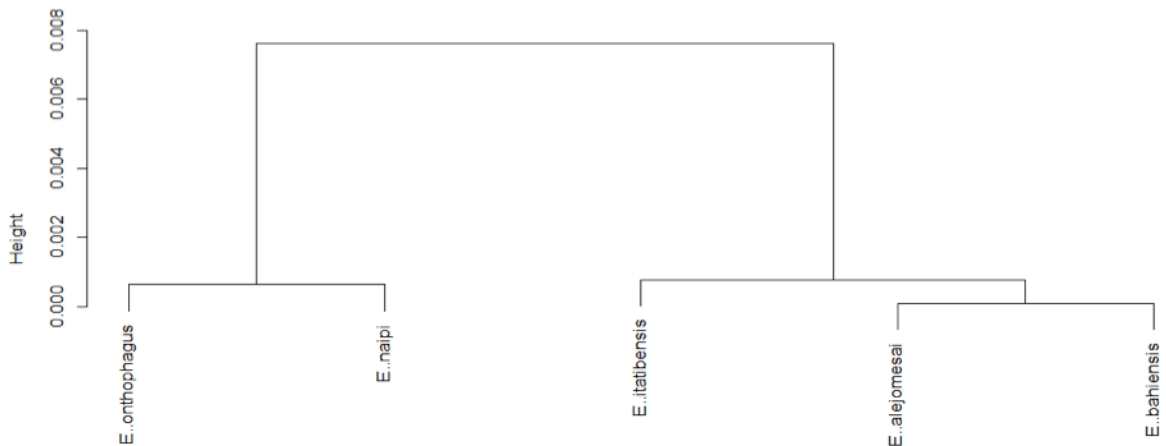


Figura 9: Dendrograma gerado a partir de dados acústicos do gênero *Endecous* Saussure, 1878.

O dendrograma gerado corrobora com a hipótese inicial, de que o agrupamento dos dois subgêneros, *Endecous* e *Notendecous*, não seguem a classificação dada pela bioacústica, mesmo que a genitália seja o principal elemento para distinguir e determinar as espécies de grilos neotropicais.

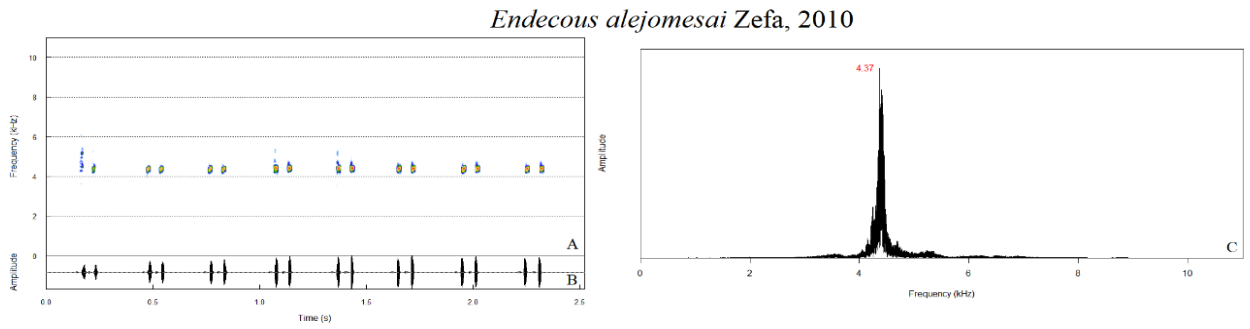


Figura 4: Espectrograma (A), sonograma (B) e espectro de potência (C) de *Endecous alejomesai* Zefa, 2010.



Figura 5: Espectrograma (A), sonograma (B) e espectro de potência (C) de *Endecous bahiensis* Castro-Souza, Zefa & Lopes, 2017.

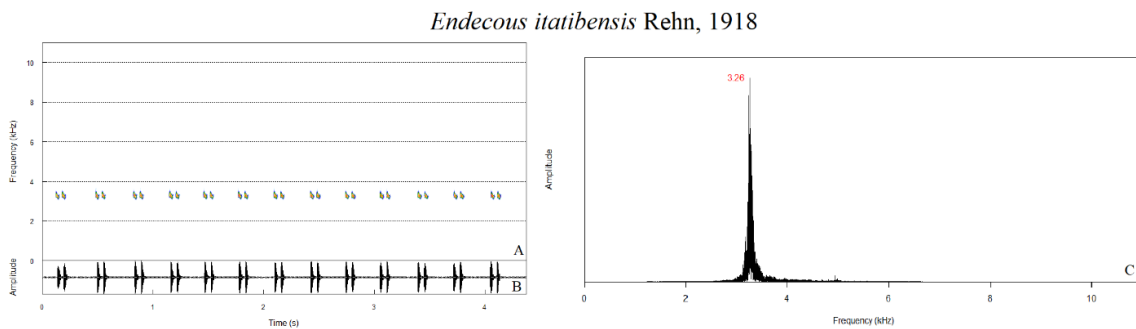


Figura 6: Espectrograma (A), sonograma (B) e espectro de potência (C) de *Endecous itatibensis* Rehn, 1918.

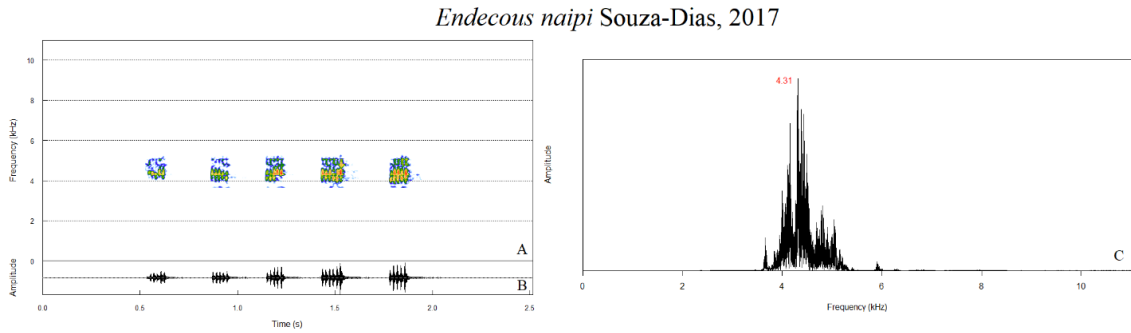


Figura 7: Espectrograma (A), sonograma (B) e espectro de potência (C) de *Endecous naipi* Souza-Dias, 2017.

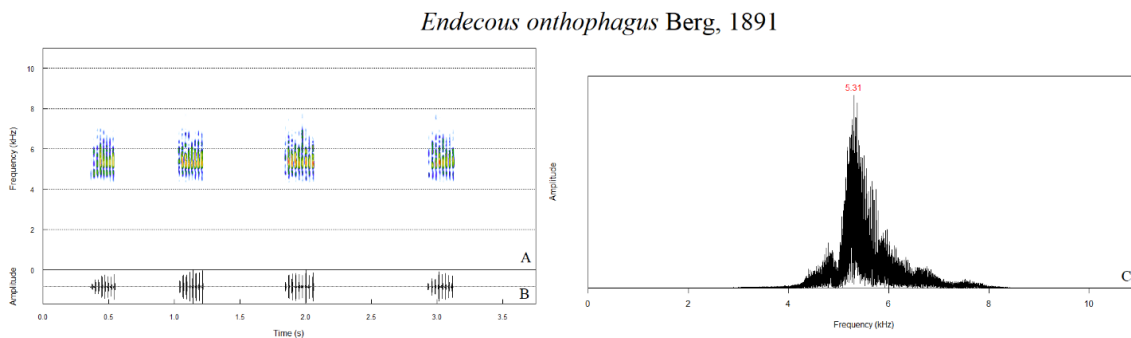


Figura 8: Espectrograma (A), sonograma (B) e espectro de potência (C) de *Endecous onthophagus* Berg, 1891.

DISCUSSÃO

A classificação de um determinado grupo a partir da bioacústica nos grilos surgiu a partir da ideia de Zefa (2002) e Martins (2012) a partir da identificação de espécies da família Gryllidae e Trigonidiidae, visto que sua determinação e distinção com base nos escleritos fálcos é inviável. A partir disso, foi visto que o som de chamado das espécies do gênero modelo varia o suficiente para que a espécie seja definida a partir desse carácter.

Exceto *E. naipi*, as demais espécies utilizadas no trabalho são troglóbias, vivem e reproduzem em ambientes hipógeos e epigeos, e as informações disponíveis dizem respeito aos machos de *E. itatibensis* e *E. alejomesai* que estridulam dentro da caverna durante o dia e a noite, e somente durante a noite em ambientes hipógeos. Foi observado que o som de chamado do *E. onthophagus* e *E. bahiensis* é emitido durante o dia, mesmo não havendo zona afótica no túnel, porém a baixa intensidade de luz (Matthews

& Matthews 2010) foi suficiente para alterar o relógio biológico desses indivíduos, fazendo com que estridulem durante o dia.

Geralmente a estrutura acústica dos grilos segue uma ordem taxonômica, tal como já foi descrita para o gênero *Endecous* (Zefa 2006; 2010), *Oecanthus* (Metrani *et al.* 2005) e *Gymnogryllus* (Tan 2018), com seus sinais compostos por frases com pares de pulsos. Esta ordem também foi encontrada para gêneros como *Cranistus* Stål, 1861 e *Phylloscyrtus* Uhler, 1864, que atualmente estão inseridos na subfamília Trigonidiinae (Chopard, 1968), pois seus sinais são compostos por um *trill* que varia sua taxa de pulso de acordo com a temperatura diária, tal como nos grilos da subfamília *Oecanthinae*, ou também chamados de *tree crickets* (Bell 1979; Martins 2012; Zefa *et al.* 2018).

Esta estrutura acústica citada acima, não encontrada uniformemente em *Endecous*, sugere duas origens para a emissão de sinais (Alexander 1962). De acordo com a nomenclatura proposta Otte (1994), os resultados seguem a estruturação de um *chirp* em pares e ritmo variável, para *E. bahiensis*, *E. alejomesai* e *E. itatibensis*, e um *chirp* regular encontrado em *E. onthophagus* e *E. naipi*.

São poucos os trabalhos taxonômicos realizados a partir de dados acústicos, pois a genitália é um carácter que varia pouco em boa parte dos grupos, e com isso passa a ser utilizada como forma de determinação de espécie (Desutter-Grandcolas 2003, 2004; Gorochoy 2014;). Assim, os trabalhos taxonômicos visam conciliar dados morfológicos com acústicos (Metrani *et al.* 2005; Tan 2018) para garantia da intra-especificidade. Apesar disso, trabalhos como o de Robillard (2004) ressaltam a importância acústica na determinação de espécie, principalmente pelo emprego do registro em campo e pela caracterização do local de emissão, agregando componentes ecológicos e comportamentais a descrição de espécie (Zefa *et al.* 2018).

Conclui-se a partir deste trabalho que a bioacústica corrobora para a garantia da intra-especificidade, somando e auxiliando em trabalhos de conservação acústica pela determinação das espécies a partir do registro acústico. Mais trabalhos devem ser desenvolvidos a respeito da relação acústica entre táxons próximos, além de saber sobre sua relação taxonômica e a importância da bioacústica na taxonomia, visto que o número de espécies aumenta diariamente, mas somente com dados morfológicos.

Agradecimentos

A biblioteca de sons de grilos do Laboratório de Zoologia de Invertebrados (UFPel).

Referências

Alexander, R.D. 1957. Sound production and associated behavior in insects. *The Ohio Journal of Science* 57: 101 – 113.

Alexander, R.D. 1961. Aggressiveness, Territoriality and Sexual Behavior in Field Crickets (Orthoptera: Gryllidae). *Behaviour* 17: 130 – 223

Alexander, R.D. 1962. Evolutionary change in cricket acoustical communication. *Evolution* 16: 443 – 467.

Alexander, R.D., Otte, D. 1967. The evolution of genitalia and mating behavior in crickets (Gryllidae) and other Orthoptera. *Miscellaneous Publications* 133: 1 – 62.

Balakrishan, R., Pollack, G.S. Recognition of courtship in the field cricket, *Teleogryllus oceanicus*. *Animal Behaviour* 51: 353 – 366.

Bell, P.D. 1979. The thermoregulatory Burrow of the Fast-calling short-tailed cricket, *Anurogryllus celerinictus* (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America* 72: 596 – 598.

Brown, W.D. 1999. Mate choice in tree crickets and their kin. *Annual Review of Entomology* 44: 371 – 398.

Cade, W.H. 1981. Alternative male strategies: Genetic differences in crickets. *Science* 212: 563 – 564.

Orthoptera Species File. 2019. [Http://Orthoptera.SpeciesFile.org](http://Orthoptera.SpeciesFile.org) (acesso em: 15 de novembro de 2019).

Crankshaw, O.S. 1979, Female choice in relation to calling and courtship songs in *Acheta domesticus*. *Animal Behaviour* 27: 1274 – 1275.

Desutter-Grandcolas, L. 2003. Phylogeny and the evolution of acoustic communication in extant Ensifera (Insecta, Orthoptera). *Zoologica Scripta* 32: 525 – 561.

Desutter-Grandcolas, L., Grandcolas, P. 1996. The evolution toward troglobitic life: A phylogenetic reappraisal of climatic relict and local habitat shift hypotheses. *Mémoires de Biospéologie* 23: 57 – 63.

Desutter-Grandcolas, L., Robillard, T. 2004. Acoustic evolution in crickets: need for phylogenetic study and a reappraisal of signal effectiveness. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 76: 301 – 315.

Estrela, M.N., Simões, C.R.M.A., Vieira, G.H.C., De Araujo, C.B. 2019. Predicting the effects of noise on Anuran spatial distribution: the case of *Scinax nebulosus*. *Bioacoustics* 1 – 17.

Gorochoy, A.V. 2014. Classification of the Phalangopsinae subfamily group, and new taxa from the subfamilies Phalangopsinae and Phaloriinae (Orthoptera: Gryllidae). *Zoosystematica Rossica* 23: 7–88.

Ligges, U., Krey S.M.O., Schnackenberg, S. 2013. tuneR: analysis of music. R package version 1.3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=tuneR>

Metrani, S.; Balakrishnan, R. 2005. The utility of song and morphological characters in delineating species boundaries among sympatric tree crickets of the genus *Oecanthus* (Orthoptera: Gryllidae: Oecanthinae): a numerical taxonomic approach. *Journal of Orthoptera Research* 14: 5–20.

Murrell, P. 2005. R Graphics. Chapman & Hall/CRC Press.

Mäeçhler, M., Rousseeuw, P., Anja, S., Hubbert, M., Kurt, H. 2012. Cluster: Cluster Analysis Basics and Extensios. R packages. 1.

Martins, L. de P.; Redü, D. R.; Oliveira, G. L.; Zefa, E. 2012. Recognition characters and new records of two species of Phylloscyrtini (Orthoptera: Gryllidae, Trigonidiidae) from Southern Brazil. *Ilheringia*. 102: 95 – 98.

Matthews, R. W.; Matthews, J. R. Mechanocommunication. In: MATTHEWS, R. W.; Matthews, J. R. 2010. *Insect Behavior*, 2.ed. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 291 – 327.

Nelson, C.M., Nolen, T.G. Courtship song, male agonistic encounters, and female mate choice in the house cricket, *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae). *Journal of Insect Behavior* 10: 557 – 570.

Otte, D. 1992. Evolution of Cricket Songs. *Journal of Orthoptera Research* 1: 25 – 49.

Otte, D., Alexander. R.D. 1983. The Australian crickets (Orthoptera: Gryllidae). *Monograph* 22. 477. *Academy of Natural Sciences* 22: 193. 1983

R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing. Vienna:

R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

Robillard, T., Desutter-Grandcolas, L. Phylogeny and the modalities of acoustic diversification in extant Eneopterinae (Insecta, Orthoptera, Grylloidea, Eneopteridae). *Cladistics* 20: 271 – 293.

Simmons, L. W. 2013. Female preferences for acoustic and olfactory signals during courtship Male crickets send multiple messages. *Behavioral Ecology* 24: 1099 – 1107.

Souza-Dias, P.G.B., Szinwelski, N., Fianco, M., Oliveira, E.C., De Mello, F.A.G., Zefa, E. 2017. New species of Endecous (Grylloidea, Phalangopsidae, Luzarinae) from the Iguaçu National Park (Brazil), including bioacoustics, cytogenetic and distribution data. *Zootaxa* 4237: 454 – 470.

Sueur J, Aubin T, Simonis C. 2008. Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*. 18: 213–226.

Tan, M.K.; Yong, C. Y. H.; Ingrisch, S; Sah, H. H. A.; Wahab, R. B. H. A.; Johns, P. M. 2018. Inferring species boundaries using acoustic and morphological data in the ground cricket genus *Gymnogryllus* (Orthoptera: Grylloidea: Gryllinae). *Systematics and Biodiversity* 0: 1 – 12.

Zefa, E. 2006. Comparison of calling songs in three allopatric populations of *Endecous itatibensis* (Orthoptera, Phalangopsinae). *Ilheringia. Série Zoologia* 96: 13 – 16

Zefa, E., Acosta, R.C., Timm, V.F., Szinwelski, N., Marinho, M.A.T., Da Costa, K.M. The tree cricket *Neoxabea brevipes* Rehn, 1913 (Orthoptera: Gryllidae: Oecanthinae) from the Brazilian Southern Atlantic Forest: morphology, bioacoustics and cytogenetics. *Zootaxa* 4531: 554 – 565.

Zefa, E., Fontanetti, C. S. 2002. Pars stridens morphology and acoustical signal emission in the reproductive behavior of *Gryllus assimilis* Fabricius, 1775 (Orthoptera: Gryllidae). *Naturalia* 27: 133 – 143.

Zefa, E., Mesa, A., Martins, L.P. 2010. New Brazilian species of *Endecous* Saussure, 1878: Phallic sclerites, calling song and tegmen morphometry (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsinae). *Entomological Science* 13: 150 – 155.

Zhantiev, R.D. 1981. *Bioacoustics of Insects*. Moscow University Press, Moscow. 256 pp.

Zuk, M., Rebar, D., Scott, S.P. 2008. Courtship song is more variable than calling song in the field cricket *Teleogryllus oceanicus*. *Animal Behaviour* 76: 1065 – 1071.

Influência do tamanho corporal na frequência dominante em Platyrrhini.

Felipe dos Santos Machado Pereira

Mestrando em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Londrina e bolsista CAPES.

Introdução

Os Platyrrhini, ou macacos do novo mundo, demarcam um grupo muito diverso e de ampla distribuição por toda a América Latina, ocorrendo do México até a Argentina (Lima *et al.*, 2017). O sucesso reprodutivo destes animais está diretamente vinculado a sua plasticidade comportamental, a qual normalmente envolve um enorme repertório de comportamentos afiliativos e agonísticos, ditando muitas das relações sociais destes – inclusive as de hierarquia (Lousa *et al.*, 2010, Leca *et al.*, 2012). Tais comportamentos são fundamentalmente multimodais, a medida que postulam uma associação entre *displays* faciais e vocalizações específicas, sendo reconhecidas em ambas as instâncias pelos indivíduos (Ghazanfar & Logothetis, 2003). Entretanto, as vocalizações assumem um papel fundamental a comunicação dos primatas (e também das aves) devido ao comum hábito arborícola destes animais, havendo assim uma barreira para a recepção de sinais visuais (Fleagle, 2013; Bastos *et al.*, 2015).

Um entendimento geral para a produção física de vocalizações pelos animais é de que são resultado da vibração dos tecidos a qual ocorre por conta da passagem do ar pelo trato vocal deste – sendo a combinação entre laringe e cordas vocais o principal oscilador (com exceção os pássaros que fazem uso da siringe)(Pough *et al.*, 2012; Bowling *et al.*, 2017). A passagem pelo trato vocal do animal é antecedida pela liberação do ar pelo pulmão, que traz força acústica para a produção da vocalização, possibilitando a periodicidade na abertura e fechamento deste canal de produção acústica – condição representada pela frequência fundamental da vocalização (F0), que por sua vez sofre regulação do trato vocal supralaringeal, formando um segundo conjunto de harmônico com diferentes frequências: as formantes (Bowling *et al.*, 2017). O pico de frequência, ou seja que atinge a maior frequência, é conhecido como frequência dominante. Portanto, a laringe (e cordas vocais) funcionam como “*fonte*” e o trato vocal supralaringeal como “*filtro*”. Dessa maneira as formantes tem suas

propriedades diretamente ligadas ao filtro suprafaríngeo, de tal forma que frequências mais baixas estão ligadas à tratos vocais maiores devido também a maiores reverberações por conta de um trato vocal mais alongado (Morton, 1977; Bowling *et al.*, 2017).

Maiores tratos vocais foram associados a também algumas variáveis anatômicas como visto por Fitch (1997), tendo forte correlação linear entre o comprimento e peso do corpo com o comprimento do traco vocal (VTL), que por sua vez estava fortemente correlacionado ao tamanho do crânio – relação explicada pela limitação do crescimento da laringe em função do tamanho do crânio. Ainda, houveram correlações entre variáveis anatômicas e variáveis acústicas como a dispersão das formantes (sendo a primeira utilização formal desta para análise), que seria basicamente uma diminuição no espaçamento dos harmônicos nas formantes – onde com um aumento no alongamento do VTL foi observada menor dispersão das formantes (Fitch, 1997).

O presente estudo propõe a análise alométrica de vocalizações de três espécies de Macacos do Novo mundo: o sagui (*Callithrix jacchus*); o macaco-prego de face branca (*Cebus capucinus*); e o bugio vermelho (*Alouatta seniculus*) para a testagem da hipótese de que espécies maiores apresentam menores frequência dominantes durante as vocalizações.

Material e Métodos

Coleta de dados

Para a realização das análises aqui discutidas foi realizada busca por material digitalizado para as espécies foco do trabalho. As vocalizações de *Callithrix jacchus* foram obtidas no diretório de áudios da Fonoteca Neotropical Jacques Villiard, sendo estas parte do acervo digital disponível. As vocalizações do bugio vermelho (*A. seniculus*) foram extraídas de vídeos amadores disponíveis no Youtube, tendo seu uso justificado devido a possibilidade de identificação do indivíduo o qual vocalizava durante a gravação, haja visto que um grupo de machos de um bando de bugios impossibilita a análise das vocalizações individualmente. Os dados para análise em *C. capucinus* foram extraídos de Gros-Luis (2006), onde é fornecida a média da frequência dominante de 17 indivíduos de um grupo de macacos-prego. Com exceção das

vocalizações dos saguis, as amostras foram selecionadas com base no sexo, sendo utilizadas para o trabalho as vocalizações oriundas de machos adultos. A massa dos machos nas três espécies foi considerada conforme Fleagle (2013) (Tabela 1). O uso da massa dos machos, mesmo no sagui não gera impacto nos resultados, devido à ausência de dimorfismo sexual marcante na espécie – machos (317g) e fêmeas (324g) (Fleagle, 2013).

Tabela 1 – Primatas do Novo Mundo Platyrrhini abordados no presente estudo.

Espécie	Nome popular
<i>Alouatta seniculus</i>	Bugio-vermelho
<i>Cebus capucinus</i>	Macaco-prego da face branca
<i>Callithrix jacchus</i>	Sagui

Foram selecionadas três vocalizações de cada espécie, sendo inseridas no software Audacity para edição, onde trechos de interesse nas gravações foram destacados e submetidos ao filtro equalizador para retirada de ruído de fundo. Quando houve necessidade, as vocalizações ainda foram amplificadas para melhor obtenção das formantes.

Análise dos dados

As vocalizações foram inseridas através de seus diretórios no software R Studio (versão 1.2.1335), com a utilização do pacote seewave, onde foram mensuradas as frequências dominantes dos cantos, com posterior extração dos dados para construção da regressão linear construída com base nos dados de tamanho corporal disponibilizados na literatura (R Core Team, 2009; Sueur *et al.*, 2008; Fleagle, 2013) (Anexo 1).

Resultados

A hipótese de que há uma relação proporcional entre o aumento do tamanho corporal e a diminuição da frequência dominante foi confirmada, conforme expresso na Figura 1, comprovando a correlação negativa entre o tamanho corporal e a frequência de canto. Os bugios (*A. seniculus*) tiveram uma frequência dominante média menor que a

apresentada, tanto por saguis quanto por macacos-prego Tabela 2. A mesma relação foi também observada entre os macacos-prego e os saguis, de maneira que o primeiro por ter um peso maior, também apresentou uma frequência de canto mais grave, evidenciada pelos valores observados na frequência dominante deste. O valor de R^2 apresentado foi de 0,9283, mostrando uma regressão linear forte entre as duas variáveis analisadas, de maneira de cerca de 92% da variação no peso é explicada por sua associação com a frequência de canto do animal, sendo o restante explicado por outras variáveis não analisadas neste estudo.

Tabela 2: Peso e Frequência dominante de Platyrrhini.

Espécie	Peso (Kg)	Frequência Dominante Média
<i>Alouatta seniculus</i>	6,690	0,320
<i>Cebus capucinus</i>	3,680	1,264
<i>Callithrix jacchus</i>	0,317	4,440

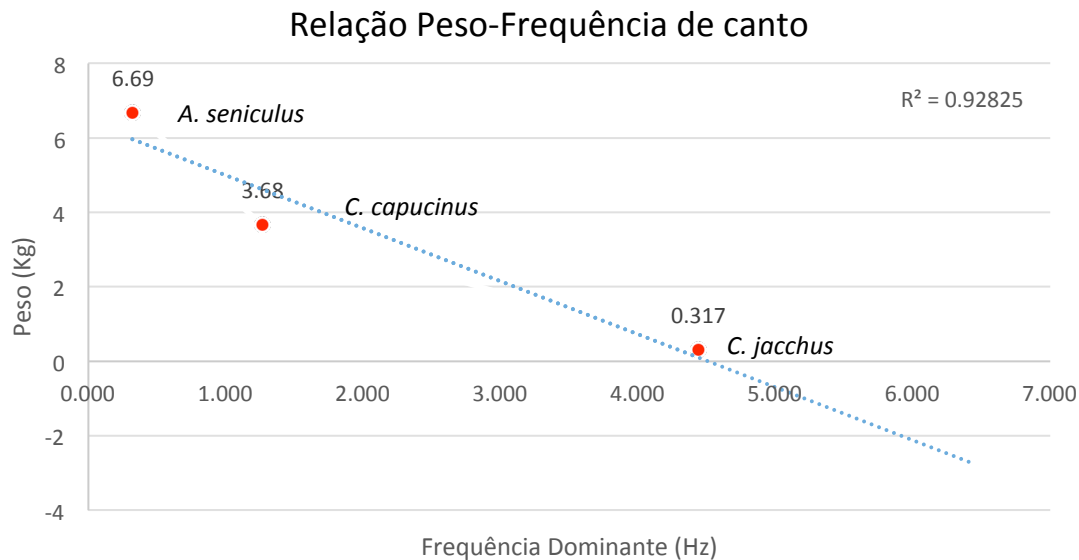


Figura 1: Relação Peso-Frequência de canto em Platyrrhini. Legenda: A frequência dominante apresentada é a média dos valores obtidos nos três cantos em cada espécie

(eixo x) demonstrando a sua relação no gráfico de dispersão com o tamanho corporal (eixo y).

Discussão

A correlação negativa entre o tamanho corporal e a frequência dominante nos Macacos do Novo Mundo aqui apresentada é coincidente com diversos outros estudos na área. Em Bowling *et al.* (2017) uma correlação semelhante foi encontrada para diversos clados de Primates, sendo utilizadas algumas espécies dos mesmos gêneros que as presentes nas análises aqui discutidas. As espécies de pequeno (*Callithrix jacchus*) e médio tamanho (*Cebus olivaceus*), apresentam frequências dominantes significativamente menores que as de animais maiores como *Alouatta seniculus* – que juntamente com outras espécies, apresentaram um R^2 de 0,71, demonstrando que o valor de R^2 aqui reportado pode ser superestimado devido ao número amostral utilizado (Bowling *et al.*, 2017).

O bugio vermelho apresentando frequências dominantes relativamente maiores as dos outros Platyrrhini representa um *trade-off* entre tamanho corporal e as frequências baixas de canto. Entretanto, quando esta relação é analisada entre um grupo maior de primatas que inclui primatas com tamanhos corporais maiores que no gênero *Alouatta*, os bugios apresentam valores maiores que os esperados com base em seu tamanho (Bowling *et al.*, 2017). Esta é explicada justamente pelo alto investimento metabólico e anatômico envolvido com a vocalização dos bugios, de maneira que indivíduos que disponham de vocalizações mais graves, consigam enganar eventuais oponentes e fêmeas na disputa por parceiros sexuais – e para tal, a evolução selecionou cavidades laríngeas maiores não unicamente relacionadas ao tamanho corporal em si (Fitch, 1997; Dunn *et al.*, 2015). Os saguis por outro lado, tem evidências de pouco dimorfismo sexual quanto aos traços vocais, havendo disparidade entre machos e fêmeas somente quanto a exclusividade de certos tipos de vocalização (Newman, 1995).

Os resultados em *Cebus capucinus*, que neste trabalho funcionaria como um intermediário em tamanho para as outras espécies referidas, apresentam uma frequência dominante média menor que do bugio e maior que a do sagui. No artigo o qual foram retiradas as frequências de canto, foram evidenciadas diferenças entre machos e fêmeas quanto a estrutura das vocalizações, estas foram referidas em algum grau como

resultado do dimorfismo sexual que a espécie apresenta (medias de machos com 3680g e fêmeas com 2540g segundo Fleagle [2013]), o que podem influenciar diretamente o tamanho do trato vocal, e portanto o canto (Gros-Luis, 2006; Glander et al., 1991). Embora haja dimorfismo sexual nesta espécie, muito provavelmente a pressão de seleção sobre o desenvolvimento do trato vocal é menor do que a destinada para outros caracteres, como por exemplo os sistemas social-agonísticos característicos da espécie – onde é comum o embate físico dos machos pelo *status* que emprega o maior sucesso reprodutivo (Jack & Fedigan, 2018).

Apesar da influência da seleção sexual nas características dos indivíduos analisados, a alometria dos cantos destes possibilitou o estabelecimento de correlações interessantes ao estudo da bioacústica de primatas do novo mundo.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Carlos de Araújo pela aplicação da disciplina de Bioacústica, que foi sem dúvida uma das melhores disciplinas que tive o prazer de fazer matricula durante meu mestrado. Com isso agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento financeiro, que permite a realização deste e outros trabalhos acadêmicos.

Bibliografia

Bastos M., Souto A., Jones G., Eason P., Bione C., Schiel N., Bezerra B. 2015. Vocal Repertoire of Wild Blonde Capuchins (*Sapajus flavius*) and Contextual Use of Calls. *American Journal of Primatology* 77(6): 605-617.

Bowling D. L., Garcia M., Dunn J. C., Ruprecht R., Stewart A., Frommolt K. H., Fitch, W. T. 2017. Body size and vocalization in Primates and Carnivores. *Scientific reports* 7: 1-11.

Brito, J. E. C. 2015. Ronco do Bugio (*Alouatta guariba clamitans*).

<https://www.youtube.com/watch?v=23mEDHCbxW4> (access on 01 Dec. 2019).

Dunn, J. C., Halenar L. B., Davies T. G. Cristobal-Azkarate J., Reby D., Sykes D., Dengg S., Fitch W. T., Knapp L. A. 2015. Evolutionary Trade-Off between Vocal Tract and Testes Dimensions in Howler Monkeys. *Current biology* 24:2839-2844.

Fitch W. T. 1997. Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *Journal of Acoustical Society of America* 102(2): 1213-1221.

Fonoteca Neotropical Jacques Villiard. Coleção audiovisual.

<https://www2.ib.unicamp.br/fnjv/> (access on 01 Dec. 2019).

Fleagle J. G. 2013. *Primate adaptation and evolution*. Stone Brook NY: Elsevier.

Ghazanfar A. A. & Logothetis N. K. 2003. Facial expressions linked to monkey calls. *Nature* 423: 937.

Glander K. E., Fedigan L. M., Fedigan L. Chapman C. 1991. Field Methods for Capture and Measurement of Three Monkey Species in Costa Rica. *Folia Primatology* 57: 70-82.

Gross-Luis J. 2006. Acoustic Analysis and Contextual Description of Food-Associated Calls in White-Faced Capuchin Monkeys (*Cebus capucinus*). *International Journal of Primatology* 27(1): 273-294.

Jack K. M. & Fedigan L. M. 2018. Alpha Male Capuchins (*Cebus capucinus imitator*) as Keystone Individuals, p. 91-115. In: Kalbitzer U., & Jack K. M. *Primate Life Histories, Sex Roles, and Adaptability*. Cham: Springer.

Leca J. B., Fornasieri I., Petit O. Aggression and Reconciliation in *Cebus capucinus*. *International Journal of Primatology* 23(5): 979-998.

Lima M. G. M., Buckner J. C., Silva-Júnior J. S., Aleixo A., Martins A. B., Boubli J. P., Link A., Farias I. P., Silva M. N., Röhe F., Queiroz H., Chiou K. L., Di Fiore A., Alfaro M. E., Lynch-Alfaro J. W. 2017. Capuchin monkey biogeography: understanding *Sapajus* Pleistocene range expansion and the current sympatry between *Cebus* and *Sapajus*. *Journal of Biogeography* 44: 810-820.

Lousa T. C. 2013 *Influências dos alimentos antrópicos no comportamento e ecologia de macacos-prego*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Comportamento). Programa de Pós-Graduação Departamento de Processos Psicológicos Básicos, Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.

Morlton E. S. On the Occurrence and Significance of Motivation-Structural Rules in Some Bird and Mammal Sounds. *The American Naturalist* 111(981): 855-869.

Newman J. D. 1995. Vocal ontogeny in macaques and marmosets: Convergent and divergent line of Development, p. 73-97. In: Zimmerman E., Newman J. D. & Jürgens U., (eds.). *Current topics in primate vocal communication*. New York: Springer.

Pough F. H., Janis C. M., Heiser J. B. 2012. *Vertebrate life*. San Francisco: Benjamin Cummings.

R Development Core Team (2009). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. <http://www.R-project.org> (access on 01 Dec. 2019).

Senda verde. 2013. Red Howler Monkey Howls at Senda Verde Animal Refuge Bolivia. <https://www.youtube.com/watch?v=HsCfqLEJKNQ> (access on 01 Dec. 2019).

Sueur J., Aubin T., Simonis C. 2008. Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18: 213-226.