

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Satyabhama Devi Weihermann de Oliveira

Avaliação da influência da temperatura no tamanho corporal e vocalização de *Boana bischoffi* (Boulenger, 1887; Anura: Hylidae) ao longo de um gradiente altitudinal na Mata Atlântica Subtropical

Florianópolis

2019

Satyabhama Devi Weihermann de Oliveira

Avaliação da influência da temperatura no tamanho corporal e vocalização de *Boana bischoffi* (Boulenger, 1887; Anura: Hylidae) ao longo de um gradiente altitudinal na Mata Atlântica Subtropical

Trabalho de Conclusão de Curso submetido (a) ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Selvino Neckel de Oliveira

Coorientador: Me. Vítor de Carvalho Rocha

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Oliveira, Satyabhama Devi Weihermann
Avaliação da influência da temperatura no tamanho
corporal e vocalização de *Boana bischoffi* (Boulenger, 1887)
(Anura: Hylidae) ao longo de um gradiente altitudinal na
Mata Atlântica Subtropical / Satyabhama Devi Weihermann de
Oliveira ; orientador, Selvino Neckel de Oliveira,
coorientador, Vítor de Carvalho Rocha , 2019.
37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,
2019.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. anfíbios. 3. tamanho corporal
. 4. altitude. I. Oliveira, Selvino Neckel de. II.
Carvalho Rocha , Vítor de . III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Satyabhama Devi Weihermann de Oliveira

Avaliação da influência da temperatura no tamanho corporal e vocalização de *Boana bischoffi* (Boulenger, 1887; Anura: Hylidae) ao longo de um gradiente altitudinal na Mata Atlântica Subtropical

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharela em Ciências Biológicas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 19 de dezembro de 2019.

Prof. Dr. Carlos Roberto Zanetti
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Selvino Neckel de Oliveira
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Guilherme Renzo Rocha Brito
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Antônio Sebben
Avaliador
Universidade de Brasília

Este trabalho é dedicado a todas nós mulheres, que mesmo com todas as dificuldades nunca deixamos de lutar!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e mais intensamente a minha mãe, que decidiu sair de São Paulo comigo e me ajudar a realizar o sonho de cursar biologia em uma universidade federal pública e gratuita. Sem sua paciência (que foi gigantesca), carinho, amor e ajuda nada disso teria sido possível. Muito obrigada por permanecer ao meu lado e acreditar em mim, apesar do estresse e de todas as dificuldades que passamos. Por isso tudo e muito mais que eu não conseguiria nem escrever, muito obrigada. Te amo mais que tudo nesse mundo, essa conquista também é sua!

Agradeço muito ao meu orientador Selvino, que abriu as portas do Laboratório de Ecologia de Anfíbios e Répteis (LEAR) para mim e me apresentou ao universo incrível da herpetologia. Muito obrigada por todo o conhecimento acadêmico, por todos os projetos e todos os conselhos dentro e fora do laboratório. Muito obrigada por todas as verduras orgânicas que vieram da sua horta e por todas as risadas e momentos de descontração ao longo desses quase cinco anos, eles fizeram a diferença. Muito obrigada ao meu coorientador, Vítor, por sempre tentar atender aos meus pedidos de ajuda, por me ensinar tantas coisas em campo e sobre as espécies que encontrávamos. Sempre admirei muito vocês dois, obrigada por tudo.

Agradeço a todas as pessoas queridas que conheci no LEAR. Muito obrigada Sophia, por ter se tornado essa amiga tão maravilhosa, dentro e fora do laboratório, e por ter sido minha luz nos momentos difíceis. Muito obrigada Carol Angri (ainda lembro da latinha de cerveja vazia), Bárbara (brincadeira é Larissa), Carol Oswald, Adriana, Cleide, Kauan, Anderson, Leonardo, Eduardo, Fernando e todas as outras pessoas que de uma forma ou de outra passaram por aqui. Agradeço também a todas as pessoas que me ajudaram nos campos deste TCC, obrigada pela paciência.

Agradeço a todos os amigos queridos que fiz na graduação, muito obrigada Beatriz Garcez, Isis Maia, Pedro Marconi, João Victor Costa Guessser, Poliana Lanzzarin. Muito obrigada aos meus amigos de vida, André Farias e Eduardo Maciel, que acolheram tão bem eu e minha mãe quando viemos para o sul. Vocês fazem parte da minha família, e eu os amo demais.

Muito obrigada Leo, por todo o apoio, amor e carinho nesses quase quatro anos juntos. Obrigada também a sua família, que já considero como se fosse minha. Amo vocês.

Agradeço a UFSC, por tudo nesses cinco anos. A Profa. Dra. Daniela de Toni, por ter me oferecido minha primeira bolsa na graduação. Ao Plaza Caldas da Imperatriz Resort & Spa Santo Amaro Imperatriz, pela oportunidade de fazer o melhor estágio que eu poderia querer e

pelos dois anos de bolsa. Agradeço à FAPESC, CNPq e CAPES pelo apoio financeiro através dos editais CNPq/Capes/FAPs/BC-FundoNewton/PELD nº 15/2016 e FAPESC/2018TR0928. Ao PET Biologia UFSC, e ao meu querido tutor Renato, pelo carinho e pela experiência maravilhosa, gostaria que todas as pessoas tivessem a oportunidade de viver o que eu vivi ali dentro. A todos as minhas professoras, mulheres incríveis, que se tornaram grandes inspirações para mim ao longo de toda a graduação.

Por fim, agradeço a todos que me apoiaram e acreditaram em mim, mesmo quando eu mesma não acreditei. Muito obrigada!

RESUMO

A temperatura é um fator importante na regulação das taxas metabólicas dos organismos, podendo influenciar diretamente o tamanho corporal final dos indivíduos. Essa relação pode ser explicada pela Regra de Bergmann, que prediz que animais maiores serão mais adaptados a climas frios, e pela Regra de temperatura-tamanho, que prediz que a temperatura afeta as taxas de crescimento e desenvolvimento dos indivíduos, levando a tamanhos corporais maiores nos locais de clima frio. Regiões montanhosas contribuem para estudos nessas áreas, devido a um gradiente de variação na temperatura. Os anfíbios são um dos grupos mais sensíveis às variações climáticas e padrões de variação no tamanho corporal já foram demonstrados para alguns organismos. Entretanto, a questão ainda se mantém aberta já que diferentes padrões foram encontrados para diferentes organismos e locais. Além do tamanho corporal, as variações na temperatura podem influenciar aspectos reprodutivos, como a emissão de sinais acústicos pelos machos distribuídos em diferentes localidades. Sabendo disso, hipotetizamos que as baixas temperaturas terão um efeito na taxa de desenvolvimento e crescimento da espécie *Boana bischoffi* levando a tamanhos corporais médios maiores em altitudes mais elevadas. Além disso, a duração dos cantos de anúncio dos machos aumentará em altitudes elevadas e a frequência dominante do canto será menor. O presente estudo foi realizado em 23 lagoas distribuídas no gradiente de altitude do Parque Nacional de São Joaquim. Os indivíduos tiveram seu canto gravado e comprimento rostro-cloacal medido. Todos os capturados foram marcados e soltos no mesmo local. Foram medidos os parâmetros acústicos duração do canto e frequência dominante. Utilizamos modelos aditivos generalizados para testar a relação entre a altitude e temperatura do ar com o tamanho corporal a cantos de anúncio dos machos. Como resultado, foram capturados 253 machos, destes 33 tiveram seus cantos gravados. Concluímos que a espécie *B. bischoffi* não segue os padrões propostos pela regra de Bergmann e regra de temperatura-tamanho, já que maiores tamanhos corporais foram encontrados em altitudes intermediárias. A temperatura do ar do dia teve uma relação negativa com a duração dos cantos e a altitude teve um efeito significativo na frequência dominante, com os machos de altitudes intermediárias vocalizando em frequências mais altas. Esses resultados são importantes para entendermos cada vez melhor de como as mudanças climáticas representam um fator importante para as variações intraespecíficas em anfíbios.

Palavras-chave: Anfíbios. Regra de Bergmann. Bioacústica.

ABSTRACT

Temperature is an important factor in regulating the metabolic rates of organisms and can directly influence the final body size of individuals. This relationship can be explained by the Bergmann Rule, which predicts that larger animals will be better adapted to cold climates, and the Temperature-Size Rule, which predicts that temperature affects individuals' growth and development rates, leading to larger body sizes in cold weather places. Mountainous regions contribute to studies in these areas due to a gradient of variation in temperature. Amphibians are one of the most sensitive groups to climate variations and body size variation patterns has already been demonstrated for some organisms. However, the issue still remains open as different patterns have been found for different organisms and locations. In addition to body size, variations in temperature may influence reproductive aspects, such as the emission of acoustic signals by males distributed in different locations. Knowing this, we hypothesized that low temperatures will have an effect on the rates of growth and development of *Boana bischoffi* species leading to larger average body sizes at higher altitudes. In addition, the duration of the male announcement corners will increase at higher altitudes and the dominant frequency of the singing will be shorter. The present study was carried out in 23 lagoons distributed in the altitude gradient of São Joaquim National Park. The subjects had their singing recorded and snout-vent length measured. All captured were tagged and released at the same location. The acoustic parameters of singing duration and dominant frequency were measured. We use generalized additive models to test the relationship between altitude and air temperature with body size at male ad corners. As a result, 253 males were captured, of which 33 had their corners recorded. We conclude that *B. bischoffi* does not follow the standards proposed by the Bergmann rule and temperature-size rule, since larger body sizes were found at intermediate altitudes. Daytime air temperature had a negative relationship with corner length and altitude had a significant effect on dominant frequency, with mid-altitude males vocalizing at higher frequencies. These results are important to better understand how climate change is an important factor for amphibian intraspecific variations.

Keywords: Amphibians. Bergmann's Rule. Bioacoustics.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – (A) Localização do Estado de Santa Catarina no Brasil com (B) destaque para o Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) em verde e municípios abrangentes em cinza. Pontos pretos mostram a localização dos 23 pontos onde foram coletos os dados.....17
- Figura 2 – Indivíduos da espécie *Boana bischoffi* fotografados no Parque Nacional de Joaquim. Fotos: João Felipe Garbers.....18
- Figura 3 – Representação do canto de anúncio de um macho de *Boana bischoffi*, com destaque para os cinco diferentes tipos de variação do canto possíveis. O canto de anúncio tipo V representa o canto completo. Espectrograma (em cima) e oscilograma (em baixo) do canto de um macho cantando em seu ambiente natural, no Parque Nacional de São Joaquim, SC, Brasil. Temperatura durante a gravação: 16,5°C.....21
- Figura 4 – Histograma de frequência do comprimento-rostro-cloacal (CRC) dos (A) 267 machos e das (B) 14 fêmeas capturadas no Parque Nacional de São Joaquim, SC. Atente para a diferença de escala no eixo Y (frequência)22
- Figura 5 – Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre o comprimento rostro-cloacal (CRC) dos 253 machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.....23
- Figura 6 – Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a duração média dos cantos de anúncio tipo I dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.....25
- Figura 7 – Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a duração média dos cantos de anúncio tipo IV dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.....26

Figura 8 – Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a frequência dominante média dos cantos de anúncio tipo I dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.....27

Figura 9 – Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a frequência dominante média dos cantos de anúncio tipo IV dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.....28

Figura 10 – Espectrograma dos cantos de anúncio de dois machos de *Boana bischoffi*, um cantando em uma altitude de 351,92 m (esquerda) e o outro de 620,85 m (direita). Ambos cantando em seu ambiente natural, no Parque Nacional de São Joaquim, SC, Brasil. Temperatura durante as gravações: 20°C (esquerda) e 22,9°C (direita)28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	16
2	MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1	ÁREA DE ESTUDO	16
2.2	ESPÉCIE DE ESTUDO	18
2.3	COLETA DE DADOS	18
2.4	ANÁLISE DAS GRAVAÇÕES	19
2.1	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
3	RESULTADOS	22
4	DISCUSSÃO	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	APÊNDICE A – Tabela 1	37

1 INTRODUÇÃO

A temperatura ambiental é considerada um dos fatores mais importantes na regulação das taxas metabólicas dos organismos, sendo que temperaturas mais altas aumentam a velocidade dos movimentos celulares e das reações químicas. Essas mudanças influenciam nas taxas de desenvolvimento e crescimento, afetando a progressão de um estágio do ciclo de vida para o outro e influenciando diretamente o tamanho corporal do indivíduo (BEGON *et al.*, 2010). Essa relação da temperatura e tamanho de corpo dos indivíduos pode ser explicada tanto pela Regra de Bergmann (RB), proposta em 1847 pelo biólogo alemão Carl Bergmann (WATT *et al.*, 2010) quanto pela Regra de temperatura-tamanho do corpo (RTT), proposta por Atkinson em 1994 (ATKINSON, 1994). A RB propõe que o tamanho corporal de vertebrados endotérmicos aumenta de locais quentes para locais frios (CVETKOVIC *et al.*, 2009). O tamanho corporal maior seria mais adaptativo para climas frios, pois os indivíduos precisam produzir menos calor para manter a temperatura corporal acima daquela do ambiente onde vive (WATT *et al.*, 2010; BLACKBURN *et al.*, 1999). A RB é suportada em muitos estudos com mamíferos (ASHTON *et al.*, 2000) e aves (ASHTON, 2002b), mas ainda é controversa para outros grupos, como os ectotérmicos. Na década de 1960, foi proposto que pelo menos em um nível interespecífico, os animais ectotérmicos também seguiriam esse padrão (RAY, 1960). Posteriormente, outros estudos propuseram que esse padrão de variação no tamanho corporal também ocorresse em um nível intraespecífico, o que justificaria estudos feitos com apenas uma espécie (NARINS & SMITH, 1986; MORRISON & HERO, 2003; NARINS & MEENDERINK, 2014).

Similarmente, a RTT prediz que tamanhos corporais menores estão associados a regiões de climas quentes, uma vez que o desenvolvimento se processa mais rápido com a temperatura mais alta, enquanto que organismos de regiões de clima temperado e frio apresentam tamanho de corpo maiores (ATKINSON, 1994; BEGON *et al.*, 2010). A RTT é suportada por alguns estudos com anfíbios anuros, como para *Rana silvatica*, em que 73% da variação no tamanho corporal ao longo de um gradiente altitudinal foi explicada pelo ambiente, como as variações na temperatura (BERVEN, 1982). No entanto, a aplicabilidade da RB ou da RTT sobre o desenvolvimento e crescimentos dos organismos geralmente está associada a estudos em larga escala, devido principalmente ao efeito latitudinal sobre a variação da temperatura.

Anfíbios são um dos grupos de vertebrados mais sensíveis às variações climáticas do ambiente, pois tem uma pele permeável e não tem tanta proteção quanto os amniota, podendo sofrer mais com a dessecação (DUELLMAN & TRUEB, 1994; LICHT, 2003). Padrões de variação no tamanho corporal de anfíbios ao longo de gradientes latitudinais e altitudinais

conforme o proposto pela RB ou pela RTT já foram descritos por alguns autores (ASHTON, 2002a; BEGON *et al.*, 2010; GOUVEIA *et al.*, 2013; NARINS & MEENDERINK, 2014; VALENZUELA-SÁNCHEZ *et al.* 2015; PETERMAN *et al.*, 2016). Ashton (2002a) encontrou que 23 das 34 espécies analisadas seguiram o padrão sugerido pelas regras. Entretanto, algumas espécies de anfíbios seguem o que é chamado de Regra de Bergmann Inversa, que se refere a uma diminuição do tamanho corporal em climas mais frios (OLALLA-TÁRRAGA & RODRÍGUEZ, 2007; ADAMS & CHURCH, 2008; CVETKOVIC *et al.* 2009), e outras não apresentam um padrão conhecido ou não demonstraram nenhuma relação entre variação do tamanho corporal e mudanças de latitude e/ou altitude (RYSER, 1996; ADAMS & CHURCH, 2008).

Além do efeito da temperatura sobre o tamanho corporal dos indivíduos, os gradientes ambientais também podem influenciar em aspectos reprodutivos. Sendo ectotérmicos, os anfíbios obtêm o calor corporal do ambiente, e assim os aspectos tanto de produção de sinal acústico e recepção são dependentes de temperatura (VAN DIJK *et al.*, 1990; STIEBLER & NARINS, 1990; NAVAS, 1996). A produção de sinais acústicos por anfíbios, como o canto de anúncio, é fundamental para a atração de fêmeas para a reprodução, uma vez que podem transmitir informações biológicas específicas de cada indivíduo (DUELLMAN & TRUEB, 1994). Embora os cantos espécie-específicos sejam, em geral, estereotipados e uniformes (COCROFT & RYAN, 1995), existe uma variação intraespecífica dependendo do contexto social em que são emitidos, de fatores bióticos e abióticos e da própria motivação individual do macho que está cantando, que por si só é fortemente influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos (DUELLMAN & TRUEB, 1994; KOHLER *et al.*, 2017). As variações intraespecíficas, na maioria dos casos, se referem a pequenas diferenças em variáveis quantitativas, e não a diferenças fundamentais na estrutura do canto (KOHLER *et al.*, 2017). É esperado que essas variações sejam menores individualmente, um pouco maiores entre machos de uma mesma população e bem maiores entre machos conspecíficos de diferentes populações. Estudos relacionados a variações geográficas já demonstraram mudanças no canto de diferentes populações tanto a nível latitudinal quanto altitudinal (NARINS & SMITH, 1986; BIONDA *et al.*, 2006; BARAQUET *et al.*, 2014). Nesses estudos, a temperatura ambiental influenciou principalmente sobre as características temporais do canto, como a duração do canto de anúncio e duração das notas, na taxa de pulsos e na taxa de canto. A temperatura pode influenciar também em características espectrais, como a frequência dominante, embora essas sejam muito mais relacionadas com características físicas e morfológicas, como o tamanho corporal

(KOHLER *et al.*, 2017). As causas exatas e possíveis funções dessas variações ainda não são totalmente conhecidas, entretanto, não importa o tipo de variação ou o nível em que ela ocorre, estudos nessas áreas são importantes para se entender a delimitação e o reconhecimento de espécies, especiação e sinais evolutivos (KOHLER *et al.*, 2017), questões comportamentais e até mesmo conservacionistas, quando se analisa as influências de mudanças climáticas na emissão dos sinais acústicos (BEGON *et al.*, 2010).

Regiões montanhosas podem contribuir para estudos voltados para avaliar os efeitos da temperatura ambiental sobre o desenvolvimento e crescimento dos organismos em uma escala altitudinal e assim ampliar a aplicabilidade tanto da RB como da RTT. Sabe-se que a cada 100 metros de aumento na altitude, existe uma queda de 1°C na temperatura do ar seco e de 0,6°C no ar úmido (BEGON *et al.*, 2010). As variações topográficas que ocorrem desde a base da montanha até seu cume podem representar uma situação análoga ao gradiente latitudinal de temperatura, com as áreas próximas ao nível do mar tendo temperaturas quentes que vão diminuindo gradualmente ao longo do espaço até as áreas próximas ao cume da montanha, formando um gradiente altitudinal ambiental (BEGON *et al.*, 2010). Os gradientes altitudinais representados pelas mudanças de temperatura podem estar associados a variações na umidade do ar, na produtividade primária e na disponibilidade de alimento local, entre outros (SIQUEIRA & ROCHA, 2013). Essas alterações ambientais podem influenciar de diferentes maneiras a história de vida, a biologia e a distribuição de diversos organismos que vivem ao longo dos gradientes de altitude (DUELLMAN & TRUEB, 1994; NAVAS, 2003). No entanto, estudos com este enfoque são feitos principalmente fora do Brasil, com pouquíssimos estudos feitos na mata atlântica.

O Estado de Santa Catarina é caracterizado inteiramente por Mata Atlântica, que é rica em espécies e ecossistemas (MUYLAERT *et al.*, 2018). Dentre esses ecossistemas, a formação montanhosa da Serra Geral se destaca pela sua grande variação altitudinal, que pode chegar em alguns pontos a cerca de 1800 metros de altitude acima do nível do mar. Ao longo desse gradiente formaram-se diferentes tipos de corpos de água, como brejos, lagos e açudes, onde diferentes espécies de anfíbios se reproduzem, como a espécie *Boana bischoffi* (BOULENGER, 1887), uma perereca de hábitos noturnos (HADDAD *et al.*, 2013).

Sabendo disso, hipotetizamos que as baixas temperaturas terão um efeito na taxa de desenvolvimento e crescimento de *B. bischoffi* e conseqüentemente, indivíduos de regiões mais altas tardarão a chegar na maturação sexual, refletindo em tamanhos corporais médios maiores em altitudes mais elevadas. Além disso, sabendo da influência que a temperatura exerce na

vocalização, hipotetizamos que os cantos de anúncio dos machos de *B. bischoffi* terão a duração do canto se relacionando positivamente com a altitude e negativamente com a temperatura do ar do dia. E que a frequência dominante dos cantos será menor em altitudes mais altas, sendo influenciada principalmente pela variação no tamanho corporal dos machos, pois indivíduos maiores tendem a cantar em frequências dominantes menores.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é verificar se o tamanho corporal e a vocalização da espécie *Boana bischoffi* variam em função da temperatura do ar ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional de São Joaquim. Especificamente, os objetivos são:

- Verificar a relação do tamanho corporal dos machos de *Boana bischoffi* com as variações de altitude no Parque Nacional de São Joaquim.
- Verificar a relação da temperatura do ar dos dias de amostragem com o tamanho corporal dos machos de *Boana bischoffi*.
- Verificar a relação da frequência dominante e duração dos cantos de anúncio emitidos pelos machos de *Boana bischoffi* com as variações de altitude no Parque Nacional de São Joaquim.
- Verificar a relação da frequência dominante e duração dos cantos emitidos pelos machos de *Boana bischoffi* com a temperatura do ar dos dias em que foram feitas as gravações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

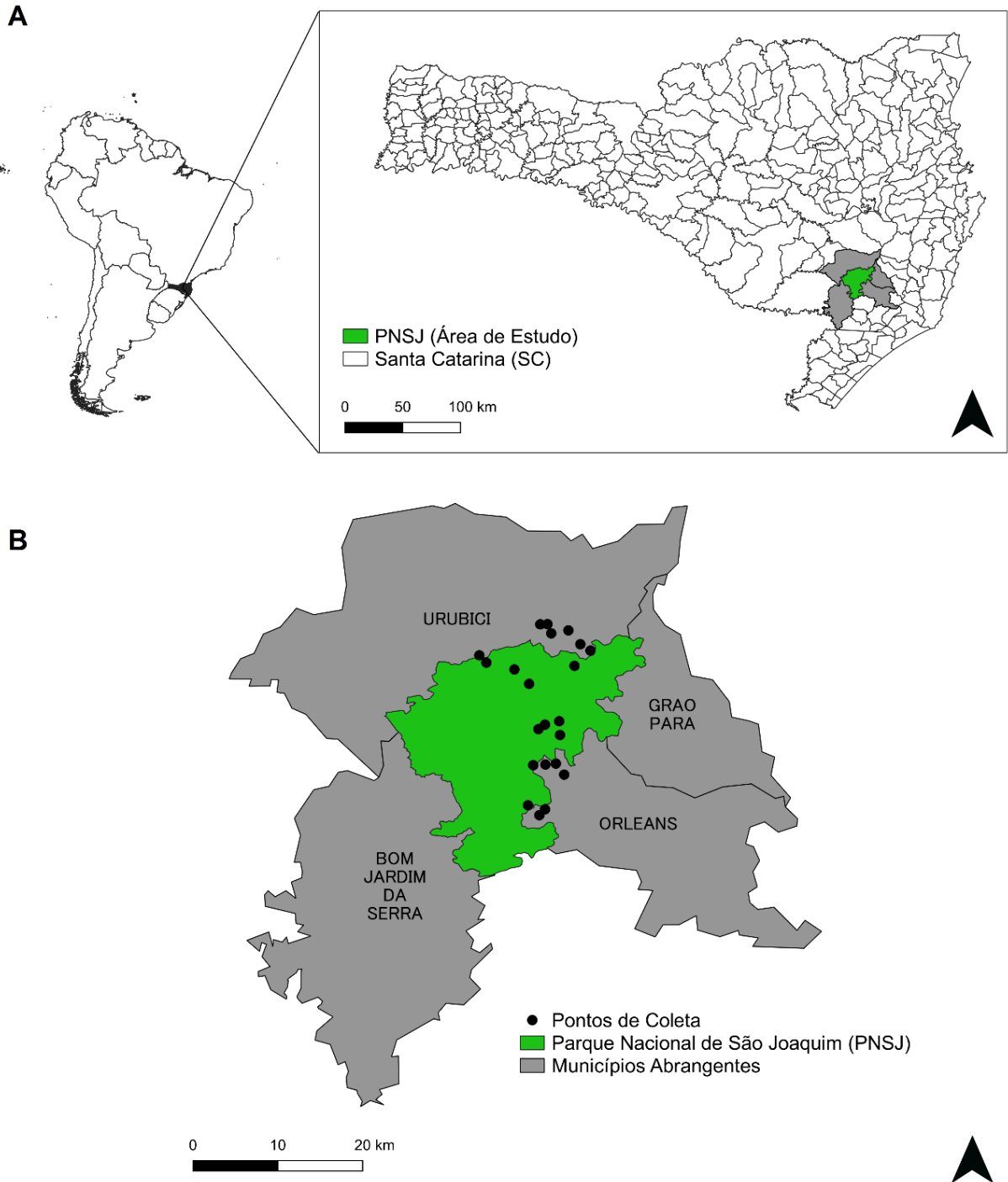
2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) que está localizado predominantemente na região serrana do estado de Santa Catarina (Figura 1). O PNSJ é uma unidade de conservação federal criada em 1961 pelo decreto 50.922 (BRASIL, 1961), com uma área de 49.300 hectares distribuídos pelos municípios de Bom Jardim da Serra, Urubici, Bom Retiro e Orleans. O PNSJ possui cinco tipologias vegetais, uma com vegetação rasteira (campos de altitude) e quatro florestais (floresta nebulosa, floresta de faxinais, floresta ombrófila mista e floresta ombrófila densa) (KLEIN, 1978, VIANNA *et al.*, 2015).

Seguindo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido sem estação seca definida (Cfb), com uma temperatura média anual de 15°C (ÁLVARES *et al.*, 2013). Entretanto, devido a variação altitudinal presente na região, de 300 a 1822 metros, a

temperatura média anual varia em aproximadamente 8°C entre as áreas mais baixas e as mais altas (VIANNA *et al.*, 2015). A pluviosidade média anual é de 1505 mm, sem muita variação entre as regiões altas e baixas (VIANNA *et al.*, 2015).

Figura 1. (A) Localização do Estado de Santa Catarina no Brasil com (B) destaque para o Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) em verde e municípios abrangentes em cinza. Pontos pretos mostram a localização dos 23 pontos onde foram coletos os dados.



2.2 ESPÉCIE DE ESTUDO

Boana bischoffi (BOULENGER, 1887; Figura 2) é uma espécie de anuro de médio porte que pertence à família Hylidae (FROST, 2018). Ela é uma espécie tolerante ao desmatamento, ocorrendo tanto em áreas de mata primária quanto em ambientes degradados (RIBEIRO *et al.*, 2005). A sua distribuição conhecida se estende do sul do Rio Grande do Sul ao Rio de Janeiro, região Sul e Sudeste do Brasil, sendo considerada endêmica da Mata Atlântica (HADDAD *et al.*, 2013). Ela possui reprodução prolongada, mas sua atividade pode diminuir nos meses muito frios de inverno. Os machos vocalizam na vegetação herbácea presente, geralmente não vocalizando dentro d'água. A espécie apresenta o modo reprodutivo tipo 1, ovos e girinos exotróficos em água parada (*sensu* HADDAD *et al.*, 2013).

Figura 2. Indivíduos da espécie *Boana bischoffi* fotografados no Parque Nacional de Joaquim. Fotos: João Felipe Garbers.



2.3 COLETA DE DADOS

A coleta dos dados morfológicos e acústicos de *B. bischoffi* foi feita em 23 lagoas distribuídas ao longo do gradiente de altitude do PNSJ. Para amostragem das 23 lagoas foram realizadas quatro campanhas. A lagoa mais baixa estava a 311,80 metros de altitude acima do nível do mar, enquanto que a mais alta estava a 1636,02 m. A área das lagoas variou de 201,89 a 13648,92 m² e o perímetro de 73,16 a 468,56 m. As lagoas distaram-se entre si em pelo menos 800 metros. A vegetação de entorno das lagoas variou de gramíneas, principalmente em áreas desmatadas, a espécies arbóreas típicas de floresta ombrófila densa e mista (e.g araucárias) em

áreas preservadas. As lagoas foram visitadas ao menos uma vez ao longo de quatro períodos: agosto e outubro de 2018 e janeiro e fevereiro de 2019. As visitas ocorreram no período noturno, com o início após o pôr-do-sol e término por volta das 24h. Cada lagoa foi percorrida em toda sua extensão por pelo menos duas pessoas, a procura dos indivíduos foi feita por busca ativa e auditiva (RÖDEL & ERNST, 2004). Os indivíduos da espécie se localizaram na vegetação ao redor, geralmente empoleirados em galhos parados ou vocalizando. Quando um indivíduo foi encontrado vocalizando, foi feita a gravação do seu canto com um gravador *Marantz Professional PMD661* e um microfone unidirecional *Sennheiser* acoplado a ele. O microfone foi posicionado a uma distância média recomendada de 0,5 a 1,5 m do macho em atividade de vocalização (KÖHLER *et al.*, 2017). Cada indivíduo foi gravado por cinco minutos. A taxa de amostragem e resolução dos arquivos WAV adquiridos com o gravador foi de 44,1 kHz e 16 bits, respectivamente. Após o término da gravação, o indivíduo foi capturado, medido o seu comprimento-rostro-cloacal (CRC) com um paquímetro de precisão de 0,02 mm, marcado e solto no mesmo local de captura.

Indivíduos encontrados, mas que não estavam vocalizando foram também capturados, sexados, medidos seu CRC, marcados e soltos. A determinação do sexo foi feita com base na atividade de vocalização (somente machos vocalizam), na coloração da região gular (amarelado nos machos e esbranquiçado nas fêmeas), na presença de um saco vocal evidente e de um prepólex (presente somente em machos). A marcação foi feita para evitar que o mesmo indivíduo fosse capturado novamente, garantindo que na campanha seguinte não fosse gravado ou medido o mesmo indivíduo. Ela foi feita com um marcador TAG subcutâneo Northwest Marine Technology Inc. (<https://www.nmt.us/>). O método consiste na implantação de uma etiqueta alfanumérica fluorescente sob a pele da perna direita, permitindo a identificação fácil e rápida de cada indivíduo recapturado. A agulha de marcação foi esterilizada antes e após as aplicações utilizando-se álcool 100%. A temperatura do ar foi medida em todos os dias das campanhas, usando um termohigrômetro digital, colocando-se o sensor em um galho na vegetação após o término da triagem dos indivíduos capturados. Os dados de altitude de cada lagoa foram medidos com um GPS Garmin.

2.4 ANÁLISE DAS GRAVAÇÕES

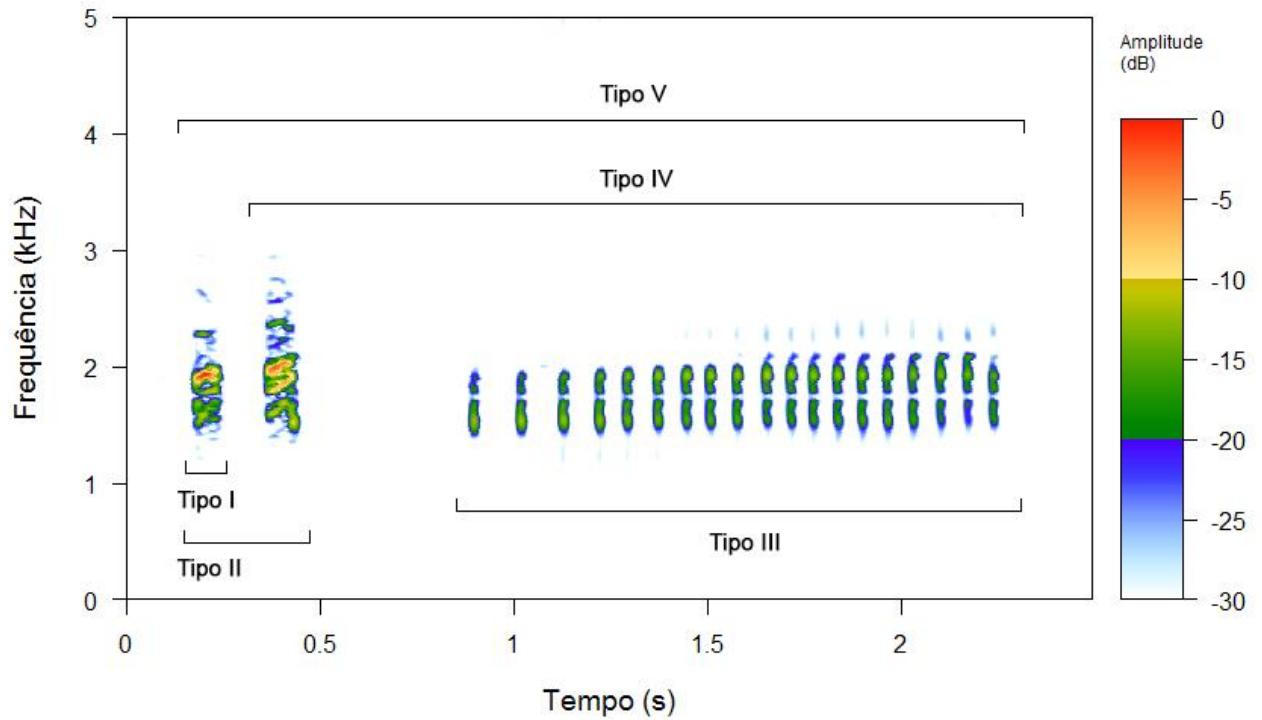
Neste trabalho foi seguida a descrição do canto proposta por Lingnau (2009). Devido ao canto de anúncio da espécie *B. biscoffi* apresentar cinco variações: (I) uma nota introdutória; (II) duas notas introdutórias; (III) somente notas secundárias; (IV) uma nota

introdutória seguida de n notas secundárias; (V) duas notas introdutórias seguidas de n notas secundárias (Figura 2), as análises foram feitas somente para aquelas que foram abundantes nas gravações. A variação do tipo I foi encontrada em todos os 33 indivíduos gravados, seguida da variação tipo IV, presente em 26. Os outros três tipos não foram utilizados nas análises, por conta do baixo número em que estiveram presentes. Para cada indivíduo gravado, foi selecionado até cinco cantos de anúncio de cada tipo I e IV em cada gravação, sendo o de melhor resolução usado para medir os seguintes parâmetros acústicos:

1. Duração do canto (s): duração de um único canto, independentemente de composta por notas únicas ou múltiplas; medido do início ao fim da chamada. No caso dos cantos de anúncio tipo I, a duração da única nota introdutória equivale a duração do canto. É uma variável temporal.
2. Frequência dominante (Hz): a frequência pico do canto (ou nota); a frequência que contém a energia sonora mais alta. No caso dos cantos de anúncio tipo IV, foi medida a frequência dominante do canto como um todo, pois ela é semelhante entre as notas introdutórias e secundárias (LINGNAU, 2009). É uma variável espectral.

As gravações foram analisadas usando o programa *Raven Pro 1.5* (Laboratório de Ornitologia, Universidade de Cornell). Foram usadas as ferramentas de medição *Delta Time* e *Peak Freq* para medir a duração do canto e frequência dominante, respectivamente. Devido ao grande número de gravações com apenas um ou dois cantos de anúncio, para as análises estatísticas foi feita a média dos parâmetros duração do canto e frequência dominante apenas com as gravações que tiveram pelo menos três cantos de cada tipo analisados, diminuindo a quantidade das gravações para 28 (tipo I) e 14 (tipo IV). A terminologia empregada neste estudo, assim como as definições dos parâmetros acústicos, segue o proposto por Kohler *et al.* (2017).

Figura 3. Representação do canto de anúncio de um macho de *Boana bischoffi*, com destaque para os cinco diferentes tipos de variação do canto possíveis. O canto de anúncio tipo V representa o canto completo. Espectrograma (em cima) e oscilograma (em baixo) do canto de um macho cantando em seu ambiente natural, no Parque Nacional de São Joaquim, SC, Brasil. Temperatura durante a gravação: 16,5°C.



2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para verificar se os dados eram normalmente distribuídos foi utilizado o teste estatístico de *Shapiro-Wilk* para as variáveis resposta com um n menor que 50 (ZAR, 2010), e para o CRC ($n=253$) dos indivíduos foi feito um gráfico QQ-plot (ZUUR *et al.*, 2010). Assumiu-se que as duas variáveis predictoras deste estudo, altitude e temperatura do ar do dia, não possuíam colinearidade entre si e foram consideradas independentes.

Modelos Aditivos Generalizados (GAM) foram usados para investigar a relação entre as variáveis resposta e as predictoras. Diferente dos modelos lineares generalizados (GLM), GAM são ideais para lidar com relações não lineares entre as variáveis, além disso, esse modelo estatístico foi escolhido pela vantagem de não precisar explicar a priori como se espera que os dados se comportem (ZUUR, 2009; WOOD, 2017). O GAM de modo geral neste estudo é expresso como

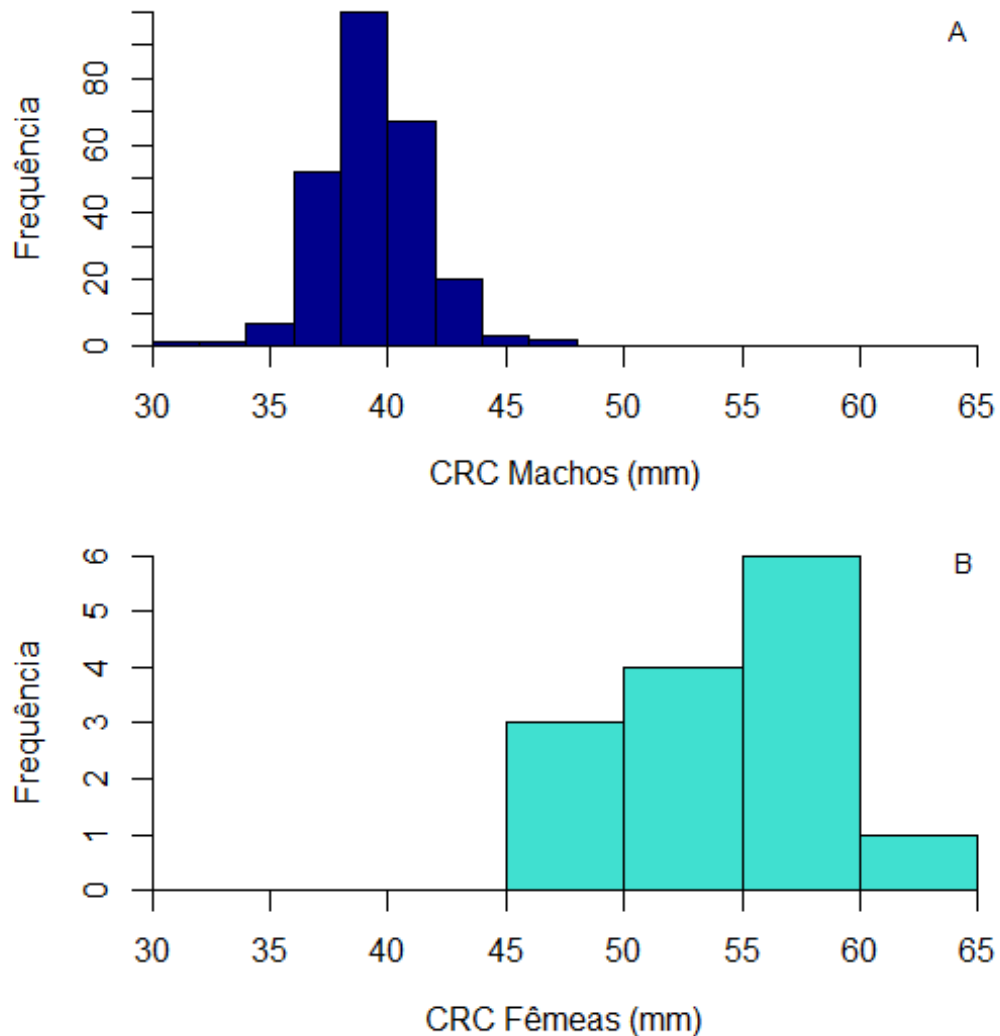
$$\text{Variável Resposta} \sim s(\text{Altitude}) + s(\text{Temperatura do ar do dia})$$

onde: “ \sim ”= em função de e $s(\)$ denota uma função suavizante da covariável indicada. A análise foi feita usando-se a função *gam* do pacote *mgvc* (WOOD, 2010), com dimensão $K=5$ e método de máxima verossimilhança restrita (REML). A família de distribuição dos dados para todas as análises foi a *Gaussian*, significando distribuição normal. Todas as análises foram realizadas no software R.3.6.1 ®.

3 RESULTADOS

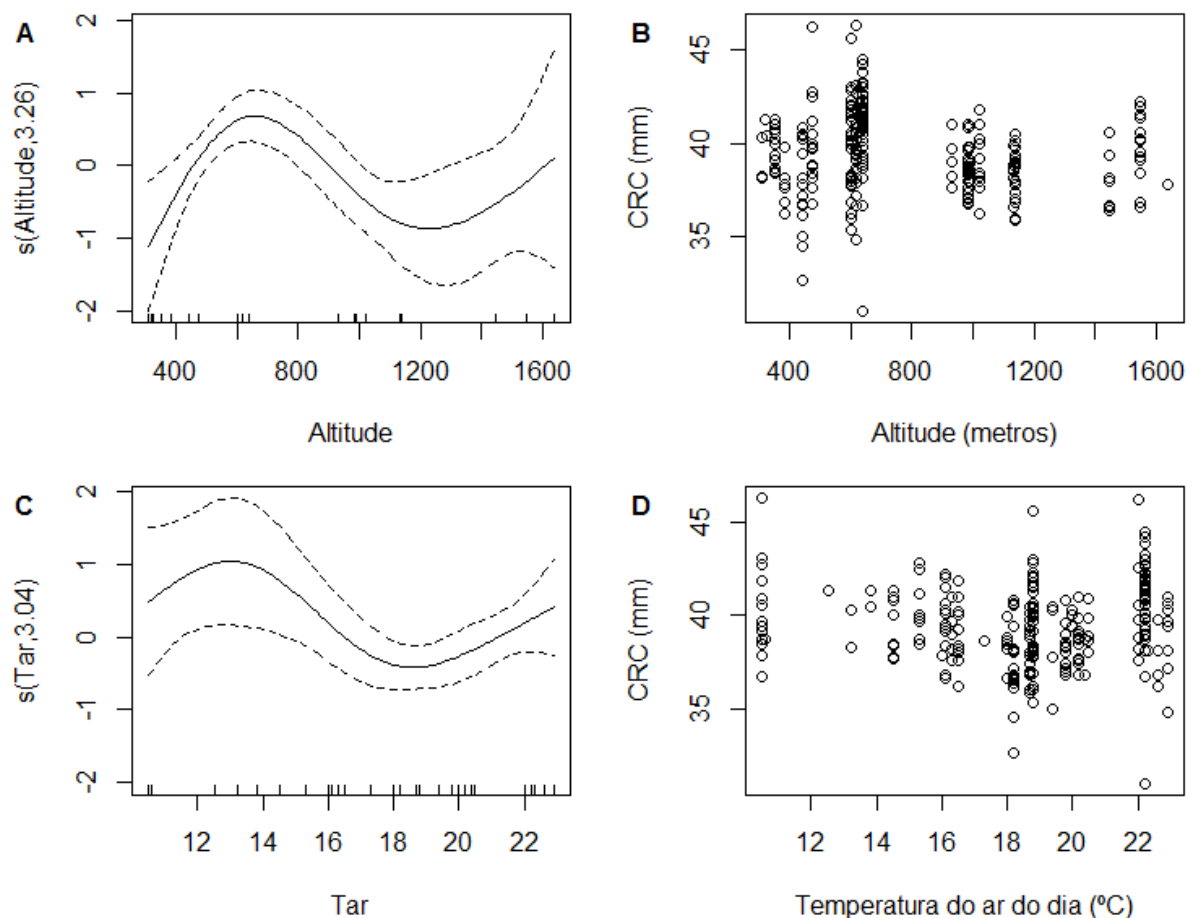
Ao longo desse estudo foram capturados 267 indivíduos de *B. bischoffi*, sendo 253 machos e 14 fêmeas, variando de zero a 50 indivíduos por lagoa. O comprimento rostro-cloacal (CRC) médio dos machos foi de $39,41 \pm 2,12$ mm (Figura 4A), e das fêmeas foi de $54,30 \pm 4,45$ mm (Figura 4B).

Figura 4. Histograma de frequência do comprimento-rostro-cloacal (CRC) dos (A) 267 machos e das (B) 14 fêmeas de *Boana bischoffi* capturadas no Parque Nacional de São Joaquim, SC.



O modelo GAM mostrou uma associação significativa entre a altitude e o CRC dos machos (Edf=3,261; F=4,686; P=0,002; Figura 5A e B), mas não uma associação da temperatura do ar do dia com o CRC (Edf=3,037; F=2,768; P=0,052; Figura 5C e D). O efeito positivo (maior que zero) indicando CRC maior foi observado em altitudes intermediárias, entre 600 e 800 metros (Figura 5A), onde são encontrados os maiores tamanhos corporais (acima de 40,00 mm; Figura 5B). Enquanto que o efeito negativo (menor que zero) foi observado nas altitudes mais baixas, menor do que 500 m, e acima de 1200 (Figura 5A). O modelo utilizado explicou 15,6% do desvio encontrado na análise (ver tabela em anexo). Assim, a espécie *B. bischoffi* mostrou um padrão que não se assemelha ao proposto pelas Regra de Bergmann e Regra de temperatura-tamanho do corpo.

Figura 5. Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre o comprimento rostro-cloacal (CRC) dos 253 machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas contínuas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. As figuras 4B e 4D mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.



Do total de machos encontrados, 33 deles registrados em 15 lagoas foram gravados. Destes, 134 cantos de anúncio tipo I e 69 cantos de anúncio tipo IV foram analisados. A duração média dos cantos tipo I não foi associada significativamente com a altitude (Edf=1; F=0,481; P=0,495; Figura 6A e B) e nem com a temperatura do ar do dia da amostragem (Edf=1,771; F=1,479; P=0,224; Figura 6C e D). A duração média dos cantos tipo IV não teve associação significativa com a altitude (Edf=1; F=1,138; P=0,308; Figura 7A e B), mas teve uma associação significativa com a temperatura do ar do dia (Edf=1; F=4,82; P=0,038; Figura 7C e D). A duração dos cantos tipo IV aumentou conforme a temperatura do ar diminuiu, mostrando uma relação negativa entre as duas variáveis, em que a duração média dos cantos foi de 1,812 e 1,281 (s) nas temperaturas mais baixas (16,5°C) e na mais altas (22,9°C), respectivamente. O modelo utilizado explicou 15,8% do desvio encontrado na análise para os cantos tipo I e 55,9% com os cantos tipo IV (ver tabela em anexo).

Figura 6. Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a duração média dos cantos de anúncio tipo I dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.

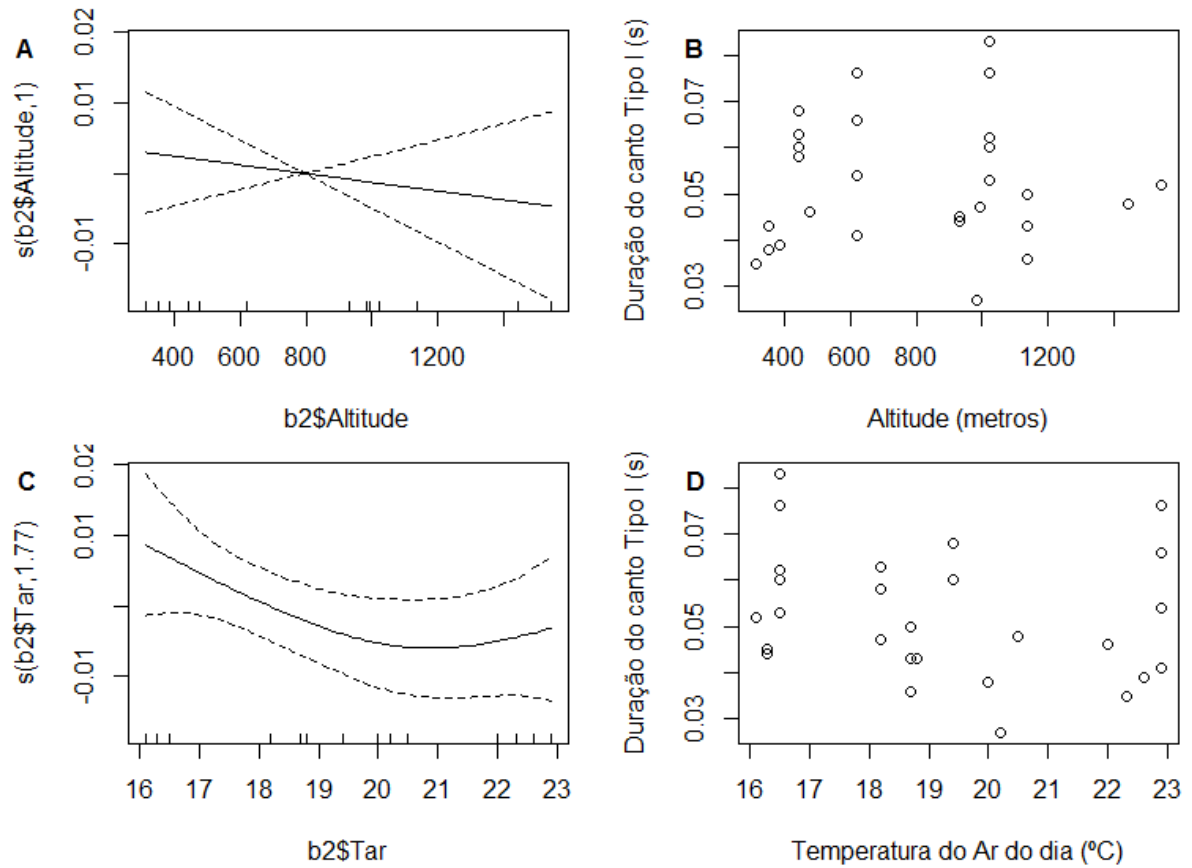
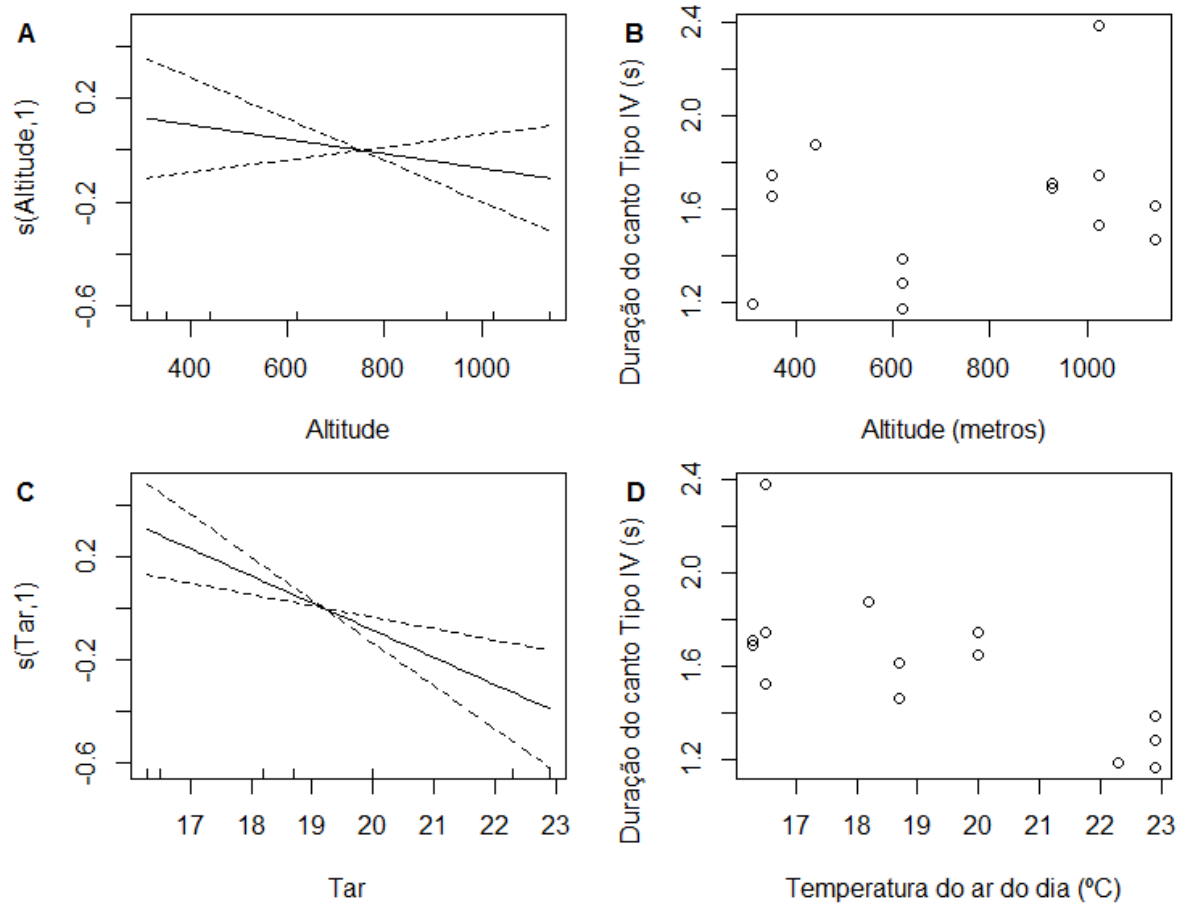


Figura 7. Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a duração média dos cantos de anúncio tipo IV dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.



A frequência dominante média dos cantos tipo I teve associação significativa com a altitude (Edf=3,315; $F=3,975$; $P=0,028$; Figura 8A e B), mas não com a temperatura do ar do dia (Edf=1; $F=0,186$; $P=0,670$; Figura 8C e D). O modelo estatístico utilizado explicou 42,4% do desvio encontrado (ver tabela em anexo). A frequência dominante média dos cantos tipo IV também não teve associação significativa com a temperatura do ar do dia (Edf=1,064; $F=4,855$; $P=0,061$) (Figura 9C e D). A altitude teve uma associação significativa com a frequência dominante dos cantos tipo IV (Edf=2,634; $F=29,735$; $P=2,92E-05$; Figura 9A e B). Os machos vocalizando em altitudes mais baixas cantam em frequências dominantes médias menores, abaixo de 1750 Hz, enquanto os machos de altitudes intermediárias cantam em frequências dominantes mais altas, acima de 1950 Hz. Nas altitudes mais altas a frequência dominante volta a diminuir um pouco, com uma média de 1879,98 Hz. Essa diferença é perceptível olhando espectrogramas de diferentes cantos tipo IV, a Figura 10 mostra o canto com a frequência

dominante média mais baixa (1636,5 Hz) emitido a uma altitude de 351,92 metros e o com a frequência dominante média mais alta (2124,6 Hz), emitido a uma altitude de 620,85 metros. Essa foi a relação mais forte encontrada nesse estudo, com o modelo estatístico utilizado explicando 90,6% do desvio encontrado (ver tabela em anexo).

Figura 8. Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a frequência dominante média dos cantos de anúncio tipo I dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.

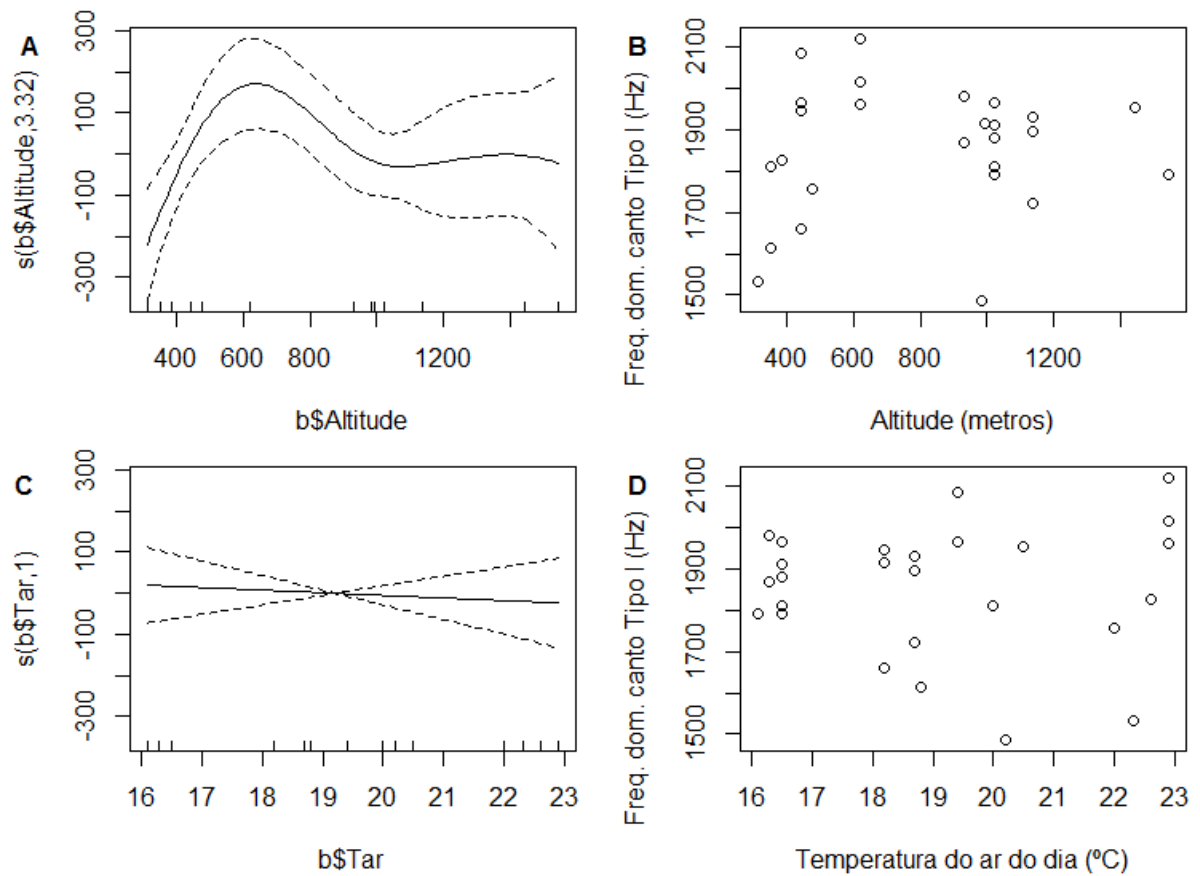


Figura 9. Efeito da altitude (A) e temperatura do ar do dia (C) sobre a frequência dominante média dos cantos de anúncio tipo IV dos machos de *Boana bischoffi* dados pelo modelo estatístico utilizado GAM. Linhas pretas mostram o efeito e linhas pontilhadas o intervalo de confiança de 95%. Os gráficos (B) e (D) mostram a relação dos dados brutos com a altitude e temperatura do ar do dia, respectivamente.

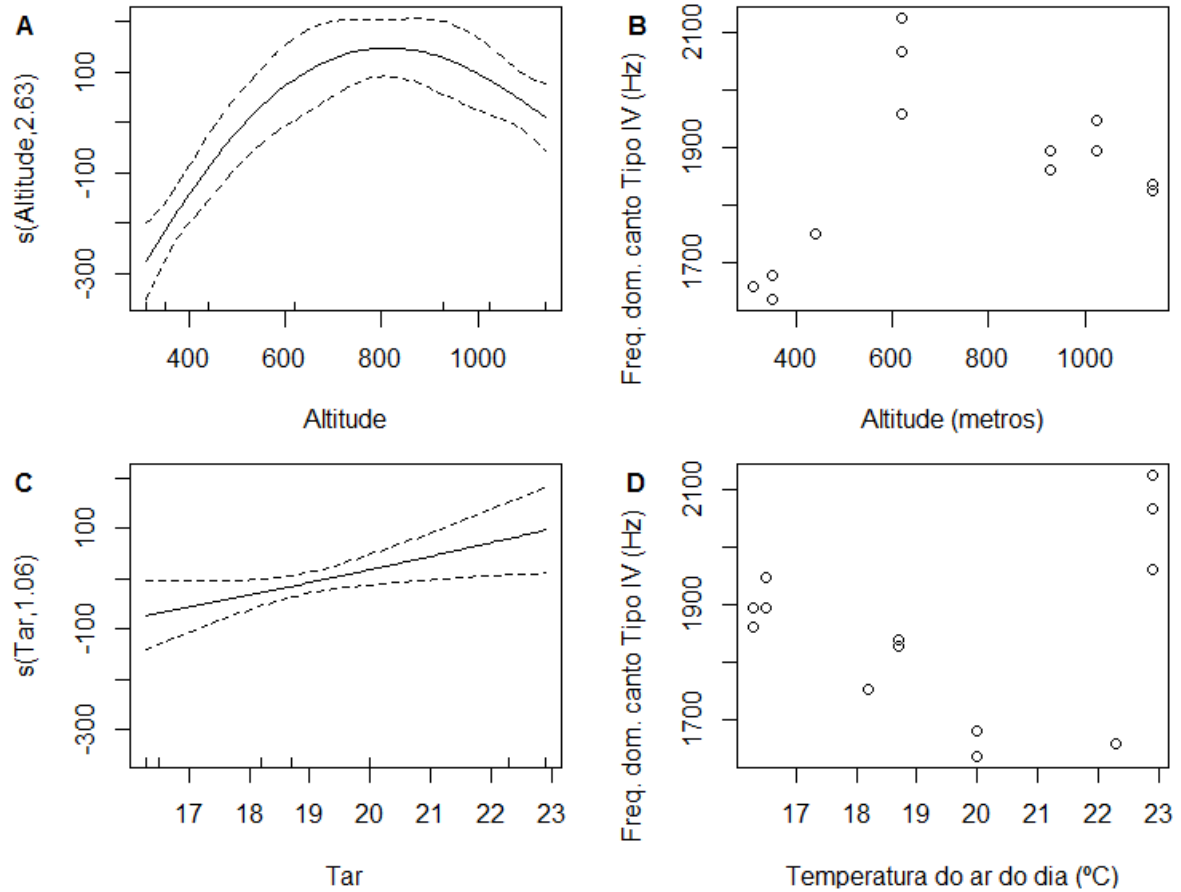
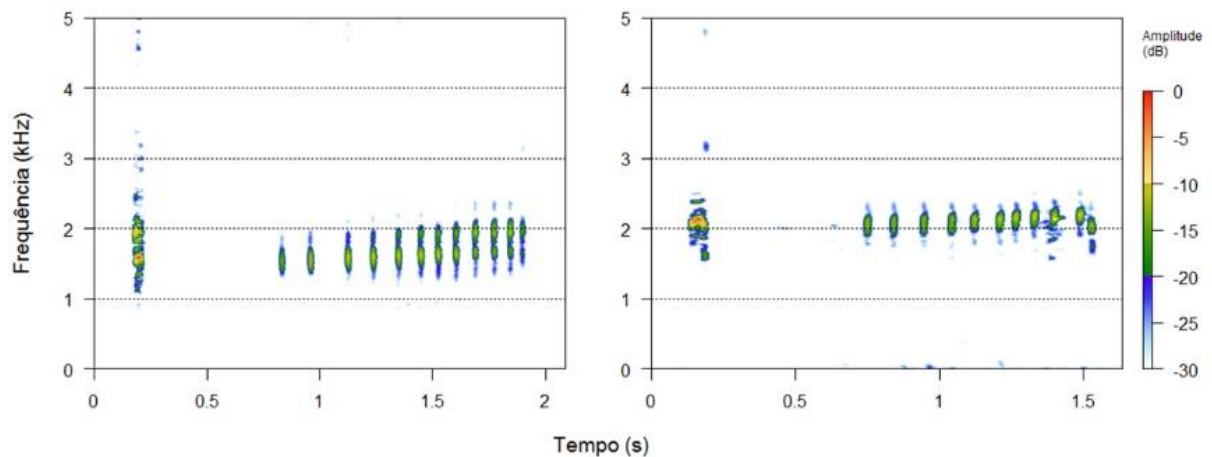


Figura 10. Espectrograma dos cantos de anúncio de dois machos de *Boana bischoffi*, um cantando em uma altitude de 351,92 m (esquerda) e o outro de 620,85 m (direita). Ambos cantando em seu ambiente natural, no Parque Nacional de São Joaquim, SC, Brasil. Temperatura durante as gravações: 20°C (esquerda) e 22,9°C (direita).



4 DISCUSSÃO

Esse estudo mostrou que o efeito da altitude sobre o comprimento rostro-cloacal dos machos de *B. bischoffi* no PNSJ possui um padrão que se assemelha a forma de parábola. O que não pode ser explicado pela Regra de Bergmann (RB) e nem pela Regra de temperatura-tamanho (RTT). Esse resultado rejeita a hipótese proposta aqui, de que os machos de altitudes mais altas seriam maiores que os de altitudes mais baixas. Similarmente, Marcelino *et al.* (2009) não encontraram uma relação significativa da latitude sobre o CRC de *B. bischoffi* de 34 localidades ao longo de sua distribuição geográfica, e sim uma relação quase linear significativa entre o tamanho corporal dos indivíduos a precipitação local durante o verão. Essa associação positiva entre as duas variáveis pode sugerir que a disponibilidade de água pode estar impulsionando a seleção por tamanhos corporais diferentes (MARCELINO *et al.*, 2009).

No presente estudo, o padrão encontrado pode estar associado a disponibilidade e qualidade dos recursos alimentares disponíveis nos sítios reprodutivos. A grande maioria dos anfíbios se alimenta de invertebrados, e *B. bischoffi* é uma espécie que possui uma dieta majoritariamente de invertebrados das ordens Araneae e Coleoptera (MOSER, 2018). Na região do PNSJ, ocorrem pelo menos 41 espécies de escaravelhos pertencentes a ordem Coleoptera (DA SILVA *et al.*, 2018). Da Silva *et al.* (2018) encontraram que ocorrência e abundância de escaravelhos variaram em função da altitude, sendo que a maior riqueza e abundância de espécies se localiza nas altitudes intermediárias. Essa maior riqueza e abundância de escaravelhos nas altitudes intermediárias do PNSJ pode explicar pelo menos em parte, o resultado encontrado neste estudo: machos de *B. bischoffi* serem maiores em altitudes intermediárias.

Similarmente, Oswald (2013) comparou o CRC de duas populações de *B. bischoffi* de duas lagoas com características diferentes, uma em área florestada e a outra em uma área aberta, e encontrou que os machos da lagoa florestada foram significativamente maiores que os da lagoa aberta. Esta autora sugeriu que essas diferenças no CRC podem estar associadas às diferenças na vegetação e na temperatura da água e do ar no entorno da lagoa, e isso por sua vez influenciou na qualidade e quantidade dos itens alimentares disponíveis para a espécie.

Analisando os parâmetros acústicos, a temperatura do ar foi a única covariável indicada pelo modelo estatístico GAM que teve um efeito significativo sobre a duração do canto de anúncio tipo IV. A duração do canto de anúncio apresentou uma relação negativa com a temperatura do ar do dia, corroborando a hipótese proposta neste estudo. A ausência de efeito significativo da altitude sobre a duração do canto de anúncio de *B. bischoffi* encontrados aqui

pode ser explicada pela baixa abundância populacional registrada, independente da altitude do local. Como visto por Brush & Narins (1989) para a espécie *Eleutherodactylus coqui*, a alta densidade populacional de machos vocalizadores pode levar a sobreposição de cantos, fazendo com que os machos ativamente tentem evitar que isso ocorra, ajustando a duração de seus cantos de acordo com a densidade. Assim, a medida que o número total de machos vocalizando é reduzido, a interferência diminui e a duração do canto pode ser aumentada (NARINS & SMITH, 1986). Kohler *et al.* (2017) usaram dados acústicos de 20 espécies de anfíbios anuros, analisando a influência da temperatura na taxa de canto, taxa de pulso e duração do canto. Como a capacidade de contração muscular aumentaram em temperaturas mais altas, as taxas de canto e de pulso aumentaram e o intervalo entre os cantos diminuiu, ou seja, os machos puderam emitir mais cantos de anúncio em um mesmo intervalo de tempo. A duração do canto para essas 20 espécies também teve uma relação negativa com a temperatura, com os valores de duração diminuindo em até 40% com um aumento de 10°C na temperatura do ar do dia (KOHLENER *et al.*, 2017).

Cardoso (2009) testou a influência de variáveis ambientais (temperatura, umidade e horário de atividade) sobre alguns parâmetros acústicos do canto de anúncio de uma população de *B. bischoffi* vivendo a uma altitude de 1009 metros, no estado do Paraná. Foi encontrado que quanto maior a temperatura, menor o intervalo entre os últimos pulsos. Entretanto, essa diminuição no intervalo dos últimos pulsos não significou uma diminuição na duração total do canto. As gravações utilizadas neste estudo foram feitas em temperaturas do ar do dia que variaram de 10,5°C a 22,9°C (valor mínimo e máximo, respectivamente). Cardoso (2009) não fornece os valores de temperatura mínimos e máximos usados na análise, então não é possível fazer uma comparação e ver se o intervalo de temperatura do ar do dia usado neste estudo é maior. Outros estudos também mostraram que a duração do canto de anúncio de *Boana cordobae* na Argentina (BARAQUET *et al.*, 2015) e de *Eleutherodactylus coqui* na Costa Rica (NARINS & MEENDERINK, 2014) variaram negativamente com a temperatura do ar e positivamente com a altitude.

O modelo estatístico GAM não mostrou um efeito significativo da temperatura do ar sobre a frequência dominante dos cantos de anúncio tipo I e tipo IV, rejeitando as hipóteses propostas neste estudo. A análise mostrou que a altitude tem um efeito significativo na frequência dominante dos cantos tipo I e tipo IV. O modelo utilizado explicou 90,6% do desvio encontrado, indicando que o modelo escolhido foi bem ajustado. Essas variações geográficas em parâmetros acústicos, como a frequência dominante, podem ocorrer pela interação e pela

coexistência com outras espécies (LITTLEJOHN, 1959). Embora não tenha sido o foco deste estudo, nos dias de amostragem foi observado muitas outras espécies de anfíbios em atividade reprodutiva, com a maior riqueza geralmente nas altitudes intermediárias. Assim, as frequências dominantes mais altas dos machos de *B. bischoffi* encontradas nas altitudes intermediárias podem ter surgido para minimizar a sobreposição acústica com as outras espécies que estavam vocalizando junto. Essa explicação também foi proposta por Narins & Smith (1986), para explicar o padrão de variação da frequência dominante dos cantos de anúncio encontrados da espécie *Eleutherodacylus coqui*.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que a espécie *B. bischoffi* não segue os padrões propostos pela Regra de Bergmann e nem pela Regra de temperatura-tamanho. Esses resultados são importantes para entendermos cada vez melhor como as mudanças de temperatura presentes no PNSJ, e em todo o planeta, influenciam as espécies de anfíbios. A altitude teve um efeito significativo no tamanho corporal dos machos de *B. bischoffi*, mostrando um padrão parecido com o formato de parábola. A temperatura do ar do dia teve uma relação negativa com a duração do canto dos dois tipos analisados, corroborando a hipótese proposta. A altitude teve um efeito significativo na frequência dominante, com os machos de altitudes intermediárias vocalizando em frequências bem mais altas que os de altitudes baixas.

Como a coleta de dados nas altitudes mais altas foi menor se comparado com as altitudes mais baixas, sugere-se que outros estudos sejam feitos, ampliando as coletas de dados e as análises. Ajudando, assim, a compreendermos melhor como as variações de temperatura e climáticas influenciam as características de espécies como a *B. bischoffi* e dos anfíbios no geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, Dean C.; CHURCH, James O.. Amphibians do not follow bergmann's rule. **Evolution**, [s.l.], v. 62, n. 2, p.413-420, fev. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00297.x>.
- ÁLVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ASHTON, Kyle G.; TRACY, Mark C.; QUEIROZ, Alan de. Is Bergmann's Rule Valid for Mammals? **The American Naturalist**, Chicago, v. 156, n. 4, p.390-415, out. 2000.
- ASHTON, Kyle G. Do amphibians follow Bergmann's rule? **Canadian Journal Of Zoology**, [s.l.], v. 80, n. 4, p.708-716, abr. 2002a. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/z02-049>.
- ASHTON, Kyle G.. Patterns of within-species body size variation of birds: strong evidence for Bergmann's rule. **Global Ecology And Biogeography**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.505-523, nov. 2002b. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822x.2002.00313.x>.
- ATKINSON, David. Temperature and organism size-A biological law for ectotherms? **Advances in Ecological Research**, v. 25, n. 1, 1994.
- BARAQUET, Mariana et al. Geographic variation in the advertisement call of *Hypsiboas cordobae* (Anura, Hylidae). **Acta Ethologica**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.79-86, 17 abr. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10211-014-0188-2>.
- BEGON, Michael; TOWNSEND, Colin R.; HARPER, John L.. **Fundamentos em Ecologia**. Oxford: Artmed, 2010.
- BERVEN, Keith A. The genetic basis of altitudinal variation in the Wood frog *Rana sylvatica*. I. An experimental analysis of life history traits. **Evolution**, v. 36, n. 5, p. 962-983, 1981.
- BIONDA, Clarisa; SALAS, Nancy; TADA, Ismael di. Variación bioacústica en poblaciones de *Physalaemus biligonigerus* (Anura: Leptodactylidae) en Córdoba, Argentina. **Rev. Esp. Herp.**, Córdoba, v. 20, p.95-104, 2006.
- BLACKBURN, Tim M.; GASTON, Kevin J.; LODER, Natasha. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule. BIODIVERSITY RESEARCH. **Diversity And Distributions**, [s.l.], v. 5, n. 4, p.165-174, jul. 1999. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1472-4642.1999.00046.x>.
- BOULENGER, G.a.. XXXVI.—Descriptions of new or little-known South-American frogs of the genera *Paludicola* and *Hyla*. **Annals And Magazine Of Natural History**, [s.l.], v. 20, n. 118, p.295-300, out. 1887. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00222938709460058>.

BRASIL. Decreto 50.922 de julho de 1961. Cria o Parque Nacional de São Joaquim (P.N.S.J.), no Estado de Santa Catarina, e dá outras providências. Brasília: Câmara Federal, 1961.

BRUSH, Jeffrey S.; NARINS, Peter M. Chorus dynamics of a neotropical amphibian assemblage: comparison of computer simulation and natural behavior. **Anim. Behav.**, v. 37, p. 33-44, 1989.

CARDOSO, Manoela Woitovicz. **COMUNICAÇÃO EM *Hypsiboas bischoffi* (BOULENGER, 1887) (ANURA, HYLIDAE)**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

COCROFT, Reginald B.; RYAN, Michael J. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. **Animal Behaviour**, Austin, U.s.a, v. 49, n. 2, p.283-303, 1995.

CVETKOVIC, D. et al. Bergmann's rule in amphibians: combining demographic and ecological parameters to explain body size variation among populations in the common toad *Bufo bufo*. **Journal Of Zoological Systematics And Evolutionary Research**, [s.l.], v. 47, n. 2, p.171-180, maio 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0469.2008.00504.x>.

DA SILVA, Pedro G. da et al. Turnover and nestedness in subtropical dung beetle assemblages along an elevational gradient. **Diversity And Distributions**, [s.l.], v. 24, n. 9, p.1277-1290, 20 abr. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ddi.12763>.

DUELLEMAN, William Edward; TRUEB, Linda. **Biology of Amphibians**. Baltimore And London: The John Hopkins University Press, 1994. 670 p.

FROST, Darrel; HISTORY, The American Museum Of Natural. **Skip to contentSkip to search Amphibian Species of the World 6.0, an Online Reference**. 2018. Disponível em: <<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Anura/Hylidae/Cophomantinae/Boana/Boana-bischoffi>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

GOUVEIA, Sidney F. et al. Environmental steepness, tolerance gradient, and ecogeographical rules in glassfrogs (Anura: Centrolenidae). **Biological Journal Of The Linnean Society**, Londres, v. 108, p.773-783, 2013.

HADDAD, Célio F. B. et al. **Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: Diversidade e Biologia**. São Paulo: Anolisbooks, 2013. 544 p.

KLEIN, R.M.. Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues. **Flora Ilustrada Catarinense**, 1978. 24p.

KÖHLER, Jörn et al. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. **Zootaxa**, [s.l.], v. 4251, n. 1, p.1-124, 11 abr. 2017. Magnolia Press. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4251.1.1>.

LICHT, Lawrence E.. Shedding Light on Ultraviolet Radiation and Amphibian Embryos. **Bioscience**, [s.l.], v. 53, n. 6, p.551-561, 2003. Oxford University Press (OUP). [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0551:sloura\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0551:sloura]2.0.co;2).

LINGNAU, Rodrigo. **DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL, ATIVIDADE REPRODUTIVA E VOCALIZAÇÕES EM UMA ASSEMBLEIA DE ANFÍBIOS ANUROS DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL.** 2009. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Zoologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LITTLEJOHN, Murray J.. CALL DIFFERENTIATION IN A COMPLEX OF SEVEN SPECIES OF CRINIA (ANURA, LEPTODACTYLIDAE). **Evolution**, University Of Western Australia, v. 13, p.452-468, dez. 1959.

MARCELINO, Vanessa R.; HADDAD, Célio F. B.; ALEXANDRINO, João. Geographic Distribution and Morphological Variation of Striped and Nonstriped Populations of the Brazilian Atlantic Forest Treefrog *Hypsiboas bischoffi* (Anura: Hylidae). **Journal Of Herpetology**, [s.l.], v. 43, n. 2, p.351-361, jun. 2009. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. <http://dx.doi.org/10.1670/08-050r2.1>.

MORRISON, Clare; HERO, Jean-marc. Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. **Journal Of Animal Ecology**, [s.l.], v. 72, n. 2, p.270-279, mar. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00696.x>.

MOSER, Camila F. et al. Diet and trophic niche overlap of *Boana bischoffi* and *Boana marginata* (Anura: Hylidae) in southern Brazil. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.1-6, 29 nov. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0542>.

MUYLAERT, Renata Lara et al. UMA NOTA SOBRE OS LIMITES TERRITORIAIS DA MATA ATLÂNTICA. **Oecologia Australis**, [s.l.], v. 22, n. 03, p.302-311, 11 set. 2018. **Oecologia Australis**. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2018.2203.09>.

NARINS, Peter M.; SMITH, Sheila L.. Clinal variation in anuran advertisement calls: basis for acoustic isolation?. **Behavioral Ecology And Sociobiology**, Los Angeles, v. 19, p.135-141, mar. 1986.

NARINS, Peter M.; MEENDERINK, Sebastiaan W. F.. Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient. **Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 281, n. 1783, p.20140401-20140401, 9 abr. 2014. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.0401>.

NAVAS, Carlos A.. The Effect of Temperature on the Vocal Activity of Tropical Anurans: A Comparison of High and Low-elevation Species. **Journal Of Herpetology**, Connecticut, v. 30, n. 4, p.488-497, 1996.

NAVAS, Carlos A.. Herpetological diversity along Andean elevational gradients: links with physiological ecology and evolutionary physiology. **Comparative Biochemistry And Physiology Part A**, São Paulo, v. 133, p.469-485, 2003.

OLALLA-TÁRRAGA, Miguel Á.; RODRÍGUEZ, Miguel Á.. Energy and interspecific body size patterns of amphibian faunas in Europe and North America: anurans follow Bergmann's

rule, urodeles its converse. **Global Ecology And Biogeography**, [s.l.], v. 16, n. 5, p.606-617, set. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00309.x>.

OSWALD, Caroline Batistim. **ECOLOGIA POPULACIONAL DE HYSIBOAS BISCHOFFI BOULENGER, 1887 (ANURA: HYLIDAE) EM ÁREAS ABERTA E FLORESTADA DA MATA ATLÂNTICA DO SUL DO BRASIL**. 2013. 59 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PETERMAN, William E.; CRAWFORD, John A.; HOCKING, Daniel J.. Effects of Elevation on Plethodontid Salamander Body Size. **Copeia**, [s.l.], v. 104, n. 1, p.202-208, mar. 2016. American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH). <http://dx.doi.org/10.1643/ot-14-188>.

RAY, Carleton. The application of Bergmann's and Allen's rules to the poikilotherms. **Journal Of Morphology**, [s.l.], v. 106, n. 1, p.85-108, jan. 1960. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jmor.1051060104>.

RIBEIRO, Ricardo da Silva; EGITO, Gabriel Toselli Barbosa Tabosa do; HADDAD, Célio Fernando Baptista. Chave de identificação: anfíbios anuros da vertente de Jundiá da Serra do Japi, Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.235-247, 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032005000300017>.

RÖDEL, M. O.; Ernst, R. 2004. Measuring and Monitoring Amphibian diversity in Tropical Forests. I. An evaluation of methods with recommendations for standardization. **Ecotropica**, 10 (1): 1-14.

RYSER, Jan. Comparative life histories of a low- and a high-elevation population of the common frog *Rana temporaria*. **Amphibia-reptilia**, Baltzers, v. 17, p.183-195, 1996.

SIQUEIRA, Carla da Costa; ROCHA, Carlos Frederico Duarte. Gradientes altitudinais: conceitos e implicações sobre a biologia, a distribuição e a conservação dos anfíbios anuros. **Oecologia Australis**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.282-302, jun. 2013. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1702.09>.

STIEBLER, Imme B; NARINS, Peter M. Temperature-dependence of auditory nerve response properties in the frog. **Hearing Research**, [s.l.], v. 46, n. 1-2, p.63-81, jun. 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-5955\(90\)90140-k](http://dx.doi.org/10.1016/0378-5955(90)90140-k).

VALENZUELA-SÁNCHEZ, Andrés; CUNNINGHAM, Andrew A.; SOTO-AZAT, Claudio. Geographic body size variation in ectotherms: effects of seasonality on an anuran from the southern temperate forest. **Frontiers In Zoology**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.12-37, dez. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/s12983-015-0132-y>.

VAN DIJK, P.; LEWIS, E.r.; WIT, H.p.. Temperature effects on auditory nerve fiber response in the American bullfrog. **Hearing Research**, [s.l.], v. 44, n. 2-3, p.231-240, mar. 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-5955\(90\)90083-2](http://dx.doi.org/10.1016/0378-5955(90)90083-2).

VIANNA, Luiz Fernando de Novaes et al. Aplicação de descritores de heterogeneidade ambiental na seleção de áreas para sistemas de parcelas amostrais: um estudo de caso para a

determinação de hotspots potenciais de biodiversidade. **Geografia**, Rio Claro, v. 40, n. 2, p.211-239, 2015.

WATT, Cortney; MITCHELL, Sean; SALEWSKI, Volker. Bergmann's rule; a concept cluster? **Oikos**, [s.l.], v. 119, n. 1, p.89-100, jan. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17959.x>.

WOOD, S.N.. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, 2010. (B) 73(1):3-36.

WOOD, Simon N.. **Generalized Additive Models: An Introduction with R**. 2. ed. University Of Bristol, Uk: Crc Press, 2017. 497 p.

ZAR, Jerrold H.. **Biostatistical Analysis**. 5. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010. 947 p.

ZUUR, Alain F. et al. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. United Kingdom: Springer, 2009. 579 p.

ZUUR, Alain F.; IENO, Elena N.; ELPHICK, Chris S.. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. **Methods In Ecology And Evolution**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.3-14, 13 nov. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>.

APÊNDICE A

Tabela 1. Resultados dos modelos aditivos generalizados (MAGs) utilizados para mostrar o efeito das variáveis preditoras altitude e temperatura do ar (Tar) sobre o tamanho corporal (CRC), duração do canto e frequência dominante da espécie *Boana bischoffi* ao longo de um gradiente de altitude no Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ), SC. VR = variável resposta, n = número de amostras, $s(\)$ = função suavizada com uma determinada variável preditora, Edf = graus de liberdade efetivos, Ref.df = graus de liberdade residuais estimados, F = variação dentro das amostras, P -value = valor de significância, DE = desvio explicado pelo modelo que contém as variáveis indicadas.

Significância aproximada dos termos suavizados							
VR	N	$s(\)$	Edf	Ref.df	F	P -value	DE (%)
CRC	253	s(Altitude)	3,261	3,636	4,686	0,002	15,6
		s(Tar)	3,037	3,446	2,768	0,052	
Dur. do canto tipo I	28	s(Altitude)	1	1	0,481	0,495	15,8
		s(Tar)	1,771	2,115	1,479	0,224	
Dur. do canto tipo IV	14	s(Altitude)	1	1	1,138	0,308	55,9
		s(Tar)	1	1	11,908	0,005	
Freq. dom. tipo I	28	s(Altitude)	3,315	3,716	3,975	0,028	42,4
		s(Tar)	1	1	0,186	0,670	
Freq. dom. tipo IV	14	s(Altitude)	2,634	2,898	29,735	2,92E-05	90,6
		s(Tar)	1,064	1,104	4,855	0,061	