

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

GABRIEL DAVID MOURA DE FIGUEIREDO

**EFEITO DO MICRO E MACROCLIMA SOBRE O
CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA**

**JOÃO PESSOA
2023**

GABRIEL DAVID MOURA DE FIGUEIREDO

EFEITO DO MICRO E MACROCLIMA SOBRE O CANTO DE ANÚNCIO DE ANUROS DA CAATINGA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba como requisito complementar para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, sob orientação do professor Dr. Daniel Oliveira Mesquita.

Orientador:

Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita

Coorientador:

Msc. Arielson dos Santos Protázio

João Pessoa
2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F475e Figueiredo, Gabriel David Moura de.

Efeito do micro e macroclima sobre o canto de anúncio de anuros da caatinga / Gabriel David Moura de Figueiredo. - João Pessoa, 2023.

28 p.

Orientação: Daniel Oliveira Mesquita.

Coorientação: Arielson dos Santos Protázio.

TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) - UFPB/CCEN.

1. Aquecimento global. 2. Bioacústica. 3. Mudanças climáticas. 4. Modelagem de distribuição de espécies. I. Mesquita, Daniel Oliveira. II. Protázio, Arielson dos Santos. III. Título.

UFPB/CCEN

CDU 57(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Centro de Ciências Exatas e da Natureza

Coordenação do Curso de Ciências Biológicas

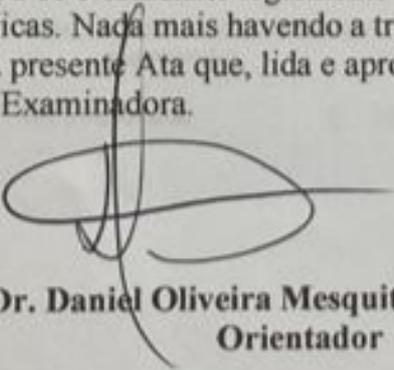
Telefone: (083) 3216.7439, Fax (083) 3216.7464.

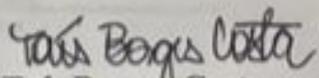
CEP 58059-900 - João Pessoa, PB, Brasil. e-mail: cccb@dse.ufpb.br

Ata da Apresentação e Defesa de Trabalho Acadêmico de Conclusão de Curso de GABRIEL DAVID MOURA DE FIGUEIREDO

Aos **dezesesseis** dias do mês de **junho** de dois mil e vinte e três, **Sala 03 do DSE** da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa-PB, às **quatorze** horas, a Banca Examinadora do Trabalho Acadêmico de Conclusão de Curso do estudante **GABRIEL DAVID MOURA DE FIGUEIREDO**, composta pelos seguintes professores doutores: **Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita/ Orientador** e **Presidente da Banca Examinadora**, **Dra. Taís Borges Costa/ Examinador** e **Prof. Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto** Examinador. Dando início à sessão houve a apresentação do estudante. Em seguida fez-se a apresentação da Banca Examinadora e passou a presidência da sessão para **Daniel Oliveira Mesquita** que, concomitantemente, assumiu a posição de orientador e presidente da sessão que, após declarar o objeto da solenidade, concedeu a palavra a estudante, candidato ao Grau de **Bacharel** em Ciências Biológicas, para que dissertasse, oral e sucintamente, a respeito do trabalho de título **“Efeito do micro e macroclima sobre o canto de anúncio de Anuros da Caatinga”** Passando então a discorrer sobre o referido tema, dentro do prazo legal, o estudante foi a seguir arguido pelos examinadores na forma regimental. Em seguida, passou a Comissão, em caráter secreto, a proceder à avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe as seguintes notas: **Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita**, **Dra. Taís Borges Costa** 9,5 e **Prof. Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto** 9,5. Com média final 9,5. Perante a aprovação, declarou-se o estudante legalmente habilitado a receber o Grau de **Bacharel** em Ciências Biológicas. Nada mais havendo a tratar eu, **Daniel Oliveira Mesquita**, como Presidente, lavro a presente Ata que, lida e aprovada, assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

João Pessoa, 16 de junho de 2023


Prof. Dr. Daniel Oliveira Mesquita
Orientador


Dra. Taís Borges Costa
Titular


Prof. Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto
Titular

Dedico esta página a quem sempre esteve me apoiando e acreditando em mim, mesmo nos meus momentos mais dramáticos: aos meus pais, Liedna e José Antônio. Não poderia pedir por pais melhores que vocês.

RESUMO

O canto de anúncio dos anuros é um atributo de grande importância para a interação desses machos e fêmeas durante o período reprodutivo. Estudos sobre biologia térmica desses animais têm demonstrado que a temperatura ambiental exerce grande influência sobre os parâmetros acústicos do canto de anúncio. Assim, a análise das temperaturas do corpo, das temperaturas do micro-habitat, bem como das macro-temperaturas pode ajudar os pesquisadores e entender como o ambiente térmico afeta a reprodução e áreas de adequabilidade climática desses animais, sobretudo, em um contexto de mudanças climáticas. Esse estudo buscou analisar a relação entre micro e macro-clima sobre o canto do anúncio e comportamento reprodutivo de 11 espécies anuros do Bioma Caatinga. As coletas de dados ocorreram durante o período chuvoso em 12 localidades nos estados da Bahia e Paraíba. Ao todo, 666 cantos pertencentes a 11 espécies foram analisados. A regressão múltipla indicou que a temperatura do substrato é a variável térmica que melhor prediz a temperatura corporal dos anuros de todas as espécies analisadas, seguida pela umidade. A Análise de Correspondência Canônica revelou que a temperatura do ar exerceu maior efeito sobre os parâmetros acústicos das espécies, sobretudo na duração dos pulsos. Os demais parâmetros acústicos analisados não sofreram grandes alterações. A análise integrando as temperaturas do corpo dos machos cantores e os modelos de distribuição revelou diferenças entre os padrões de distribuição das espécies. Cinco das treze espécies analisadas revelaram retração da área de ocupação geográfica nos cenários climáticos do futuro.

Palavras-chave: Aquecimento global, Bioacústica, Modelagem de distribuição de espécies, Mudanças climática.

ABSTRACT

The advertisement call of anurans is a highly important attribute for the interaction between males and females during the reproductive period. Studies on the thermal biology of these animals have demonstrated that environmental temperature greatly influences the acoustic parameters of the advertisement call. Thus, the analysis of body temperatures, microhabitat temperatures, as well as macro-temperatures, can help researchers understand how the thermal environment affects the reproduction and climatic suitability areas of these animals, particularly in the context of climate change. This study aimed to analyze the relationship between micro and macro-climate on the advertisement call and reproductive behavior of 11 anuran species from the Caatinga Biome. Data collection occurred during the rainy season in 12 locations in the states of Bahia and Paraíba . A total of 666 calls belonging to 11 species were analyzed. Stepwise regression indicated that substrate temperature is the thermal variable that best predicts the body temperature of the analyzed species, followed by humidity. Canonical Correspondence Analysis revealed that air temperature had the greatest effect on the acoustic parameters of the species, particularly on pulse duration. The other analyzed acoustic parameters did not undergo significant changes. The analysis integrating the body temperatures of singing males and distribution models revealed differences in the distribution patterns of the species. Five out of the thirteen analyzed species showed a retraction of their geographical occupancy area under future climate scenarios.

KEYWORDS: Bioacoustics, Climate change, Global Warming, Species distribution modelling

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS	9
2.2. COLETA DE DADOS	9
2.3. ANÁLISE.....	10
3. RESULTADOS	12
4. DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO.....	20
6. REFERÊNCIAS.....	22
7. ANEXO A.....	27

1. INTRODUÇÃO

Os anfíbios anuros (sapos, rãs e pererecas) apresentam ampla variedade de comportamentos reprodutivos, incluindo sinais visuais, químicos e acústicos (DUELLMAN; TRUEB, 1994; ROSENTHAL et al., 2004). Entre os sinais acústicos, o canto de anúncio é mais estudado, devido a sua relevância na interação entre espécies, no estabelecimento da coexistência e na reprodução (HÖDL, 1977; PROTÁZIO et al., 2015). A importância deste comportamento é demonstrada por sua especificidade em relação à espécie e pelo papel que desempenha na seleção sexual, promovendo o isolamento reprodutivo entre as espécies (KENTWOOD; SCHWARTZ, 1984), o reconhecimento intraespecífico (DUELLMAN; TRUEB, 1994) e a seleção dos machos com as melhores aptidões (KENTWOOD; SCHWARTZ, 1984; GERHARDT, 1994). Os machos possuem a capacidade de ajustar seus cantos de acordo com as características ambientais (ZIEGLER et al., 2011), porém, eles ainda precisam mantê-los dentro de uma faixa de variação acústica tolerada pela espécie, a fim de garantir o reconhecimento pelas fêmeas (BEE; VÉLEZ; FORESTER, 2012). Portanto, quaisquer mudanças nos parâmetros do canto de anúncio podem ter um efeito negativo no sucesso reprodutivo e na manutenção da dinâmica populacional de muitas espécies.

Alguns parâmetros do canto de anúncio exibem níveis de conservação, permitindo a exploração das relações evolutivas entre táxons (CROCROFT; RYAN, 1995). Porém, ele ainda pode sofrer variações decorrentes da interação intraespecífica (WELLS; SCHWARTZ, 1984) ou da influência de fatores climáticos. Em geral, o clima exerce um importante mecanismo de variação no canto de anúncio dos anuros. Por exemplo, Valetti e Martino (2012) constataram que o aumento da temperatura do micro-habitat de canto de *Pleurodema tucumanum* Parker, 1927, pode provocar alterações no número de pulsos do canto. De maneira semelhante, Howard e Young (1998) concluíram que a taxa de pulsos do canto de anúncio de *Anaxyrus americanus* (Holbrook, 1836) é afetada pela temperatura. Além disso, Yamaguchi et al. (2008), ao analisar laringes *in vivo* e *in vitro* de *Xenopus laevis* (Daudin, 1802), demonstraram a influência da temperatura nos mecanismos neurais de produção de som de anuros, observando que variações nas temperaturas podem produzir cantos com características distintas.

Essas informações destacam dois principais aspectos: (i) a importância do micro-habitat como meio de termorregulação dos anuros, de modo a garantir a manutenção de temperatura em faixas ótimas; e (ii) o impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de micro-habitats ideais para o engajamento na atividade acústica. Muitas espécies de anuros apresentam

especializações no uso do micro-habitat de canto (VIEIRA et al., 2009), os quais podem ser regulados por fatores históricos (PROTÁZIO et al., 2015). Além disso, é possível que os machos escolham micro-habitats de canto que maximizem sua performance acústica (CAMURUGI; RÖHR; JUNCÁ, 2015). Portanto, alterações climáticas que afetam a temperatura do micro-habitat de canto, podem reduzir também a disponibilidade de substratos ideais para o canto, prejudicando a reprodução desses animais. Os anfíbios são considerados o grupo de vertebrados mais ameaçado, com cerca de 41% das espécies listadas como "Vulneráveis", "Ameaçadas" ou "Criticamente Ameaçadas" pela IUCN (HOFFMANN et al., 2010). No entanto, há indicações de que essa métrica possa estar subestimada (RIBEIRO et al., 2016). As mudanças climáticas constituem a maior ameaça para esses animais (McCALLAN, 2007; COSTA; CARNAVAL; TOLEDO, 2012), promovendo alterações na fenologia reprodutiva e aumentando a exposição a patógenos e predadores (LI; COHEN; ROHR, 2013). Os anfíbios anuros são particularmente suscetíveis aos efeitos da mudança climática devido a fatores fisiológicos e ecológicos, como a pele altamente vascularizada, o ciclo de vida composto por uma fase aquática e uma fase terrestre e o sistema de comunicação baseado em sinais acústicos (CORN, 2005).

Apesar dessas informações, pouco se sabe sobre os efeitos das mudanças climáticas na biologia reprodutiva dos anuros que habitam o Bioma Caatinga. Esse Bioma ocupa grande parte do nordeste brasileiro, sendo caracterizado por ser extremamente sazonal, apresentando regulares períodos de seca, com elevadas temperaturas e baixa umidade (TABARELLI et al., 2018). Estudos recentes têm apontado que a Caatinga vem sofrendo graves efeitos das mudanças climáticas (MARENCO, 2018), com a existência e previsão de secas mais severas e rigorosas para os próximos anos, o que pode intensificar o processo de desertificação já observado em algumas áreas (SOUZA et al, 2015). Por outro lado, um relatório recente da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2023), entidade das Nações Unidas responsável pelo estudo do clima, apontou a previsão de anomalias climáticas para o nordeste brasileiro, com aumento dos níveis de umidade para períodos futuros. Isso indica também a possibilidade de chuvas extremas na Caatinga, revelando um cenário marcado por períodos de secas mais intensas e prolongadas, intercaladas por períodos de chuvas mais intensas, o que pode alterar a biologia reprodutiva dos anuros e afetar o sucesso reprodutivo das diferentes espécies que habitam esse ecossistema.

A grande maioria dos estudos que avaliam o efeito do clima sobre a biologia dos anuros se limitam a análises de tolerância térmica (GERICK et al., 2014; SIMON et al., 2015),

desconsiderando informações ecológicas e comportamentais ligadas à reprodução, o que pode limitar a nossa capacidade de prever como as espécies do grupo responderão às mudanças climáticas. Dessa forma, é evidente a necessidade de estudos que busquem investigar as preferências térmicas e comportamentais dos anuros, bem como os efeitos do ambiente sobre a reprodução desses animais. Nesse estudo, nós utilizamos dados térmicos e acústicos para investigar os efeitos do microclima e macroclima sobre os parâmetros do canto de anúncio e áreas de adequabilidade climática dos anuros que habitam o Bioma Caatinga. Nosso objetivo foi verificar como o canto de anúncio das diferentes espécies se relaciona com o ambiente térmico, bem como se existe efeito do microclima sobre a estrutura do canto de anúncio. Além disso, nós também buscamos verificar como o macroclima afeta a distribuição desses animais dentro do Bioma Caatinga, integrando dados de biologia térmica dos machos durante a atividade acústica e macroclimáticos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades de campo foram desenvolvidas em diferentes localidades inseridas no Bioma Caatinga, nos estados da Bahia e Paraíba. A Caatinga é um bioma seco que ocupa grande parte do nordeste brasileiro. A vegetação da Caatinga é composta, predominantemente, por um estrato arbustivo constituído por plantas com folhas pequenas, troncos recurvados e espinhos, além de suculentas e anuais (QUEIROZ et al., 2017). De acordo com o IBGE (2012), a Caatinga pode ser classificada como Savana-Estépica, pois, apesar de apresentar vegetação savânica, possui florística homóloga à de áreas estépicas de clima temperado da Bolívia e Argentina. Ela possui diferentes fitofisionomias, variando desde áreas predominantemente florestadas até áreas abertas. Além disso, a Caatinga engloba enclaves de outras vegetações, como Florestas Tropicais, Campos Rupestres e Savanas (QUEIROZ et al., 2017). O clima predominante no bioma é semiárido (BSh na classificação de Köppen), com pluviosidade anual média de 800 mm (ALVARES et al., 2013) e podendo variar de 240 mm até 1500 mm. A estação chuvosa é marcada pela alta sazonalidade, cujos períodos variam de acordo com a localidade (NIMER, 1989).

2.2. COLETA DE DADOS

Em cada área de estudo, as atividades de campo foram realizadas durante o período chuvoso, com duração entre 4 dias e 7 dias. Os machos cantores foram encontrados através de busca ativa ao redor de corpos d'água permanentes e temporários (rios, riachos, lagoas, lagos e poças), utilizando a pesquisa acústica. Dos machos vocalizantes, foram registrados a temperatura do corpo (cloacal) (T_c), temperatura do substrato de canto (T_{sc}), temperatura do ar a 1 metro do solo (T_{ar}), temperatura do ar a 5 cm do substrato (T_{ar5}), umidade relativa do ar (%) e o canto de anúncio. Dados das temperaturas foram obtidos com fio termopar de leitura rápida do tipo K, acoplado a um multímetro digital Minipa[®] MT-450. A umidade foi obtida com higrômetro digital INS[®]. A temperatura cloacal foi coletada dentro de uma janela de 15 segundos, conforme protocolos estabelecidos por Navas (1996). Os registros que excederem este tempo foram desconsiderados.

Dados acústicos foram registrados com gravador digital Tascan[®] DR-40x, acoplado a microfones direcionais Sennheiser[®] ME 66. A frequência de amostragem utilizada foi de 48 kHz a 24 bits de resolução, e o microfone foi posicionado a aproximadamente 1 m do macho cantor. As vocalizações foram analisadas no programa Raven Pro 1.6 (Universidade de Cornell), empregando oscilogramas, espectrogramas e gráficos de potência. Espectrogramas foram construídos usando a FFT com 512 amostras e janela do tipo Hann. Seis parâmetros acústicos foram analisados, seguindo as definições de Köhler et al. (2017): frequência dominante (Hz), frequência fundamental (Hz), duração do canto (s), número de pulsos, duração dos pulsos (ms) e taxa de repetição do canto (cantos/minuto).

2.3. ANÁLISE

Para verificar o efeito do microclima sobre o comportamento acústico dos anuros, nós realizamos uma regressão múltipla da temperatura do corpo dos machos (variável dependente) contra todas as demais variáveis térmicas (temperatura e umidade) (variáveis preditoras) para determinar quais variáveis exercem maior influência sobre a temperatura do corpo dos animais. Posteriormente, nós buscamos verificar a existência de associação entre as variáveis térmicas e os parâmetros do canto de anúncio através de uma Análise de Correspondência Canônica (ACC). Para isso, duas matrizes de dados das diferentes espécies foram construídas: (1) de dados térmicos (variáveis ambientais) e (2) de dados acústicos (variáveis resposta). Em adição, um teste de Mantel verificou a consistência de correlação entre as duas matrizes. As matrizes

foram construídas utilizando a distância Euclidiana, com 9.999 permutações e a regressão e ACC foram realizadas no software Past 4.09 (HAMMER et al., 2001).

Para verificar o efeito do macroclima sobre o nicho térmico dos anuros, nós implementamos diversos modelos de distribuição de espécies, considerando um modelo híbrido de distribuição, onde são utilizados conjuntamente variáveis ambientais (climáticas) e ecofisiológicas (KEARNEY, 2009). Nós obtivemos 19 variáveis climáticas extraídas da base de dados do WorldClim 2.1 (www.worldclim.org), com resolução especial de $\sim 1 \text{ km}^2$ (30 segundos). Nós extraímos dados de cinco cenários climáticos: presente (recorte temporal de 1970 a 2000), 2030 (2021 a 2040), 2050 (2041 a 2060), 2070 (2061 a 2080) e 2090 (2081 a 2100). Para os cenários do futuro, nós obtivemos a média de cinco modelos, a fim de reduzir a incerteza proveniente de dados de diferentes modelos Circulação Global (*Global Circulation Models*): ACCESS-CM2, CNRM-CM6-1, IPSL-CM6A-LR, MIROC6 e MPI-ESM1-2-HR (SANDERSON et al., 2015). Dados são provenientes dos cenários o ssp245, dos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (*Shared Socioeconomic Pathways*) (RIAHI et al., 2017), que considera uma emissão média de gases do efeito estufa.

Adicionalmente, nós também utilizamos a elevação, também extraída do WorldClim 2.1, como variável ambiental. A elevação tem sido considerada importante na explicação dos efeitos do aquecimento global sobre a distribuição dos anuros, covariando com as demais variáveis climáticas, sendo frequentemente relatada em estudos que investigam esse aspecto (ALVES-FERREIRA et al., 2022). Nós utilizamos o Fator de Inflação de Variância (VIF) para excluir as variáveis que foram correlacionadas e reduzir problemas de colinearidade no modelo. Para isso, nós selecionamos as variáveis com valor de VIF abaixo de 10 e com correlação acima de 7,0 (VASCONCELOS et al., 2018). Nesse último caso, as variáveis com maior valor do VIF foram excluídas no par. Após esse procedimento, nós selecionamos seis variáveis para serem implementadas nos modelos de distribuição: precipitação anual, isothermalidade, precipitação no trimestre mais frio, precipitação no semestre mais quente, precipitação do mês mais seco e altitude.

Para construir esses modelos, nós criamos uma variável chamada TminTmax, que representa os limites mínimos e máximos de temperatura do corpo dos machos cantores (T_c) obtidas em campo. Desse modo, nós consideramos que valores das médias das temperaturas mínimas e máximas do ar que excedem os limites térmicos da T_c podem promover uma redução da performance reprodutiva dos machos. Nós construímos a variável apenas selecionando as células que ficaram dentro desses limites, utilizando arquivos rasters climáticos de média da

temperatura mínima do ar (T_{min}) e média da temperatura máxima do ar (T_{max}) extraídas do WorldClim 2.1, também com a resolução espacial de $\sim 1 \text{ km}^2$ (30 segundos) (FICK; HIJMANS, 2017). A variável TminTmax gerada representa uma variável categórica com valores 0 (nenhum dos dois rasters apresentam temperaturas dentro dos limites), 1 (um dos dois rasters apresentam valores dentro dos limites) ou 2 (os dois rasters apresentam temperaturas dentro dos limites térmicos). A variável TminTmax foi construída como uma média dos meses mais chuvosos para a Caatinga (janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro), propícios para a atividade reprodutiva e acústica dos anuros (baseado em ARZABE 1999; VIEIRA et al., 2007; PROTÁZIO et al., 2015; CASCON; LANGGUTH, 2016).

Nós utilizamos o programa Maxent 3.4.4 para implementarmos o modelo de distribuição híbrido. O Maxent é um dos algoritmos mais utilizados para modelagem de espécies e estima a probabilidade de distribuição das espécies, considerando uma maior uniformidade na distribuição (PHILLIPS et al., 2006). No Maxent nós utilizamos o formato de saída logístico (*logistic*), em que os valores das células são as probabilidades de ocorrência das espécies, variando entre 0 (ausência) e 1 (presença), mas escalado de forma não linear, de modo a facilitar a interpretação da distribuição. Além disso, utilizamos 10.000 pontos de *background* e particionamos nossos dados em 70% para dados de treino e 30% em dados de teste. Posteriormente, nós transformamos os dados de probabilidade de ocorrência em um arquivo binário (presença/ausência), considerando 50% de probabilidade de encontrarmos a espécie. Para isso, utilizamos a ferramenta calculadora do programa QGIS 3.22.11, selecionando células com valores $\geq 0,5$. Por fim, nós calculamos o tamanho das áreas de ocorrência das diferentes espécies nos diferentes cenários climáticos, utilizando o algoritmo *r.report* da programa GRASS GIS acoplada ao QGIS, a fim de quantificar o efeito das mudanças climáticas sobre a áreas de ocorrência das espécies de anuros na Caatinga.

3. RESULTADOS

Nós analisamos 666 cantos de anúncio de 11 espécies pertencentes a 4 famílias (Tabela 1): Leptodactylidae (5 espécies), Hylidae (3 espécies), Phyllomedusidae (2 espécies) e Microhylidae (uma espécie). *Dermatonotus muelleri* apresentou o canto mais longo (2,522 s) e com o maior número de pulsos por notas (684,53 pulsos). Contrariamente, *Physalaemus cicada* foi a espécie que apresentou o canto mais curto, com 0,024 s (Tabela 2). Porém, essa espécie emite várias sequências de cantos em um curto intervalo de tempo, o que contribui para a alta

taxa de repetição de cantos (média 843 cantos/minuto). *Physalaemus albifrons* apresentou cantos consideravelmente mais longos (0,307 s) do que o congênera *P. cicada*, mas a taxa de repetição de canto dessa espécie (média de 36 cantos/minuto) foi menor do que a verificada para *P. cicada*. Ambas as espécies de *Physalaemus* apresentam cantos de anúncio apulsado e com uma única nota. Entre os representantes de Hylidae analisados, *Boana crepitans* apresentou o canto mais longo (0,376 s) mas com o menor número de notas (9). *Scinax pachycrus* e *S. x-signatus* apresentaram cantos mais curtos (0,164 s para ambos), e se diferenciam por terem número distinto de pulsos por nota (média de 13,09 pulsos para *S. pachycrus* e 9,35 pulsos para *S. x-signatus*).

Tabela 1. Tabela com as espécies analisadas, o número de registros acústicos analisados por espécie, número de cantos analisados e estado de origem dos espécimes estudados.

Família	Espécie	Nº de registros	Nº de cantos	Estado
Hylidae	<i>Boana crepitans</i>	1	10	BA
	<i>Scinax pachycrus</i>	5	50	PB
	<i>Scinax x-signatus</i>	8	80	BA, PB
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus caatingae</i>	7	70	BA
	<i>Leptodactylus troglodytes</i>	3	30	BA
	<i>Physalaemus albifrons</i>	23	248	BA, PB
	<i>Physalaemus cicada</i>	9	90	BA, PB
	<i>Rupirana cardosoi</i>	2	20	BA
Microhylidae	<i>Dermatonotus muelleri</i>	3	15	BA
Phyllomedusidae	<i>Pithecopus gonzagai</i>	5	43	PB
	<i>Pithecopus nordestinus</i>	1	10	BA
TOTAL		66	666	

Entre os demais representantes da família Leptodactylidae amostrados, as duas espécies de *Leptodactylus* analisadas possuem cantos curtos (0,077 s em *L. caatingae* e 0,039 s em *L. troglodytes*), mas possuem número de pulsos por nota distintos (6,2 pulsos/nota em *L. caatingae* e canto apulsado em *L. troglodytes*). O canto de anúncio de *Rupirana cardosoi* durou, em média, 0,109 segundos, e possui em média 22 pulsos/nota.

Tabela 2. Média dos parâmetros acústicos analisados.

Espécie	Duração do canto (s)	Pulsos/nota	Duração dos pulsos (s)	Fr. dominante (Hz)	Fr. fundamental (Hz)	Cantos por minuto
<i>P. cicada</i>	0,024	-	-	3210,07	761,30	843,00
<i>P. albifrons</i>	0,307	-	-	2711,25	330,29	36,35
<i>L. caatingae</i>	0,077	6,2	0,011	1197,6	1197,6	91,28
<i>L. troglodydes</i>	0,039	-	-	3060,58	3060,58	127,33
<i>R. cardosoi</i>	0,109	22,2	0,005	1507,32	679,95	25
<i>P. gonzagai</i>	0,030	2,533	0,007	2273,38	1166,70	3
<i>P. nordestinus</i>	0,057	4,9	0,012	1722,65	1722,65	23
<i>S. pachycrus</i>	0,164	13,096	0,009	3670,98	1281,65	29,4
<i>S. x-signatus</i>	0,164	9,35	0,016	1084,2	1022,823	44,13
<i>B. crepitans</i>	0,376	9	0,011	706,29	706,29	20
<i>D. muelleri</i>	2,522	684,53	0,0034	2101,64	689,06	3,67

A regressão múltipla revelou que as variáveis microclimáticas temperatura do substrato de canto, temperatura do substrato a 5 cm e umidade do ar tiveram efeito significativo sobre a temperatura do corpo dos machos dos anuros (R^2 ajustado = 0,70; $F = 35.245$; $p = 0,001$). Contudo, a temperatura do substrato de canto foi responsável por explicar 63,4% da variação encontrada nos nossos dados. Na ACC os eixos 1 e 2 foram responsáveis por explicar 99,8% da variação nos dados (Tabela 3). O eixo 1 exibiu maior efeito das variáveis temperatura do substrato de canto e umidade sobre o número de pulsos e duração do canto, enquanto o eixo 2 exibiu maior efeito da umidade e temperatura do substrato de canto sobre a taxa de repetição do canto e duração do canto. Esses resultados revelam um gradiente ambiental em que a

temperatura do substrato e umidade exercem forte efeito sobre os parâmetros temporais do canto de anúncio.

Tabela 3. Valores da Análise de Correspondência Canônica da matriz de dados térmicos e acústicos das espécies analisadas.

Variável	Eixo 1	Eixo 2
Duração do canto	-2,791	-1,985
Duração dos pulsos	2,22	-0,195
Frequência dominante	-0,239	-0,542
Frequência fundamental	1,268	0,861
Número de pulsos	-5,521	0,289
Taxa de repetição do canto	-2,223	3,872
<i>Tar</i> 5 (°C)	-0,005	-0,193
<i>Tar</i> (°C)	0,178	-0,045
<i>Tsub</i> (°C)	-0,462	-0,298
Umidade (%)	-0,211	-0,463
Autovalor	0,054	0,011
% da variação	82,9	16,9

A análise do gráfico da ACC revelou formação de quatro grupos distintos de espécies (Gráfico 1): (i) espécies associadas a um ambiente com maior temperatura do substrato e umidade e apresentando elevada duração do canto e número de pulsos (*Leptodactylus caatingae* e *Dermatonotus muelleri*); (ii) espécies associadas a ambientes com menor temperatura do substrato e umidade, e apresentando cantos com menor duração e menor número de pulsos (*L. troglodytes*, *Boana crepitans*, *Pithecopus gonzagai* e *Physalaemus albifrons*); (iii) espécies associadas a ambientes com temperaturas do substrato e umidade moderadas e apresentando menor taxa de repetição do canto (*Scinax pachycrus*, *Rupirana cardosoi* e *Pithecopus noderstinus*); (iv) e espécie associada a ambientes com maior temperatura do substrato e umidade, com elevada taxa de repetição de canto (*Physalaemus cicada*).

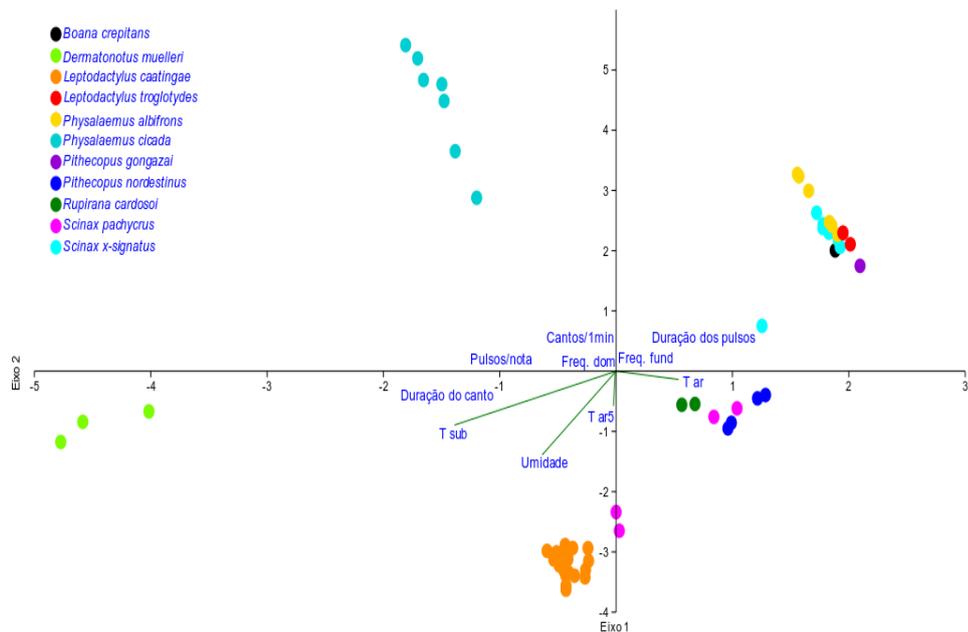


Gráfico 1. Resultado da Análise de Correspondência Canônica.

A análise com o modelo de distribuição, considerando o período presente e o futuro revelou que nove espécies tiveram crescimento de áreas de ocorrência, enquanto cinco (*B. crepitans*, *R. granulosa*, *P. albifrons*, *L. caatingae* e *L. troglodytes*) tiveram retração (Tabela 4). Entretanto, a observação dos mapas de presença e ausência revelou que a grande maioria das espécies tiveram previsão de presença em áreas contínuas na porção leste do bioma Caatinga, na porção de ecótono com o bioma Mata Atlântica, indicando ser uma importante região para a manutenção das espécies (Figura 2).

Tabela 4. – Quantidade de área adequada para treze espécies de anuros da Caatinga para o presente e 2081-2100.

	Presente	2081-2100	Consequência	Área em Km ²
<i>Boana crepitans</i>	217.066	152.819	Perda	- 64.247
<i>Dermatonotus muelleri</i>	252.807	262.602	Ganho	+ 9.795
<i>Leptodactylus caatingae</i>	250.422	150.535	Perda	- 99.887
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	77.295	149.616	Ganho	+ 72.321
<i>Leptodactylus troglodytes</i>	89.185	75.930	Perda	- 13.255
<i>Physalaemus albifrons</i>	165.548	145.909	Perda	- 19.639
<i>Physalaemus cicada</i>	307.235	414.969	Ganho	+ 107.734
<i>Pleurodema diplolister</i>	160.078	174.911	Ganho	+ 14.833

	Presente	2081-2100	Consequência	Área em Km ²
<i>Pithecopus gonzagai</i>	92.440	207.304	Ganho	+ 114.864
<i>Pithecopus nordestinus</i>	203.628	230.704	Ganho	+ 27.076
<i>Rupirana cardosoi</i>	33.353	38.251	Ganho	+ 4.898
<i>Rhinella granulosa</i>	271.581	121.354	Perda	- 150.227
<i>Scinax x-signatus</i>	135.464	192.190	Ganho	+ 56.726

4. DISCUSSÃO

O efeito das temperaturas do ar e do substrato sobre a temperatura corporal sugere que os machos de anuros selecionam micro-habitats de canto que permitam a manutenção da temperatura do corpo. Brown e Brown (1977), assim como Fouquette (1980), estudando espécies semi-aquáticas de anuros, concluíram que a temperatura da água tem maior impacto sobre a temperatura corporal dos indivíduos do que a temperatura do ar. Para anuros que habitam de regiões montanhosas, a variação da temperatura corporal é determinada pelas preferências de micro-habitats, juntamente com o período de atividade destes animais (NAVAS, 1996). Esse padrão também foi identificado para outros grupos de ectotérmicos, como salamandras (FEDER, 1982) e lagartos (ADOLPH, 1990). Todavia, a escolha de micro-habitats em anuros também está relacionada com a hidrorregulação (POUGH et al., 1983; TRACY et al., 1993), reflexo das limitações fisiológicas existentes no grupo (DUELLMAN; TRUEB, 1994). Assim, as diferentes preferências térmicas encontradas nesse estudo podem estar relacionadas à escolha de micro-habitats mais úmidos que evitam a dessecação (POUGH, 1983).

Devido a particularidades fisiológicas desses animais, espera-se que a atividade acústica dos anuros seja afetada pela temperatura. Muitos estudos corroboram que a temperatura média do ar está relacionada com a atividade acústica de anuros. Zina et al. (2007) verificaram que a atividade acústica de anuros é positivamente correlacionada com a temperatura média do ar. Similarmente, os mecanismos de produção de som nos anuros estão sujeitos a alterações em razão da temperatura ambiente (DUELLMAN; TRUEB, 1994). Entretanto, em nosso estudo, a temperatura do ar do substrato mostrou-se mais influente na temperatura corporal da maioria das espécies. Portanto, por mais que a temperatura do ar seja considerada mais relevante para explicar a atividade acústica e o período reprodutivo desses animais, isoladamente talvez ela

não seja capaz de explicar as variações na temperatura do corpo dos anuros identificadas em campo.

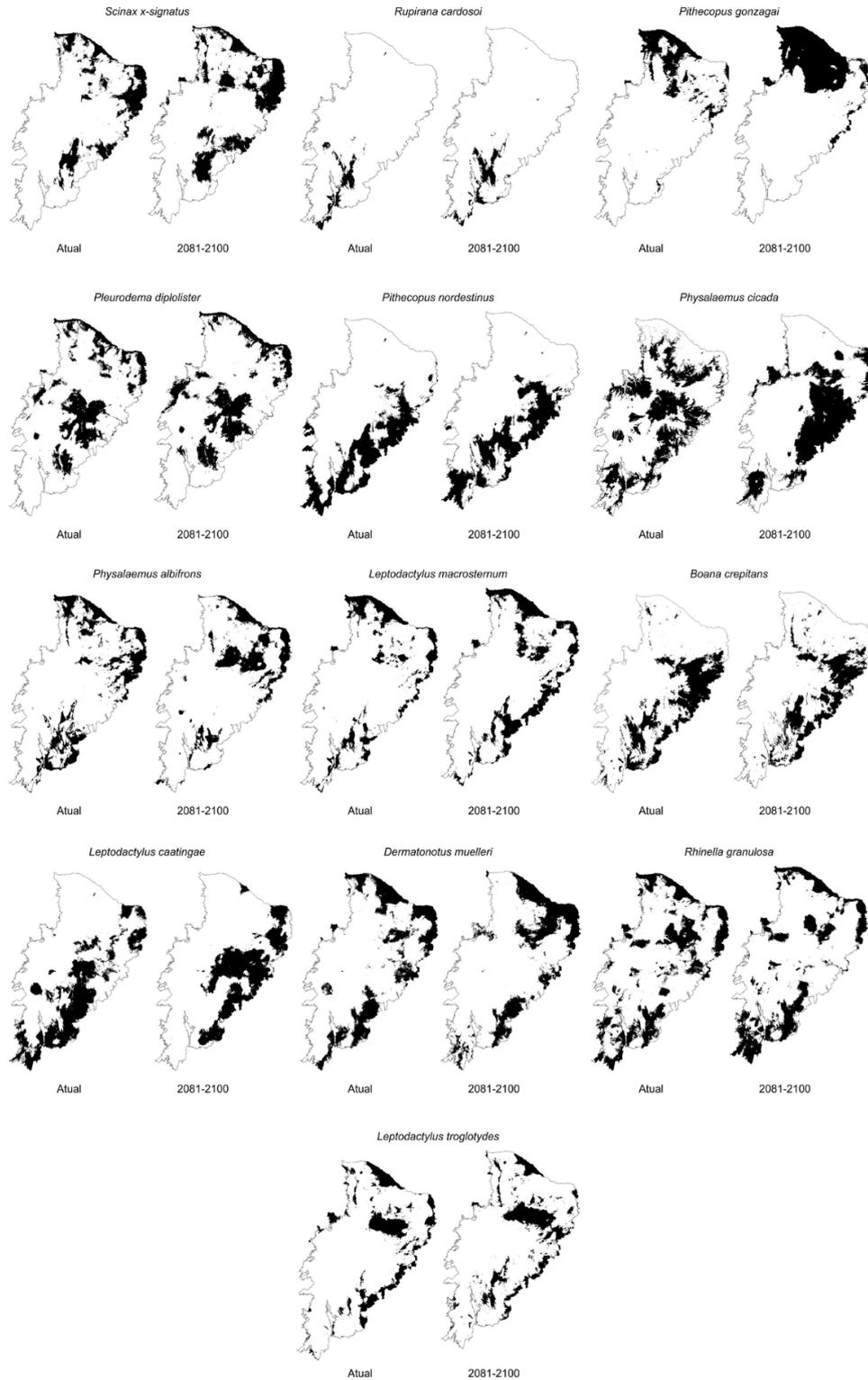


Imagem 2. Mapas de presença e ausência para o período atual e 2081-2100 (2090) das treze espécies de anuros da Caatinga analisadas. Áreas computadas com 50% de probabilidade de ocorrência das espécies.

Diversos estudos revelaram que as temperaturas exercem forte efeito sobre parâmetros espectrais do canto de anúncio dos anuros. Por exemplo, Schneider e Eichelberg (1974), estudando híbridos das espécies *Bombina bombina* (Linneus, 1761) e *Bombina variegata* (Linneus, 1761), concluíram que a frequência do canto é positivamente correlacionada com a temperatura ambiente. Igualmente, os cantos de *Anaxyrus woodhousii* (Girard, 1854) e *A. americanus* (Holbrook, 1836) também tem suas frequências de canto positivamente correlacionadas com a temperatura (ZWEIFEL, 1968). *Boana albopunctata* (Spix, 1824) também tem sua frequência de canto associada com a temperatura, porém, negativamente (VIEIRA; BATISTA; BASTOS, 2016). Apesar disso, nossos achados não corroboram com os resultados desses estudos, pois, as espécies tiveram maior variação na duração dos pulsos em resposta à temperatura do substrato.

Parâmetros temporais, como duração do canto e duração das notas, geralmente estão associados a variações térmicas (RYAN, 1988). Na espécie *Dryophytes versicolor* (LeConte, 1825), o aumento da temperatura do ar é capaz de promover uma diminuição da duração do canto (BLAIR, 1958). Resultado similar foi averiguado em *Noblella heyeri* (Lynch, 1986) (LINGNAU; BASTOS, 2007). Em contraste, o canto de *Boana albopunctata* (Spix, 1824) parece apresentar uma correlação positiva entre duração do canto e temperatura do ar (VIEIRA; BATISTA; BASTOS, 2016). Na espécie *Pelodytes punctatus* (Daudin, 1802), a duração das notas foi negativamente correlacionada com a temperatura do ar (ESTEBAN et al., 2002). As espécies amostradas nesse estudo tiveram forte influência das variáveis microclimáticas sobre os parâmetros temporais do canto de anúncio, sobretudo, na duração dos cantos, que revelou uma tendência em aumentar a duração conforme o aumento da temperatura do substrato. Por fim, os resultados obtidos em nosso estudo sugerem a existência de um padrão regular, em que o gradiente de temperatura do substrato de canto pode promover efeitos, sobretudo, sobre os parâmetros temporais do canto.

Em resposta às mudanças climáticas, os organismos podem alterar seus padrões de atividade, dispersarem para áreas com condições climáticas mais favoráveis ou adaptarem às novas condições ambientais (LABISKO et al., 2021). Entretanto, os anuros possuem restrições quanto às suas capacidades de dispersão. Os anfíbios anuros são particularmente vulneráveis ao aquecimento global devido à baixa capacidade de dispersão (ZEISSET; BEEBEE, 2008) e a nichos ecológicos restritos (BLAUSTEIN et al., 2010). Ademais, animais ectotérmicos, como anuros, possuem taxas de evolução de nicho térmico mais lentas em comparação com animais

endotérmicos (ROLLAND et al., 2018), o que pode ajudar a explicar a maior vulnerabilidade desses animais em cenários de mudanças climáticas.

Apesar dessas informações, nossos resultados mostraram uma expansão de distribuição para nove das treze espécies de anuros investigadas. Outros estudos corroboram com nossos resultados. Duan e colaboradores (2016), analisando a distribuição futura de anfíbios chineses, verificaram que o efeito das mudanças climáticas sobre esses animais varia entre espécies. Enquanto algumas espécies podem sofrer uma contração de suas áreas de distribuição, estima-se que outras espécies podem apresentar uma expansão das áreas de ocorrência. Isso vale para o sapinho *Rhinella granulosa* (Spix, 1824). Oliveira e Casemiro (2013), em estudo analisando a distribuição da espécie através da utilização de modelos de distribuição híbrido, concluíram que *R. granulosa* tende a apresentar uma expansão da área de distribuição em cenários do futuro. Esses resultados contrastam com nossos resultados, em que *R. granulosa* sofre retração da área de ocorrência.

Considerando espécies do gênero *Leptodactylus*, um estudo recente identificou diminuição em até 21% de áreas climaticamente adequadas para essas espécies (MEDINA et al., 2020). Esse resultado é similar ao encontrado em nossas análises, em que *L. caatingae* e *L. troglodytes* mostram uma diminuição das áreas de ocorrência. É possível que as diferenças identificadas entre os estudos estejam associadas às variáveis utilizadas nas construções dos modelos, bem como nos diferentes parâmetros empregados. Além disso, modelos de distribuição de espécies são sensíveis à quantidade de amostras (áreas de ocorrência) utilizadas nas análises, o que pode explicar as discrepâncias observadas nos resultados dos diferentes estudos, o que torna difícil comparações mais profundas.

5. CONCLUSÃO

A temperatura do substrato foi a variável térmica que melhor explicou a temperatura corporal dos anuros amostrados. Esse mesmo resultado foi observado em nossa ACC, onde a temperatura do substrato e umidade tiveram forte relação com a duração do canto, duração do pulso e taxa de repetição do canto, indicando que variações acústicas podem ser reflexos de preferências térmicas dos machos durante a atividade do canto, resumida no uso de microhabitats que tenham um ótimo microclima. Por fim, a análise com os modelos de distribuição revelou que as espécies de anuros que habitam a Caatinga respondem de maneira diferentes aos efeitos das mudanças climáticas, com algumas espécies apresentando expansão de sua área de ocorrência, enquanto outras apresentam retração para os cenários do futuro. *Rhinella*

granulosa, *L. caatingae* e *B. crepitans* foram as espécies que tiveram as maiores perdas de área de ocorrência, indicando que podem ser as espécies de anuros mais afetadas pelo aquecimento global no bioma Caatinga.

6. REFERÊNCIAS

ADOLPH, S.C. Influence of thermoregulation on microhabitat use by two *Sceloporus* lizards. **Ecology**, v. 71, n.1, p. 315-327, 1990.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, no. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES-FERREIRA, G.; TALORA, D. C.; SOLÉ, M. CERVANTES-LÓPEZ, M. J.; HEMING, N. M. Unraveling global impacts of climate change on amphibians distributions: a life-history and biogeographic-based approach. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 1-12, 2022.

ARZABE C. Reproductive activity patterns of anurans in two different altitudinal sites within the Brazilian Caatinga. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, p. 851-864, 1999.

BEE, M. A.; VE, A.; FORESTER, J. D. Sound level discrimination by gray treefrogs in the presence and absence of chorus-shaped noise. **Acoustical Society of America**, v. 131, n. 5, 2012.

BLAIR, F. Mating Call in the Speciation of Anuran Amphibians. **The University of Chicago Press for The American Society of Naturalists Stable**, vol. 92, no. 862, p. 27–51, 1958. .

BLAUSTEIN, A. R.; WALLS, S. C.; BANCROFT, B. A.; LAWLER, J. J.; SEARLE, C. L.; GERVASI, S. S. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. **Diversity**, vol. 2, no. 2, p. 281–313, 2010. <https://doi.org/10.3390/d2020281>.

BROWN, L.E.; BROWN, J.R. Comparison of environmental and body temperatures as predictors of mating call parameters of sprint peepers. **The American Midland Naturalist**, v. 97, n. 1, p. 209-211, 1977.

CAMURUGI, F.; RÖHR, D. L.; JUNCÁ, F. A. Differences in advertisement calls and vocal behavior in *Hypsiboas atlanticus* (Anura: Hylidae) among microhabitats. **Herpetologica**, v. 71, n. 4, p. 243–251, 2015.

CASCON, P.; LANGGUTH, A. Composition, reproduction and ecological aspects of a Caatinga anurofauna in Paraíba state, Brazil. **Revista Nordestina da Biologia**, v. 24, n. 2, p. 23-66, 2016.

CROCROFT, R. B.; RYAN, M. J. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. **Animal Behaviour**, v. 49, n. 2 p. 283-303, 1995.

CORN, P. S. Climate change and amphibians. **Animal Biodiversity and Conservation**, v. 28, n. 1, p. 59-67, 2005.

COSTA, T. R. N.; CARNAVAL, A. C. O. Q.; TOLEDO, L. F. Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. **Revista da Biologia**, v. 8, n. n. 1, p. 33-37, 2012.

- DUAN, R. Y.; KONG, X. Q.; HUANG, M. Y.; VARELA, S.; JI, X. The potential effects of climate change on amphibian distribution, range fragmentation and turnover in China. *PeerJ*, vol. 2016, no. 7, 2016. <https://doi.org/10.7717/peerj.2185>.
- DUELLMAN, W. E.; TRUEB, L. **Biology of amphibians**. Baltimore: McGraw-Hill, 1994.
- ESTEBAN, M; SÁNCHEZ-HERRÁIZ, M.J; BARBADILLO. L J.; CASTANET, J.; MÁRQUEZ, R. Effects of age, size and temperature on the advertisement calls of two Spanish populations of *Pelodytes punctatus*. **Amphibia Reptilia**, v. 23, n. 3, p. 249–258, 2002.
- FEDER, M. E. Thermal ecology of Neotropical lungless salamanders (Amphibia: Plethodontidae): environmental temperatures and behavioral responses. **Ecology**, v. 63, n. 6, p. 1665-1675, 1982.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017
- FOUQUETTE, M.J. Jr. Effect of environmental temperatures on body temperature of aquatic-calling anurans. **Journal of Herpetology**, v. 14, n. 4, p. 347-352, 1980.
- GERHARDT, H. CARL. Reproductive character displacement of female mate choice in the gray treefrog, *Hyla chrysocelis*. **Animal Behavior**, v. 47, n. 4, p. 959-969, 1994.
- GERICK, A. A.; MUNSHAW, R. G.; PALEN, W. J.; COMBES, S. A.; O'REGAN, S. M. Thermal physiology and species distribution models reveal climate vulnerability of temperate amphibians. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 4, p. 713-723, 2014.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n.3, p. 9, 2001.
- HÖDL W. Call differences and calling site segregation in anuran species from central Amazonian floating meadows. **Oecologia**, v. 28, n. 4, p. 351-363, 1977.
- HOFFMANN, M. et al. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. **Science**, v. 330, n. 6010, p.1503-1509, 2010.
- HOWARD, R.D.; YOUNG, J.R. Individual variation in male vocal traits and female preferences in *Bufo americanus*. **Animal Behavior**, v. 55, n. 5, p. 1165-1179, 1998.
- IBGE, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamento. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 58 p.
- KENTWOOD, D. WELLS; SCHWARTZ, JOSHUA J. Vocal communication in a Neotropical treefrog, *Hyla ebraccata*: advertisement call. **Animal Behaviour**, v. 32, n. 2, p. 405-420, 1984.
- KEARNEY, M.; PORTER, W. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species ranges. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 277-367, 2009.

KÖHLER, J.; JANSEN, M.; RODRÍGUEZ, A.; KOK, P. J. R.; TOLEDO, L. F.; EMMRICH, M.; GLAW, R.; HADDAD, C. F. B.; RÖDEL, M. O.; VENCES, M. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. **Zootaxa**, v. 4251, n. 1, p. 1–124, 2017

LABISKO, J.; BUNBURY, N.; GRIFFITHS, R. A.; GROOMBRIDGE, J. J.; CHONG-SENG, L.; BRADFIELD, K. S.; STREICHER, J. W. Survival of climate warming through niche shifts: evidence from frogs on tropical islands. **Global Change Biology**, vol. 28, no. 4, p. 1268–1286, 1 Feb. 2022. <https://doi.org/10.1111/gcb.15997>.

LI, YIMING; COHEN, JEREMY M.; ROHR, JASON R. Review and synthesis of climate change on amphibians. **Integrative Zoology**, v. 8, n. 2, p. 145-161, 2013.

LINGNAU, R.; BASTOS, R. P. Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. **Journal of Natural History**, v. 41, n. 17–20, p. 1227-1235, 2007.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

MEDINA, R. G.; LIRA-NORIEGA, A.; ARÁOZ, E.; PONSSA, M. L. Potential effects of climate change on a Neotropical frog genus: changes in the spatial diversity patterns of *Leptodactylus* (Anura, Leptodactylidae) and implications for their conservation. **Climatic Change**, vol. 161, no. 4, p. 535–553, 2020.

NAVAS, C. A.; GOMES, F. R.; CARVALHO, J. E. Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: integration and evolutionary implications. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 151, p. 344–362, 2008.

NIMER, E. Climatologia da região nordeste *in*: **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE., 1989, p. 315-361.

OLIVEIRA, H. R.; CASSEMIRO, F. A. S. Potenciais efeitos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição de um anuro da Caatinga. **Iheringia, Série Zoologia**, vol. 103, no. 3, p. 272–279, 2013.

OMM. **State of the Global Climate 2021**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231–259, 2006

POUGH, F. H.; TAIGEN, T. L.; STEWART, M. M.; BRUSSARD, P. F. Behavioral modification of evaporative water loss by a Puerto Rican frog. **Ecology**, v. 64, n.2, p. 244- 252, 1983.

PROTÁZIO, A. S.; ALBUQUERQUE, R. L.; FALKENBERG, L. M.; MESQUITA, D. O. Acoustic ecology of an anuran assemblage in the arid Caatinga of northeastern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 49, n. 15-16, p. 957–976, 2015.

QUEIROZ, L.P.; CARDOSO, D. FERNANDES, M.F.; MORO, M.F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. *In*: TABARELLI, Marcelo. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, 2018. p. 23-63.

RIBEIRO, J.; COLLI, G. R.; CALDWELL, J. P.; SOARES, A. M.V.M. An integrated trait-based framework to predict extinction risk and guide conservation planning in biodiversity hotspots. **Biological Conservation**, vol. 195, p. 214–223, 2016. DOI 10.1016/j.biocon.2015.12.042. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.042>.

ROLLAND, J.; SILVESTRO, D.; SCHLUTER, D.; GUISAN, A.; BROENNIMANN, O.; SALAMIN, N. The impact of endothermy on the climatic niche evolution and the distribution of vertebrate diversity. **Nature Ecology and Evolution**, vol. 2, no. 3, p. 459–464, 1 Mar. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0451-9>.

RYAN, M. J. Constraints and patterns in the evolution of anuran acoustic communication. **The Evolution of The Amphibian Auditory System**, no. September, p. 637–677, 1988.

SCHNEIDER, H.; EICHELBERG, H. The mating call of hybrids of the fire-bellied toad and yellow-bellied toad (*Bombina bombina* (L.), *Bombina variegata* (L.)) (Discoglossidae, Anura) **Oecologia**, v. 16, n.1, p.61-71, 1974

SIMON, M. N.; RIBEIRO, P. L.; NAVAS, C. A. Upper thermal tolerance plasticity in tropical amphibian species from contrasting habitats: implications for warming impact prediction. **Journal of Thermal Biology**, v. 48, p. 36–44, 2015.

SOUZA, Bartolomeu Israel de; ARTIGAS, Rafael Cámara; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Caatinga E Desertificação. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, , p. 131–150, 2015.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M.C. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, vol. 70, no. 4, p. 25–29, 2018. <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>.

TRACY et al. Thermoregulation by *Bufo americanus*: The Importance of the Hydric Environment. **Herpetologica**, vol. 49, no. 3, p. 375-382, 1993.

VALETTI, J. A.; MARTINO, A. L. Temperature effect on the advertisement call of *Pleurodema tucumanum* (Anura: Leiuperidae). **Phyllomedusa**, vol. 11, no. 2, p. 125–134, 2012. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v11i2p125-134>.

VASCONCELOS, T. S.; DO NASCIMENTO, B. T.M.; PRADO, V. H.M. Expected impacts of climate change threaten the anuran diversity in the Brazilian hotspots. **Ecology and Evolution**, vol. 8, no. 16, p. 7894–7906, 2018. <https://doi.org/10.1002/ece3.4357>.

VIEIRA, R.; BATISTA, V.; BASTOS, R. Acoustic communication in two species of the *Hypsiboas albopunctatus* group (Anura: Hylidae) in sympatry and allopatry. **Zoologia**, vol. 33, no. 2, p. 1–10, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1984-4689zool-20150037>.

VIEIRA, W. L. S.; ARZABE, C.; SANTANA, G. G. Composição e distribuição espaço-temporal de anuros no Cariri paraibano, Nordeste do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, p. 383-396, 2007.

YAMAGUCHI, A.; GOOLER, D.; HERROLD, A.; PATEL, S.; PONG, W. W. Temperature-dependent regulation of vocal pattern generator. **Journal of Neurophysiology**, vol. 100, no. 6, p. 3134–3143, 2008. <https://doi.org/10.1152/jn.01309.2007>.

ZEISSET, I.; BEEBEE, T. J.C. Amphibian phylogeography: A model for understanding historical aspects of species distributions. **Heredity**, vol. 101, no. 2, p. 109–119, 2008. <https://doi.org/10.1038/hdy.2008.30>.

ZINA, J.; ENNSER, J.; PINHEIRO, S. C. P.; HADDAD, C. F. B.; TOLEDO, L. F. de. Taxocenose de anuros de uma mata semidecídua do interior do Estado de São Paulo e comparações com outras taxocenoses do estado, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, vol. 7, no. 2, p. 49–57, 2007. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032007000200005>.

ZWEIFEL, R. G. Effects of Temperature, Body Size, and Hybridization on Mating Calls of Toads, *Bufo a. americanus* and *Bufo woodhousii fowleri*. **Copeia**, vol. 1968, no. 2, p. 269, 1968. <https://doi.org/10.2307/1441753>.

7. ANEXO A

Tabela 1. Extensão para a área de ocorrência adequada para as treze espécies de anuros analisadas em diferentes recortes temporais.

	Presente	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
<i>Boana crepitans</i>	217.066	127.410	151.944	135.649	152.819
<i>Dermatonotus muelleri</i>	252.807	138.646	152.446	419.397	262.602
<i>Leptodactylus caatingae</i>	250.422	82.715	309.916	289.816	150.535
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	77.295	167.877	204.891	191.239	149.616
<i>Leptodactylus troglodytes</i>	89.185	85.057	84.267	86.584	75.930
<i>Physalaemus albifrons</i>	165.548	129.037	144.301	138.784	145.909
<i>Physalaemus cicada</i>	307.235	323.770	338.713	271.428	414.969
<i>Pleurodema diplolister</i>	160.078	175.419	181.575	184.016	174.911
<i>Pithecopus gonzagai</i>	92.440	146.470	165.365	142.927	207.304
<i>Pithecopus nordestinus</i>	203.628	218.632	209.836	215.153	230.704
<i>Rupirana cardosoi</i>	33.353	37.298	39.138	38.136	38.251
<i>Rhinella granulosa</i>	271.581	162.392	166.738	183.939	121.354
<i>Scinax x-signatus</i>	135.464	175.588	180.321	186.133	192.190