

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

MUDANÇA CLIMÁTICA E A CONSERVAÇÃO DE ANUROS
NO CERRADO

Autora: Ana Karolina Mendes Moreno
Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro

RIO VERDE – GO
Março – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

MUDANÇA CLIMÁTICA E A CONSERVAÇÃO DE ANUROS
NO CERRADO

Autora: Ana Karolina Mendes Moreno
Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração Conservação dos Recursos Naturais.

RIO VERDE – GO
Março – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

M843m Moreno, Ana Karolina Mendes
Mudança climática e a conservação de anuros no Cerrado / Ana Karolina Mendes Moreno; orientador Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro; co-orientador Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes. -- Rio Verde, 2019. 50 p.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Modelos de Nicho Ecológico. 2. Unidades de Conservação. 3. Vulnerabilidade. 4. Deslocamento de Habitat. 5. Risco de Extinção. I. Lima Ribeiro, Dr. Matheus de Souza, orient. II. Moraes, Dr. Alessandro Ribeiro de , co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Ana Karolina Mendes Moreno
Matrícula: 2017102310840032
Título do Trabalho: Mudança climática e a conservação de anuros no cerrado

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 21/05/2019

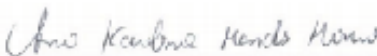
- O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

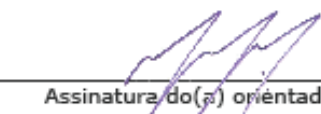
- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local Rio Verde, 21/05/2019.
Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:




Assinatura do(a) orientador(a)

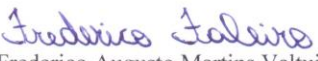



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE - GO
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

ATA Nº 24 (VINTE E QUATRO) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e dois dias do mês de março do ano de dois mil e dezenove, às 09:00 (nove horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro (orientador), Prof.^a Dr.^a Levi Carina Terribile (avaliadora interna) e Dr. Frederico Augusto Martins Valtuille Faleiro (avaliador externo), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada na Sala de Aula do prédio da Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, da autoria de **Ana Karolina Mendes Moreno**, discente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**, na área de concentração Conservação dos Recursos Naturais, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBio da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Renata Maria de Miranda Rios Resende, secretária do PPGBio, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em cinco vias de igual teor.


Prof.^a Dr.^a Levi Carina Terribile
Avaliadora interna
UFJ / Jataí


Dr. Frederico Augusto Martins Valtuille
Faleiro
Avaliador externo
UFG / Goiânia


Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro
Presidente da Banca
UFJ / Jataí

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

MUDANÇA CLIMÁTICA E A CONSERVAÇÃO DE ANUROS
NO CERRADO

Autora: Ana Karolina Mendes Moreno
Orientador: Matheus de Souza Lima Ribeiro

TITULAÇÃO: Mestre em Biodiversidade e Conservação – Área de
concentração Conservação dos Recursos Naturais.

APROVADA em 22 de março de 2019.


Prof.^a Dr.^a Levi Carina Terribile
Avaliadora interna
UFJ / Jataí


Dr. Frederico Augusto Martins Valtuille
Faleiro
Avaliador externo
UFG / Goiânia


Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro
Presidente da Banca
UFJ / Jataí

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro, por todo o incentivo e suporte durante o meu mestrado. Obrigado pela oportunidade incrível de continuarmos esta parceria que se estende desde a graduação, por todos os ensinamentos que foram essenciais para minha formação acadêmica e principalmente pela paciência e por compartilhar seus conhecimentos sobre os modelos de nicho e o software R.

Aos meus pais, Maria Aparecida e João Moreno, por todo apoio e por sempre incentivarem e priorizarem minha educação desde pequena.

Ao meu melhor amigo e companheiro, Ricardo Lemes Gonçalves, por todo incentivo, pelos momentos de reflexão, pelo apoio e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos desta jornada.

A equipe da Coordenação de Graduação da Universidade Federal de Jataí pela compreensão e apoio durante meu primeiro ano do mestrado.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes, pelo auxílio e por compartilhar seus conhecimentos sobre as espécies deste estudo.

Ao Laboratório de Macroecologia da Universidade Federal de Jataí por todo suporte e auxílio na execução do meu projeto. Em especial a Prof. Dra. Levi Carina Terribile e Vinícius Silva Reis que me acompanharam e apoiaram durante toda esta jornada.

À Fundação Grupo O Boticário de Proteção à Natureza pelo auxílio financeiro do projeto “Mudanças climáticas, modelos de nicho e a conservação “*in situ*” das espécies de Anuros ameaçadas e deficiente de dados do Cerrado” através da Chamada 20162. Ao Dr. Iberê Farina Machado pela concessão de parte dos dados de ocorrência das espécies, além de toda a equipe do projeto que ajudou no levantamento de dados de ocorrência.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo auxílio financeiro com bolsa de estudos através da Chamada 03/2017.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Ana Karolina Mendes Moreno, natural de Tucuruí/PA, nascida em 02 de outubro de 1993, filha de Maria Aparecida Mendes de Jesus Moreno e João Gilvani Fernandes Moreno. Concluiu o Ensino Médio no Colégio Pitágoras na Serra dos Carajás na cidade de Parauapebas/PA. Em 2011 ingressou no curso de Bacharelado em Ciências Biológicas na Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, com período sanduiche na Universidade de Coimbra em Portugal, concluindo a graduação em fevereiro de 2016. Em março de 2017 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, previsto para concluir em março de 2019.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE APÊNDICES.....	vii
LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1 Introdução.....	1
2. Metodologia.....	3
2.1 Classificação das espécies Ameaçadas e Deficiente de Dados e Coleta de Dados.....	3
2.2 Modelos de Nicho Ecológico.....	4
2.3 Análises: Dinâmica de distribuição.....	5
2.4 Análises: Representatividade das espécies nas Unidades de Conservação (UCs) ..	5
2.5 Análises: Velocidade biótica.....	6
3 Resultados.....	6
4. Discussão.....	12
5. Referências.....	15
6. Material Suplementar.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Distribuição de frequência do número de registros de ocorrência para as espécies DD e ameaçadas do Cerrado brasileiro.	7
Figura 2: Dinâmica espaço-temporal de distribuição dos anfíbios DDs e ameaçados do Cerrado brasileiro. Variação no tamanho da distribuição geográfica das espécies entre o presente e futuro (a – área total; b – área ganha e perdida).	8
Figura 3: Velocidade de deslocamento de habitat (habitat tracking) necessárias para que espécies DD e ameaçadas mantenham-se em condições climáticas toleráveis. Valores de velocidade forward são maiores do que velocidades backward, indicando que o risco de extinção será maior do que a dificuldade de colonização e com efeito maior para espécies ameaçadas do que para DD.....	9
Figura 4: Distribuição espacial da média das velocidades de deslocamento de habitat forward (a,c; risco de extinção em áreas perdidas) e backward (b,d; dificuldade para colonizar áreas ganhadas) para as espécies ameaçadas (a,b) e DDs (c,d) do Cerrado brasileiro. Os valores representam a média das velocidades forward e backward entre as espécies de cada grupo (ameaçadas e DDs) para o cenário climático RCP6.0. A distribuição espacial das velocidades de deslocamento de habitat foram semelhantes entre todos os cenários climáticos (RCPs) e estão disponíveis no Material Suplementar (Figuras S3-S5).	10
Figura 5: Representatividade (SRI) dos anfíbios ameaçados e DDs do Cerrado brasileiro em unidades de conservação no presente e para os quatro cenários climáticos futuros (RCPs). (a) Representatividade média em toda a área de distribuição das espécies e (b) proporção da representatividade na rede de áreas protegidas do Cerrado	

brasileiro e da Mata Atlântica. Em (a), note que os coeficientes de correlação de Pearson (em detalhe) indicam redução do SRI ao longo do tempo para todas as espécies. Em (b), note que os anfíbios tornarão mais representados nas UCs da Mata Atlântica, e menos representados no Cerrado brasileiro, em função do deslocamento de habitat ao longo do tempo..... 11

Figura 6: Densidade de valores de SRI para os anuros (a) ameaçados e (b) DDs do Cerrado brasileiro no presente e nos cenários climáticos futuros (RCPs). Em geral, os anuros estão pouco representados nas UCs (baixa densidade de SRI $> 0,5$) e tornarão menos representados no futuro (aumento da densidade de SRI $< 0,2$ nos cenários climáticos futuros)..... 12

ÍNDICE DE APÊNDICES

	Página
Tabela 1: Métrica de acurácia dos modelos de nicho (ESMs) para cada espécie, obtidas pelo método de avaliação jackknife leave-one-out.	21
Figura S1: Mapas de adequabilidade climática (full esembles) para os anuros ameaçados do Cerrado brasileiro no presente e nos 4 cenários climáticos futuros, construídos a partir das médias dos 15 ESMs.	29
Figura S2: Mapas de adequabilidade climática (<i>full esembles</i>) para os anuros DDs do Cerrado brasileiro no presente e nos 4 cenários climáticos futuros, construídos a partir das médias dos 15 ESMs.	32
Figura S3: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (forward e backward) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP2.6.	33
Figura S4: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (forward e backward) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP4.5.	34
Figura S5: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (<i>forward e backward</i>) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP8.5.	35

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

AOGCMs	<i>Atmosphere–Ocean General Circulation Models</i>
AR5	5º Relatório de Avaliação (<i>Fifth Assessment Report</i>)
DD	Deficiente de Dados (<i>Data Deficient</i>)
CC	CCSM4
CR	Criticamente em Perigo (<i>Critically Endangered</i>)
ESM	<i>Ensembles of Small Models</i>
EN	Em perigo (<i>Endangered</i>)
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
HD	<i>HadGEM2-AO</i>
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MR	MIROC ESM
NT	Quase Ameaada (<i>Near Threatened</i>)
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i>
RPPNs	Reservas Particulares do Patrimnio Natural
SRI	<i>Species Representativeness Index</i>
VU	Vulnerável (<i>Vulnerable</i>)
UC	Unidade de Conservação

RESUMO

MORENO, ANA KAROLINA MENDES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, março de 2019. **Mudança Climática e a Conservação de Anuros no Cerrado**. Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro. Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes.

Mudanças climáticas exercem forte influência na dinâmica e distribuição das espécies no espaço geográfico, sendo um dos principais impulsionadores para o aumento do risco de extinção das espécies à medida que os cenários climáticos se tornam mais severos. Anfíbios, um dos grupos animais mais diversos e ameaçados globalmente, são mais vulneráveis a alterações no clima por possuírem tolerância ambiental e capacidade de dispersão limitadas. O quadro se agrava quando um quarto dos anfíbios estão classificados como Deficiente de Dados (DD) e são omitidos em pesquisas e planos de conservação. Por simples déficit de conhecimento, ignoramos o risco de extinção dessas espécies DD que pode ser tão elevado quanto das espécies já classificadas em alguma categoria de ameaça. Nosso objetivo é comparar os efeitos da mudança climática sobre os anuros ameaçados e DDs do Cerrado brasileiro, especialmente em relação ao risco de extinção (exposição e vulnerabilidade) e seu estado de conservação no futuro. Modelamos o nicho ecológico das 4 espécies de anuros ameaçados e 12 DDs do Cerrado para o presente e projetamos para quatro cenários climáticos futuros (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). Nossos resultados mostram que todas as espécies perderão áreas climaticamente adequadas no futuro, com deslocamento de suas distribuições

geográficas para o sudeste do bioma. Em geral, o risco de extinção das espécies ameaçadas aumentará em maior proporção que das DDs em cenários climáticos futuros. Entretanto, os dois grupos de espécies se tornarão mais vulneráveis à extinção, uma vez que a redução e deslocamento de suas distribuições geográficas às tornariam menos representadas nas unidades de conservação e desafiariam suas populações a dispersarem longas distâncias para acompanhar a mudança de habitat ao longo do tempo. Nossos resultados indicam que a mudança climática será uma forte ameaça para estas espécies futuramente, exemplificam a possibilidade de considerar espécies com pouca informação em pesquisas envolvendo mudança climática e reforçam a necessidade de incluir as espécies DDs em planos de conservação no futuro, mesmo com seu déficit de conhecimento.

PALAVRAS-CHAVE: modelos de nicho ecológico, unidades de conservação, vulnerabilidade, deslocamento de habitat, risco de extinção.

ABSTRACT

MORENO, ANA KAROLINA MENDES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, março de 2019. **Climate change and conservation of anurans from Brazilian Cerrado**. Orientador: Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro. Coorientador: Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes.

Climate change strongly influence the species distributional dynamics across the space and time, being one of the main drivers increasing the extinction risk at the end of 21st century. Amphibians, one of the most diverse and globally endangered animal groups, are more vulnerable to climate change because their limited environmental tolerance and dispersal capacity. Additionally, a quarter of amphibians are classified as Data Deficient (DD) and omitted from researches and conservation plans. The knowledge shortfall leads us to ignore the extinction risk of these DD species, which may be as threatened as the species already classified in some category of threat. Here, we compared the effects of climate change on threatened and DDs anurans from Brazilian Cerrado, especially in relation to their extinction risk (exposure and vulnerability) and conservation status in the future. We modeled the ecological niche of four endangered and 12 DDs anurans at the present and projected onto four future climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5). Our results show that all species will lose climatically suitable areas in the future, with displacement of their geographic distributions toward the Atlantic Forest and southeastern Cerrado. In general, the extinction risk of endangered anurans will increase in greater proportion than DDs in

future climate scenarios. However, both groups of species will become more vulnerable to extinction as the reduction and displacement of their geographic distributions would make them less represented in protected areas and would challenge their populations to disperse long distances following the habitat tracking over time. Our findings indicate that climate change will be an important threat to these Brazilian Cerrado anurans in the future, exemplify the possibility of considering poorly know species in climate change researches and reinforce the need to include DD species into further conservation plans, even with their generalized knowledge shortfall.

KEYWORDS: Ecological niche models, protected areas, vulnerability, habitat tracking, extinction risk.

(Normas de acordo com a revista Nature Climate Change)

1 Introdução

Uma das principais ameaças para a perda da biodiversidade tem sido atribuída à mudança climática antropogênica^{1,2,3,4}. Projeções futuras realizadas pelo IPCC⁵ preveem um aumento de temperatura variando entre 1.5 a 4.0 °C até o final do século XXI, com alteração do regime sazonal de precipitação. O clima é um dos principais fatores abióticos que afeta a dinâmica e a distribuição das espécies. À medida que o clima muda ao longo do tempo, as espécies se deslocam no espaço seguindo as condições climáticas adequadas à sua sobrevivência¹. Como consequência, as unidades de conservação, delineadas para salvaguardar as espécies visando suas distribuições atuais, não seriam eficientes em protegê-las diante da mudança climática futura^{6,7}. Além disso, mudanças nos padrões de precipitação e temperatura podem ocasionar perda e fragmentação de habitats adequados, ameaçando a perpetuação da biodiversidade no futuro⁸.

Embora as mudanças no clima afetem toda a biodiversidade do planeta^{4,9}, os anfíbios são potencialmente mais afetados que os outros grupos, como aves e mamíferos^{10,11,12}. Por possuírem tolerância climática e capacidade de dispersão limitadas, distribuírem em pequenas extensões geográficas e ocorrerem, majoritariamente, fora de Unidades de Conservação (UCs)¹³, espera-se que os anfíbios enfrentem consideráveis declínios populacionais e eminente risco de extinção diante da mudança climática no futuro^{14,15,10}. Apesar da potencial vulnerabilidade dos anfíbios em geral e de sua expressiva diversidade global, apenas espécies classificadas em alguma categoria de ameaça nas listas vermelhas têm sido priorizadas em planos de

conservação¹⁶. Devido à lacuna de conhecimento, os anfíbios Deficientes de Dados (DD; 25% das espécies descritas) são tradicionalmente negligenciados em pesquisas e planos de conservação¹⁷, embora influenciem a priorização de áreas para conservação¹⁸ e apresentem características de história de vida que às colocam em risco de extinção tão elevado quanto espécies classificadas em alguma categoria de ameaça^{19,20}.

Adicionalmente, *hotspots* de biodiversidade requerem especial atenção em estudos com anfíbios devido seus elevados índices de endemismo e níveis de ameaça já instalados²¹. O Cerrado brasileiro, por exemplo, um dos 25 *hotspots* globais de biodiversidade²² mais ricos em anuros (209 espécies de anuros descritas)²³, é pobremente amostrado (elevada lacuna de conhecimento)^{24,25} e pouco protegido (9% da área)^{26,27}. Por suas características, o Cerrado brasileiro é um modelo biogeográfico desejável para avaliar a vulnerabilidade dos anuros ameaçados e DDs diante da mudança climática prevista para o futuro.

Aqui, nós modelamos o nicho ecológico e a distribuição geográfica de anuros do Cerrado brasileiro classificados como ameaçados e DDs afim de avaliar a vulnerabilidade dessas espécies no final do século XXI. Especificamente, nós [1] analisamos a dinâmica de distribuição potencial das espécies até 2100, [2] avaliamos a eficácia das UCs em representar estas espécies em diferentes cenários de mudança climática, bem como [3] mapeamos e quantificamos a exposição dessas espécies à mudança climática em função da velocidade de deslocamento de habitat (*habitat traking*). Todos os anuros ameaçados (4 espécies) e DDs (12 espécies) do Cerrado brasileiro se tornarão mais vulneráveis, em algum nível, no futuro. A redução e deslocamento de habitat, os tornarão menos representados nas unidades de conservação e desafiarão suas populações a dispersarem longas distâncias para acompanhar as condições climáticas adequadas ao longo do tempo. Apesar do pouco conhecimento disponível, nós destacamos que é possível avaliar a vulnerabilidade de espécies DDs diante dos cenários climáticos futuros utilizando técnicas de baixo custo e com respostas rápidas, como os modelos de nicho ecológico, e reforçamos a importância de considerar nossa ignorância sobre a biodiversidade (espécies DDs) em planejamentos futuros da conservação.

2. Metodologia

2.1 Classificação das espécies Ameaçadas e Deficiente de Dados e Coleta de Dados

Seguindo a última lista oficial de espécies presentes no Cerrado brasileiro, com 209 espécies²³, o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção do ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade)⁴⁷ e as Lista de Espécies Quase Ameaçadas e Com Dados Insuficientes do MMA (Ministério do Meio Ambiente)⁴⁸, realizamos o levantamento das espécies de anuros classificadas em alguma categoria de Ameaça (“Críticamente em perigo”, “Em perigo” ou “Vulnerável”) e Deficiente de Dados presentes no bioma Cerrado. Ressaltamos que a escolha do Livro Vermelho do ICMBio e não da IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) como base para o levantamento de dados, foi devido a mesma ter sido recentemente publicada e possuir informações mais atualizadas sobre a classificação destas espécies. Ao todo, encontramos 2 espécies classificadas “Em perigo” (EN) (*Allobates goianus* e *Proceratophrys moratoi*), 1 espécie “Críticamente em Perigo” (CR) (*Allobates brunneus*) e 12 espécies classificadas como “Deficiente de Dados” (*Bokermannohyla izecksohni*, *Bokermannohyla ravidia*, *Chiasmocleis centralis*, *Crossodactylus cyclospinus*, *Dendropsophus cerradensis*, *Dendropsophus rhea*, *Hylodes otavioi*, *Hypsiboas phaeopleura*, *Ischnocnema penaxavantino*, *Leptodactylus tapiti*, *Physalaemus deimaticus* e *Scinax pinima*). Por termos apenas uma espécie no Cerrado classificado como “Quase ameaçada” (NT), *Phyllomedusa centralis*, aproximando-se de uma classificação “Vulnerável” (VU)⁴⁹, optamos por incluir esta espécie nas nossas análises. Por fim, delimitamos as espécies de anuros em dois grupos: “Ameaçadas (*Threatened*)” e “Deficiente de Dados (DD)”.

Realizamos a busca por registros de ocorrência das 16 espécies (4 ameaçadas e 12 DDs) em artigos científicos, literatura cinza (dissertações de mestrado, teses de doutoramento, relatórios, etc), bancos de dados online (SpeciesLink e GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*)), além de observações de campo pelo próprio grupo de pesquisa. Todos os pontos foram devidamente analisados e registros duplicados foram eliminados, totalizando 118 registros de ocorrência (1-17 registros por espécie).

Para construção dos modelos de nicho ecológico, utilizamos dados climáticos do presente (período entre 1960 e 1990) e futuro (período de 2070) obtidos a partir do banco de dados *WorldClim*⁵⁰, ambos da Versão 1.4 e com resolução de 30 segundos (~1 km). Para o futuro, consideramos simulações climáticas de quatro cenários de forçamento radiativos (*Representative Concentration Pathways* - RCP) divulgados no 5º Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC⁵, sendo um cenário mais otimista com baixa emissão de gases do efeito estufa (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário mais pessimista com alta emissão (RCP 8.5). Baixamos 19 variáveis bioclimáticas do presente e para o futuro 3 AOGCMs (*Atmosphere–Ocean General Circulation Models*), sendo eles CCSM4 (CC), HadGEM2-AO (HD) e MIROC ESM (MR). Para evitar colinearidade, realizamos uma PCA (*Principal Component Analysis*) com rotação ortogonal considerando as 19 bioclimáticas e usamos os seis primeiros eixos (explicaram 96.6% da variância original) como preditores dos modelos de nicho. A PCA foi realizada primeiramente para os dados climáticos do presente e seus coeficientes foram utilizados para obter os escores com os dados climáticos do futuro.

2.2 Modelos de Nicho Ecológico

Delimitamos nossa área de estudo buscando abranger todo o bioma Cerrado e áreas vizinhas, utilizando uma extensão de 65°W, 34°E, 35°S, 0. Para a construção dos modelos, utilizamos a proposta de Breiner e colaboradores^{28,51} intitulada “*Ensembles of Small Models*” (ESMs), fortemente aconselhada em casos de baixo número de pontos de ocorrência e um grande número de variáveis climáticas, como o caso deste estudo. Construímos modelos bivariados, combinando os 6 preditores resultantes da PCA em pares, totalizando 15 combinações climáticas. Devido às limitações para modelagem do nicho ecológico, separamos as espécies em dois grupos de acordo com a quantidade de pontos de ocorrência: um grupo com 5 espécies que possuíam 1 ou 2 pontos de ocorrência e outro grupo com 11 espécies que possuíam 3 a 17 pontos de ocorrência. Para o grupo com 1 ou 2 pontos de ocorrências, utilizamos apenas o método da Distância Euclidiana⁵² para modelar suas distribuições potenciais. Geramos, para cada uma das 15 combinações climáticas, um modelo para o presente e um modelo resultante da combinação de cada AOGCM com cada um dos RCPs, totalizando 195 mapas de

distribuição potencial por espécie. Devido ao baixo número de pontos de ocorrências, não foi possível avaliar os modelos gerados com o método da Distância Euclidiana.

Para o grupo de espécies com 3 a 17 pontos de ocorrência, utilizamos 5 métodos baseados em dados apenas de presença, sendo eles Bioclim⁵³, Enfa⁵⁴, Gower⁵², Maxent⁵⁵ e SVM⁵⁶. Para cada uma das 15 combinações climáticas e para cada um dos métodos, construímos o modelo para o presente e projetamos para o futuro combinando cada AOGCM e RCP. Ao todo, obtivemos 975 predições para cada espécie (15 combinações * 5 métodos para o presente + 15 combinações * 5 métodos * 3 AOGCMs * 4 RCPs para o futuro). Para avaliar o desempenho preditivo de cada modelo, utilizamos o método proposto por Pearson e colaboradores²⁹, conhecido como Jackknife “*leave one out*”, utilizado para avaliar modelos com poucos registros de ocorrência. Ao final, combinamos todas as predições para cada espécie e obtivemos os *full ensembles* para o presente e cada um dos 4 cenários climáticos futuros (RCPs).

2.3 Análises: Dinâmica de distribuição

Para analisar a dinâmica de distribuição das espécies ao longo do tempo, mensuramos as áreas ganhada e perdida, bem como a magnitude de redução/expansão da área de distribuição das espécies no futuro. Uma vez que interessamos em analisar apenas a dinâmica de distribuição ao longo do tempo e não a localização exata das espécies, estimamos a área de distribuição potencial de cada espécie utilizando um *threshold* arbitrário de 0,5%; cada espécie se distribui em 0,5% da área de estudo considerando o pior cenário climático (cenários com menores valores de adequabilidade). Com o *threshold*, obtivemos os mapas binários de distribuição geográfica de cada espécie no presente e em cada cenário climático futuro (RCPs).

2.4 Análises: Representatividade das espécies nas Unidades de Conservação (UCs)

Para todos os cenários climáticos, avaliamos a representatividade das espécies dentro das UCs utilizando a abordagem proposta por Alagador e colaboradores⁵⁷,

conhecida como *Species Representativeness Index* (SRI), que quantifica a proporção da célula da grid que está protegida e é adequada climaticamente para a espécie. Para obter o SRI, mapeamos todas as UCs e Terras Indígenas listadas no banco de dados do Ministério do Meio Ambiente Brasileiro (MMA) (disponível em <http://www.mma.gov.br>), além das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) listadas no banco de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (disponível em <http://www.icmbio.gov.br>). As UCs fora do Brasil foram obtidas do banco de dados *Protected Planet* (disponível em <http://www.protectedplanet.net>).

2.5 Análises: Velocidade biótica

A velocidade biótica foi calculada utilizando uma abordagem proposta por Hamann e colaboradores⁵⁸ e dividida em dois componentes: velocidade de avanço (*forward*) e de retrocesso (*backward*). A velocidade *forward* foi obtida pela menor distância que a espécie deveria dispersar entre uma célula da grid que perderá adequabilidade até uma célula da grid que será adequada no futuro. A velocidade *backward* foi obtida pela menor distância que a espécie deveria migrar para colonizar a área ganhada no futuro a partir de uma célula adequada no presente. Por fim, calculamos as médias de velocidade *forward* e *backward* para espécies ameaçadas e DDs em cada cenário climático futuro. A velocidade *forward* é um indicativo do risco de extinção diante da exposição das espécies sob a perda e o deslocamento para áreas adequadas em cenários climáticos futuros, enquanto que a velocidade *backward* representa a dificuldade de colonização das áreas que ganharão adequabilidade futuramente.

3 Resultados

Em geral, as espécies de anuros ameaçadas e DDs do Cerrado brasileiro são pouco conhecidas, apresentando de 1 a 17 pontos de ocorrência por espécie. Como

esperado, espécies classificadas como DDs (1-13 registros) apresentaram menos registros de ocorrência que espécies ameaçadas (9-17 registros) (Fig. 1).

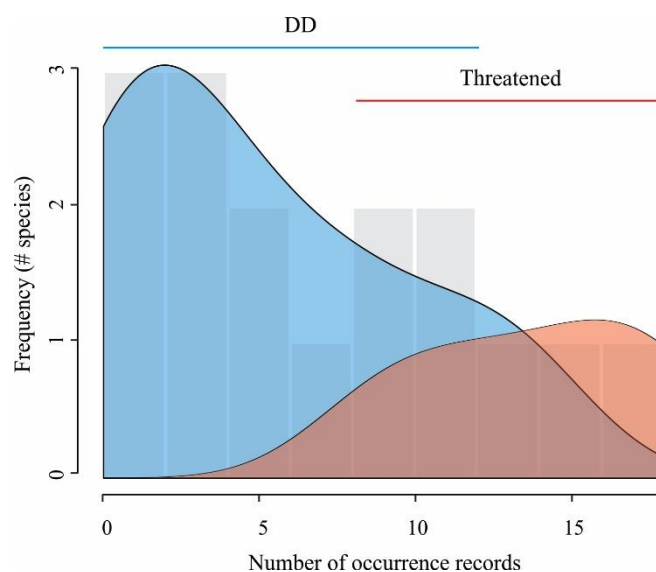


Figura 1: Distribuição de frequência do número de registros de ocorrência para as espécies DD e ameaçadas do Cerrado brasileiro.

Os modelos de nicho (*Ensembles of Small Models* - ESM²⁸), utilizados para obter a distribuição potencial das espécies e avaliar sua vulnerabilidade no futuro, apresentaram bom desempenho preditivo (estatística *d* pelo método Jackknife “*leave one out*”²⁹; Tabela S1) e foram capazes de prever a presença das espécies nos respectivos domínios morfoclimáticos que se distribuem atualmente (Material Suplementar – Fig S1 e S2 (Pres)).

No geral, os ESMs predisseram maiores adequabilidades atualmente para os anuros ameaçados e DDs na região sul-sudeste do Cerrado brasileiro, com deslocamento de habitat em direção à Mata Atlântica até o final do século XXI (Material Suplementar - Fig. S1 e S2) e redução de área para todas as espécies à medida que o cenário climático se torna pessimista (Fig. 2a). Embora os ESM predisseram uma redução generalizada de distribuição geográfica, as espécies ameaçadas perderiam maiores áreas no futuro que as DDs (Fig. 2b).

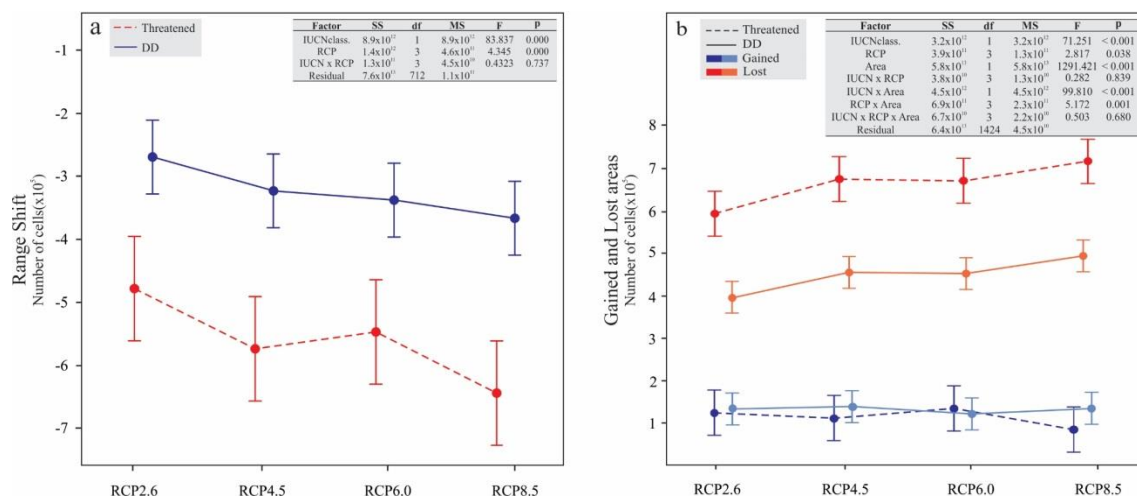


Figura 2: Dinâmica espaço-temporal de distribuição dos anfíbios DDs e ameaçados do Cerrado brasileiro. Variação no tamanho da distribuição geográfica das espécies entre o presente e futuro (a – área total; b – área ganha e perdida).

A elevada perda de áreas climaticamente adequadas para os anuros ameaçados e DDs é refletida nas velocidades de deslocamento de habitat necessárias para que as espécies se mantenham em condições climáticas toleráveis ao longo do tempo. Em todos os cenários climáticos futuros, as velocidades de deslocamento de habitat foram mais altas para espécies ameaçadas do que para espécies DDs, com a diferença se intensificando nos cenários de mudança climática mais severos (Fig. 3). As velocidades *forward*, que indicam risco de extinção ao longo das áreas perdidas, são maiores e mais amplamente distribuídas ao sul do Cerrado brasileiro para as espécies ameaçadas e a oeste para as DDs (Fig. 4a, c). Adicionalmente, as velocidades *backward* concentram-se a sudeste do Cerrado brasileiro e na Mata Atlântica (Fig. 4b, d), regiões em que as espécies serão desafiadas a colonizarem novas áreas no futuro. Para ambos os grupos, os riscos de extinção nas áreas que as espécies perderão adequabilidade climática ao longo do tempo (velocidade *forward*) superam os desafios para colonizarem as novas áreas que se tornarão adequadas no final do séc. XXI (velocidade *backward*) (Figs. 3 e 4).

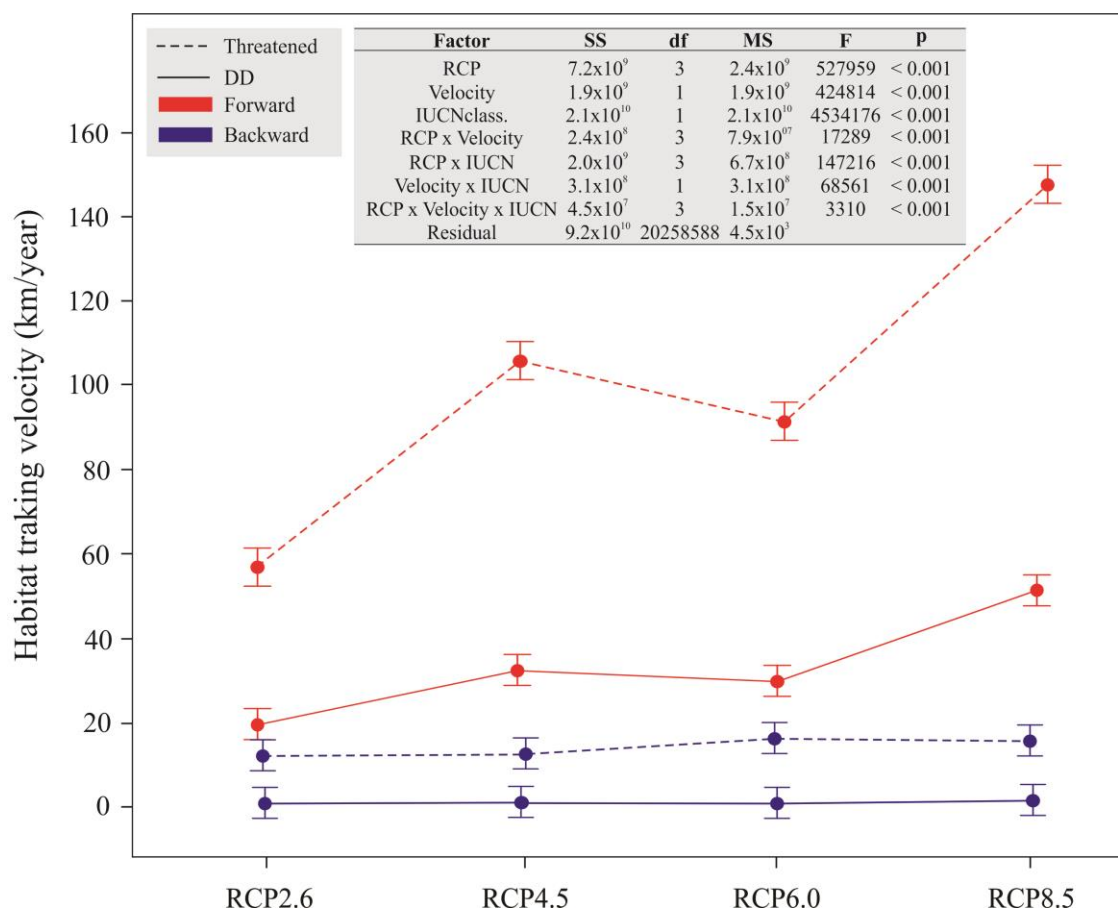


Figura 3: Velocidade de deslocamento de habitat (*habitat tracking*) necessárias para que espécies DD e ameaçadas mantenham-se em condições climáticas toleráveis. Valores de velocidade *forward* são maiores do que velocidades *backward*, indicando que o risco de extinção será maior do que a dificuldade de colonização e com efeito maior para espécies ameaçadas do que para DD.

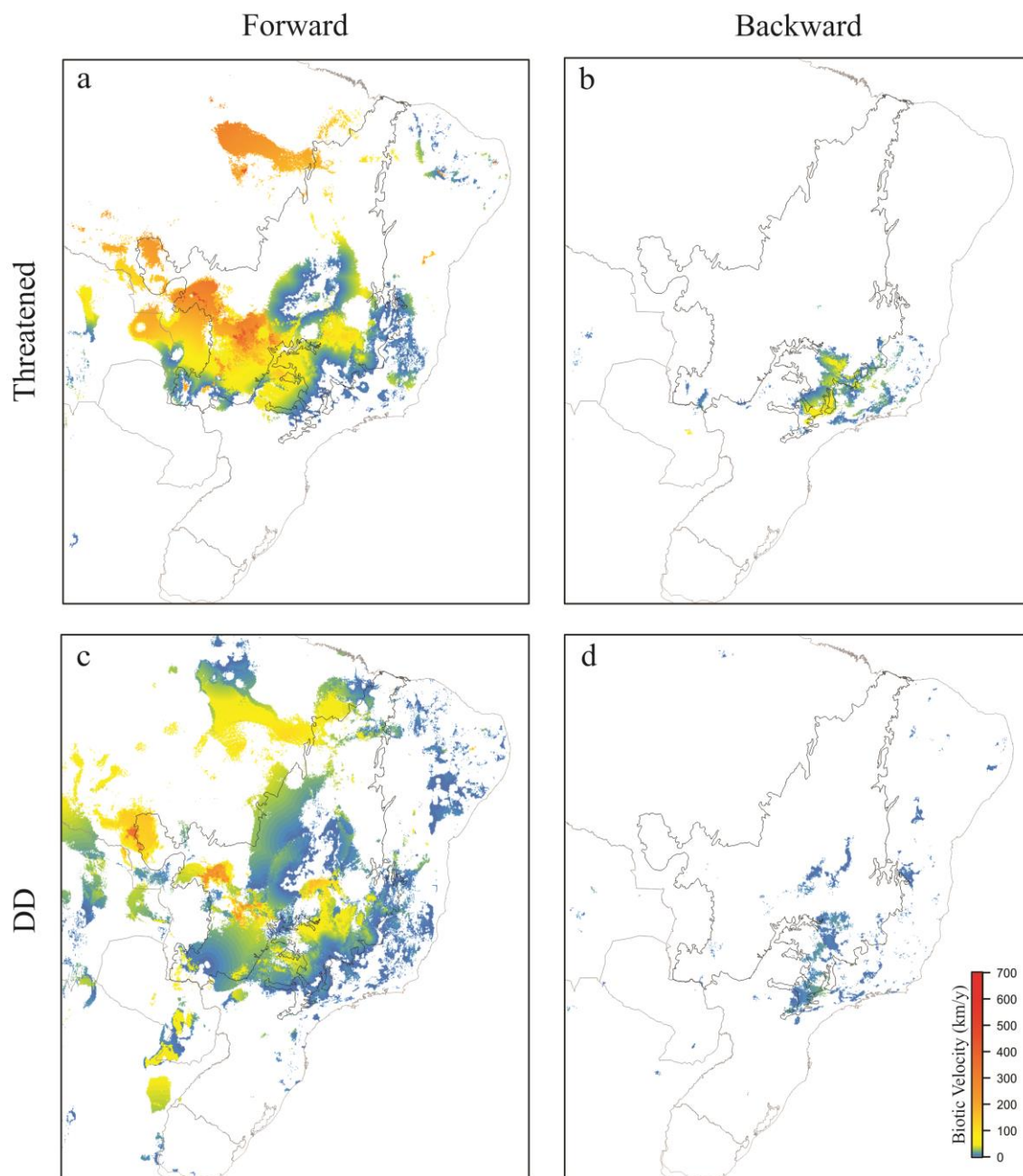


Figura 4: Distribuição espacial da média das velocidades de deslocamento de habitat *forward* (a,c; risco de extinção em áreas perdidas) e *backward* (b,d; dificuldade para colonizar áreas ganhadas) para as espécies ameaçadas (a,b) e DDs (c,d) do Cerrado brasileiro. Os valores representam a média das velocidades *forward* e *backward* entre as espécies de cada grupo (ameaçadas e DDs) para o cenário climático RCP6.0. A distribuição espacial das velocidades de deslocamento de habitat foram semelhantes entre todos os cenários climáticos (RCPs) e estão disponíveis no Material Suplementar (Figuras S3-S5).

Em função da redução da distribuição geográfica das espécies e seu deslocamento em direção à Mata Atlântica, todos os anuros ameaçados e DDs estarão menos representados dentro das UCs no futuro, especialmente nos cenários mais severos de mudança climática (Fig. 5a). A maioria das UCs tornarão menos adequadas para os anuros no futuro, especialmente os ameaçados, reduzindo a representatividade das espécies na rede de áreas protegidas atualmente (Fig. 6). Adicionalmente, o deslocamento de habitat em direção à Mata Atlântica fará com que as espécies se tornem mais representadas nas UCs daquele bioma no final do séc. XXI e menos representadas no Cerrado brasileiro à medida que o cenário de mudança climática se intensifica (Fig. 5b).

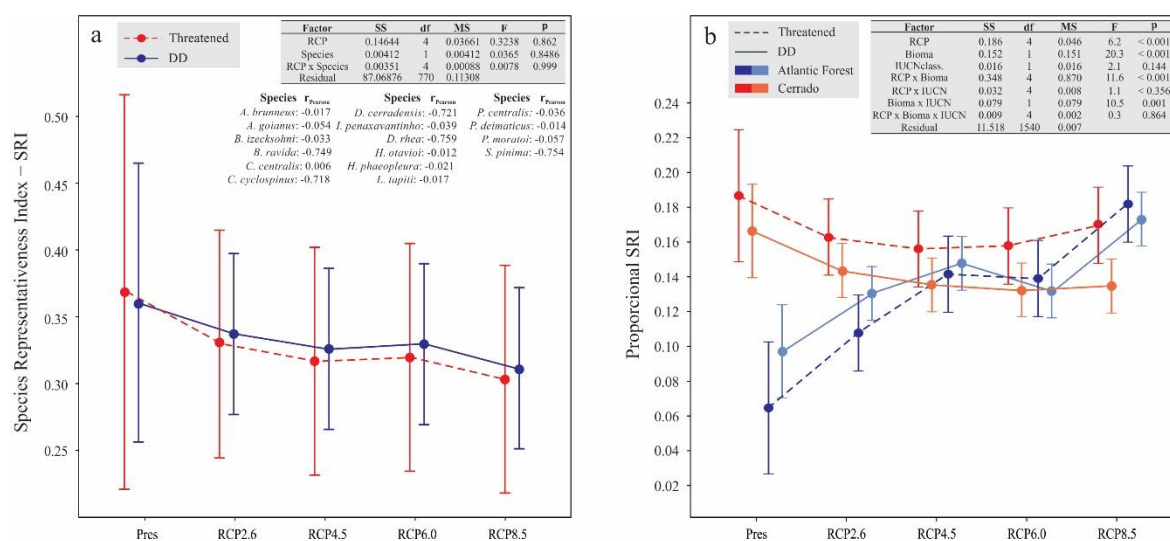


Figura 5: Representatividade (SRI) dos anfíbios ameaçados e DDs do Cerrado brasileiro em unidades de conservação no presente e para os quatro cenários climáticos futuros (RCPs). (a) Representatividade média em toda a área de distribuição das espécies e (b) proporção da representatividade na rede de áreas protegidas do Cerrado brasileiro e da Mata Atlântica. Em (a), note que os coeficientes de correlação de Pearson (em detalhe) indicam redução do SRI ao longo do tempo para todas as espécies. Em (b), note que os anfíbios tornarão mais representados nas UCs da Mata Atlântica, e menos representados no Cerrado brasileiro, em função do deslocamento de habitat ao longo do tempo.

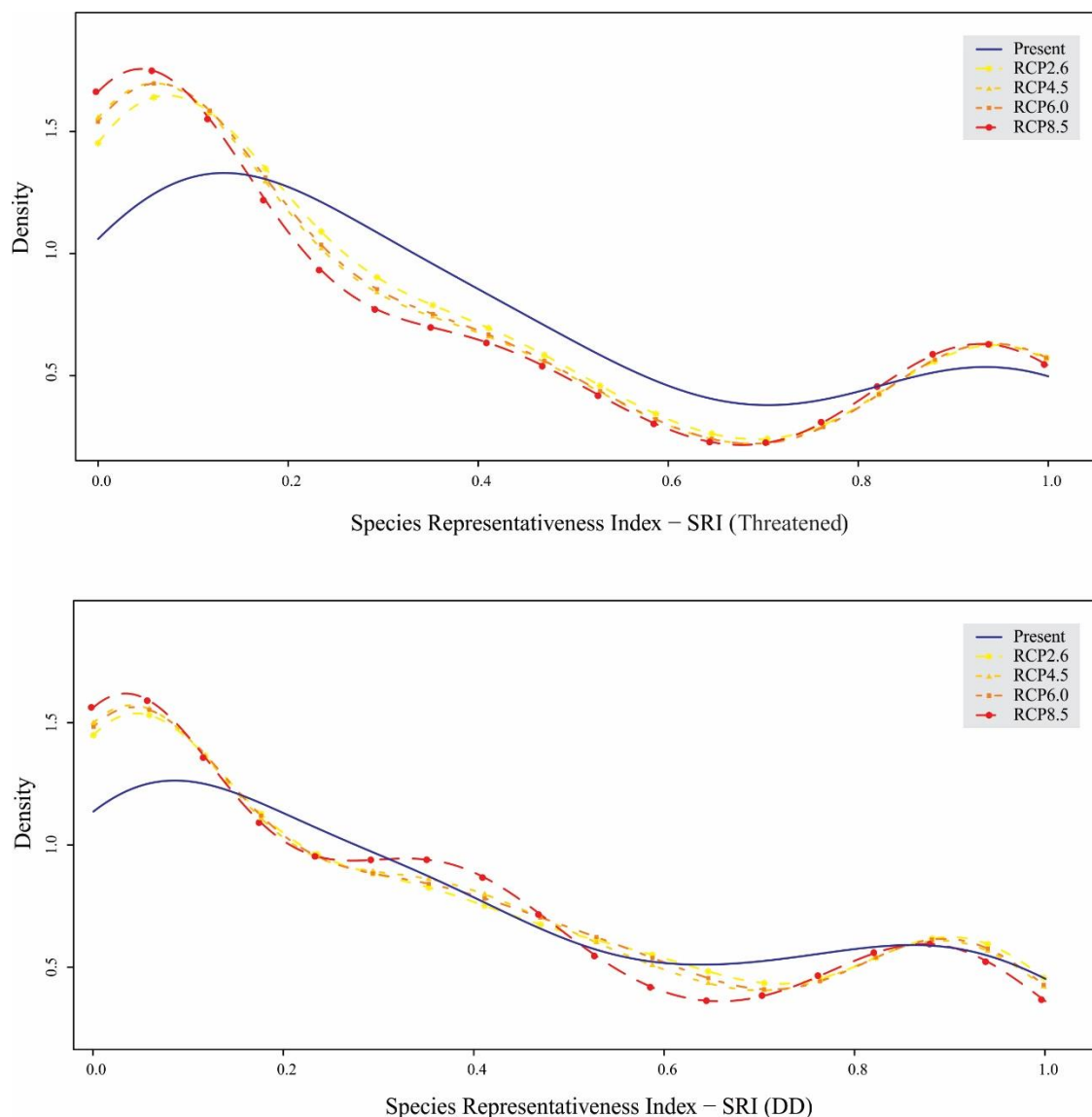


Figura 6: Densidade de valores de SRI para os anuros (a) ameaçados e (b) DDs do Cerrado brasileiro no presente e nos cenários climáticos futuros (RCPs). Em geral, os anuros estão pouco representados nas UCs (baixa densidade de SRI > 0,5) e tornarão menos representados no futuro (aumento da densidade de SRI < 0,2 nos cenários climáticos futuros).

4. Discussão

Nossos resultados mostram que ambos os anuros ameaçados e DDs do Cerrado brasileiro se tornarão mais vulneráveis à extinção em resposta à mudança no clima futuramente. Todas as espécies apresentaram contração e deslocamento de áreas

potencialmente adequadas para sua sobrevivência à medida que os cenários climáticos se tornam mais severos no final do séc. XXI. Conseqüentemente, o deslocamento das espécies no espaço geográfico forçará os anuros a saírem das UCs que se encontram atualmente, diminuindo sua representatividade na rede de áreas protegidas em 2100. Adicionalmente, a necessidade de dispersão por longas distâncias e com velocidades elevadas ao longo da paisagem antropizada da Mata Atlântica desafiaria cada vez mais os anuros a se manterem em condições climáticas toleráveis ao longo do tempo, bem como colonizarem novas áreas no futuro. O conjunto dessas respostas à mudança climática aumentaria o risco de extinção dos anuros ameaçados e DDs do Cerrado brasileiro, especialmente para as espécies com baixa capacidade de dispersão e reduzida tolerância climática.

O deslocamento no espaço geográfico, necessário para se manterem em condições climáticas toleráveis, será mais desafiador para as espécies ameaçadas situadas nas regiões do sul do Cerrado brasileiro e a oeste para as espécies DDs, já que é esperado que regiões de planície apresentem futuramente mudanças mais rápidas no clima, com elevação da temperatura e diminuição da precipitação^{30,31}. Ao serem obrigados a migrar por longas distâncias para áreas que futuramente serão climaticamente toleráveis, os anuros tornarão mais vulneráveis em cenários climáticos futuros e com possibilidades de serem extintas antes mesmo de alcançarem estes novos habitats, já que espécies com baixa capacidade de dispersão apresentam taxas mais altas de extinção³². Além do mais, áreas que ganharão adequabilidade climática no futuro estão situadas em sua maioria na região central da Mata Atlântica, uma região que foi considerada um importante refúgio para espécie no Pleistoceno Tardio durante eventos climáticos extremos, principalmente por estarem situadas em regiões montanhosas, mantendo condições climáticas mais estáveis ao longo do tempo³³. Futuramente é esperado que regiões montanhosas sirvam de refúgio para espécies diante dos cenários de mudança no clima^{34,35,36}. No entanto, a Mata Atlântica é um bioma demasiadamente antropizado atualmente, com apenas 11%-16%³⁷ (no máximo 28%³⁸) de cobertura florestal original distribuídas em pequenos fragmentos cercados por barreiras artificiais como pastagens, campos agrícolas, áreas urbanas e uma densa malha viária^{39,40}. Provavelmente estas espécies não conseguirão ultrapassar essas barreiras artificiais, já que a ausência de conectividade entre fragmentos mantém as populações isoladas e dificulta a dispersão entre os habitats atuais e os que ganharão adequabilidade no

futuro⁴¹. Além do mais, a abordagem utilizada para estimar a velocidade que as espécies deveriam percorrer ao longo do tempo para manter suas condições climáticas constantes é baseada em distâncias mínimas de um ponto no presente até a célula com adequabilidade no futuro e vice-versa. Ao considerar a capacidade de dispersão das espécies e as barreiras que podem encontrar durante o deslocamento, as velocidades reais de *habitat tracking* e o risco de extinção que essas espécies enfrentarão pode ainda aumentar consideravelmente em relação às nossas estimativas⁴².

Outro grande desafio para conservação das espécies está no fato de que as unidades de conservação são estáticas, enquanto a distribuição das espécies é dinâmica ao longo do tempo e do espaço, em resposta às mudanças climáticas^{43,44,45}. Eventualmente, o rastreamento por locais climaticamente adequados no final do séc. XXI fará com que os anuros ameaçados e DDs deixem de ter representatividade nas UCs, tornando as espécies menos protegidas e mais vulneráveis. Nestes casos, a intervenção humana como a migração assistida⁴⁶ das espécies que se encontram em áreas sem proteção ou dentro de UCs que perderão adequabilidade no futuro para estas UCs da Mata Atlântica que ganharão adequabilidade, seria uma alternativa visando salvaguardar estas espécies em habitats adequados e protegidos, tendo em vista diminuir a vulnerabilidade diante da mudança climática.

Nossos resultados corroboram e complementam outros estudos realizados com anuros sobre o real risco de extinção que as espécies DDs já podem estar enfrentando^{19,20} e a ameaça eminente que podem sofrer futuramente. Deste modo, reforçamos que, mesmo diante das incertezas deste grupo e dos poucos registros de ocorrências disponíveis de anuros DDs, é possível avaliar seu risco de extinção diante das mudanças no clima utilizando técnicas de baixo custo que nos fornecem respostas rápidas, como os modelos de nicho ecológico, para que possam ser tomadas medidas efetivas para a conservação destas espécies.

Entretanto, ao modelarmos o nicho ecológico de espécies com poucos registros de ocorrência, devemos tomar alguns cuidados. O método da distância euclidiana utilizado para modelar o nicho ecológico das espécies DDs gera incertezas quanto às projeções construídas com poucos registros de ocorrência. Apesar de preverem os domínios morfoclimáticos atuais das espécies DDs, a distância euclidiana superestima suas distribuições geográficas, refletindo menores estimativas de redução

e velocidade de deslocamento de habitat que outros métodos. Como consequência, a distribuição geográfica dos anuros DDs projetada pela distância euclidiana parece subestimar sua vulnerabilidade no futuro em relação aos anuros ameaçados. Portanto, sugerimos que estudos futuros avaliem o viés que o método de distância euclidiana traz para as análises de mudança climática e as incertezas ao estimar o risco de extinção de espécies DDs.

5. Referências

1. Parmesan, C. & Yohe, G. Globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **412**, 37–42 (2003).
2. Urban, M. C. Accelerating extinction risk from climate change. *Science* (80-.). **348**, 571–573 (2015).
3. Wake, D. B. & Vredenburg, V. T. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **105**, 11466–11473 (2008).
4. Bellard, C., Bertelsmeier, P., Leadley, W., Thuiller, F. C. Impacts of Climate Change on the Future of Biodiversity. *Ecol. Lett.* **15**, 365–377 (2012).
5. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K. & Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V. B. and P. M. M. *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press* (2013).
6. Berteaux, D. *et al.* Northern protected areas will become important refuges for biodiversity tracking suitable climates. *Sci. Rep.* **8**, 4623 (2018).
7. Monzón, J., Moyer-Horner, L. & Palamar, M. B. Climate Change and Species Range Dynamics in Protected Areas. *Bioscience* **61**, 752–761 (2011).
8. Brook, B. W., Sodhi, N. S. & Bradshaw, C. J. A. Synergies among extinction

- drivers under global change. *Trends Ecol. Evol.* **23**, 453–460 (2008).
9. Stork, N. E. Re-assessing current extinction rates. *Biodivers. Conserv.* **19**, 357–371 (2010).
 10. Blaustein, A. R. *et al.* Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations. *Diversity* **2**, 281–313 (2010).
 11. Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, Young BE, R. A. & Fischman DL, W. R. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. *Science* (80-). **VOL 306**, 1783–1786. (2004).
 12. Pimm, S. L. *et al.* The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* **344**, (2014).
 13. Nori, J. *et al.* Amphibian conservation, land-use changes and protected areas: A global overview. *Biol. Conserv.* **191**, 367–374 (2015).
 14. Bielby, J., Purvis, A., Cooper, N., Garner, T. W. J. & Cunningham, A. A. Predicting susceptibility to future declines in the world’s frogs. *Conserv. Lett.* **1**, 82–90 (2008).
 15. Duarte, H. *et al.* Can amphibians take the heat? Vulnerability to climate warming in subtropical and temperate larval amphibian communities. *Glob. Chang. Biol.* **18**, 412–421 (2012).
 16. Possingham, H. P. *et al.* Limits to the use of threatened species lists. *TRENDS In Ecol. Evol.* **17**, 503–507 (2002).
 17. Nori, J. & Loyola, R. On the worrying fate of data deficient amphibians. *PLoS One* **10**, 8–15 (2015).
 18. Trindade-Filho, J., de Carvalho, R. A., Brito, D. & Loyola, R. D. How does the inclusion of Data Deficient species change conservation priorities for amphibians in the Atlantic Forest? *Biodivers. Conserv.* **21**, 2709–2718 (2012).
 19. Morais, A. R. *et al.* Unraveling the conservation status of Data Deficient species. *Biol. Conserv.* **166**, 98–102 (2013).
 20. Howard, S. D. & Bickford, D. P. Amphibians over the edge: Silent extinction risk

- of Data Deficient species. *Divers. Distrib.* **20**, 837–846 (2014).
21. Nori, J., Villalobos, F. & Loyola, R. Global priority areas for amphibian research. *J. Biogeogr.* **in press**, (2018).
 22. Myers, N., Kent, J., da Fonseca, G. A. B., Mittermeier, R. A. & Mittermeier, C. G. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**, 853–858 (2002).
 23. Valdujo, P. H., Silvano, D. L., Colli, G. & Martins, M. Anuran Species Composition and Distribution Patterns in Brazilian Cerrado, a Neotropical Hotspot. *South Am. J. Herpetol.* **7**, 63–78 (2012).
 24. Bini, L. M., Diniz-Filho, J. A. F., Rangel, T. F. L. V. B., Bastos, R. P. & Pinto, M. P. Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: Knowledge gradients and conservation planning in a biodiversity hotspot. *Divers. Distrib.* **12**, 475–482 (2006).
 25. Oliveira, U. *et al.* The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity. *Divers. Distrib.* **22**, 1232–1244 (2016).
 26. Françoso, R. D. *et al.* Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Nat. e Conserv.* **13**, 35–40 (2015).
 27. Oliveira, U. *et al.* Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Sci. Rep.* **7**, 1–9 (2017).
 28. Breiner, F. T., Guisan, A., Bergamini, A. & Nobis, M. P. Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Methods Ecol. Evol.* **6**, 1210–1218 (2015).
 29. Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Townsend Peterson, A. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* **34**, 102–117 (2007).
 30. Colwell, R. K. *et al.* in the Wet Tropics. *Science (80-)*. **322**, 258–261 (2008).
 31. Vasconcelos, T. S. & Do Nascimento, B. T. M. Potential Climate-Driven Impacts on the Distribution of Generalist Treefrogs in South America. *Herpetologica* **72**,

- 23–31 (2016).
32. Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-Villela, O. & Whittaker, R. J. Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biol. Conserv.* **150**, 94–102 (2012).
 33. Carnaval, A. C., Hickerson, M. J., Haddad, C. F. B., Rodrigues, M. T. & Mortiz, C. Stability Predicts Genetic Diversity in the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Science* **323**, 785–790 (2009).
 34. Moritz, C. & Agudo, R. The Future of Species Under Climate. *Science* (80-.). **341**, 504–508 (2013).
 35. Araújo, M. B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D. & Thuiller, W. Climate change threatens European conservation areas. *Ecol. Lett.* **14**, 484–492 (2011).
 36. Lemes, P., Lima-Ribeiro, M. S., Rattis, L., Terribile, L. C. & Haddad, C. F. B. The vulnerability of endemic frog species in a rapidly changing world. *Sci. Reports in review*, (2019).
 37. Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J. & Hirota, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol. Conserv.* **142**, 1141–1153 (2009).
 38. Rezende, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspect. Ecol. Conserv.* **16**, 208–214 (2018).
 39. Ribeiro, M. C. *et al.* *The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot Milton*. (2011). doi:10.1007/978-3-642-20992-5
 40. Joly, C. A., Metzger, J. P. & Tabarelli, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist* **204**, 459–473 (2014).
 41. Nowakowski, A. J., Veiman-Echeverria, M., Kurz, D. J. & Donnelly, M. A. Evaluating connectivity for tropical amphibians using empirically derived resistance surfaces. *Ecol. Appl.* **25**, 928–942 (2015).

42. Dobrowski, S. Z. & Parks, S. A. Climate change velocity underestimates climate change exposure in mountainous regions. *Nat. Commun.* **7**, 12349 (2016).
43. Loyola, R. D., Trindade-filho, J., Lemes, P. & Dobrovolski, R. Climate change might drive alien species into reserves : a case study of the American Bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot. *Alytes* **29**, 61–74 (2012).
44. Lemes, P., Melo, A. S. & Loyola, R. D. Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. *Biodivers. Conserv.* **23**, 357–368 (2014).
45. Araújo, M. B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & Williams, P. H. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Glob. Chang. Biol.* **10**, 1618–1626 (2004).
46. McLACHLAN, J. S., HELLMANN, J. J. & SCHWARTZ, M. W. A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change. *Conserv. Biol.* **21**, 297–302 (2007).
47. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Livro Vermelho* (2016).
48. Ministério do Meio Ambiente. Lista de Espécies Quase Ameaçadas e Com Dados Insuficientes. (2014). Available at: <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/lista-de-especies-dados-insuficientes>.
49. Haddad, C. F. B. *et al.* Avaliação do Risco de Extinção de *Phyllomedusa centralis* Bokermann, 1965, no Brasil. Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira. *ICMBio* (2011). Available at: <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/carga-estado-de-conservacao/8250-anfibios-phyllomedusa-centraliscao/8250-anfibios-phyllomedusa-centralis>.
50. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* **25**, 1965–1978 (2005).
51. Lomba, A. *et al.* Overcoming the rare species modelling paradox: A novel

- hierarchical framework applied to an Iberian endemic plant. *Biol. Conserv.* **143**, 2647–2657 (2010).
52. Carpenter, G., Gillison, A. N. & Winter, J. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodivers. Conserv.* **2**, 667–680 (1993).
 53. Busby, J. R. *BIOCLIM - a bioclimate analysis and prediction system*. In *Margules CR & Austin MP (eds.) Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis* (1991). doi:10.1590/2175-7860201869437
 54. Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D. & Perrin, N. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* **83**, 2027–2036 (2002).
 55. Elith, J. *et al.* A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.* **17**, 43–57 (2011).
 56. Vapnik, V. N. *The Nature Of Statistical Learning-Springer*. (1995).
 57. Alagador, D., Martins, M. J., Cerdeira, J. O., Cabeza, M. & Araújo, M. B. A probability-based approach to match species with reserves when data are at different resolutions. *Biol. Conserv.* (2011). doi:10.1016/j.biocon.2010.11.011
 58. Hamann, A., Roberts, D. R., Barber, Q. E., Carroll, C. & Nielsen, S. E. Velocity of climate change algorithms for guiding conservation and management. *Glob. Chang. Biol.* **21**, 997–1004 (2015).

6. Material Suplementar

Tabela 1: Métrica de acurácia dos modelos de nicho (ESMs) para cada espécie, obtidas pelo método de avaliação *jackknife leave-one-out*.

<i>Allobates brunneus</i>			<i>Allobates goianus</i>			<i>Bokermannohyla izecksohni</i>		
comb1			comb1			comb1		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,583333244	2,24E-07	bioclim	5,108154686	0,000351477	bioclim	0	1
enfa	6,979745626	2,38E-06	enfa	6,536219069	8,25E-06	enfa	0,451179707	0,850428869
gower	7,101698244	4,42E-07	gower	5,316429097	0,000590888	gower	0	1
maxent	3,081964824	0,176551831	maxent	2,76E+00	1,98E-01	maxent	1,713809117	0,038058386
svm	7,844014313	1,34E-08	svm	6,815116781	2,05E-07	svm	0,997441493	0,002946355
comb2			comb2			comb2		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,53E+00	5,58E-07	bioclim	5,238896495	0,000139116	bioclim	0	1
enfa	6,823958406	2,16E-05	enfa	2,00879429	0,491139758	enfa	0,327349526	0,908578351
gower	6,852664809	3,10E-06	gower	5,742921402	5,92E-05	gower	0	1
maxent	6,200800042	0,000191482	maxent	5,806798167	7,80E-05	maxent	1,947172337	0,001878528
svm	9,723784904	2,16E-16	svm	1,390822466	0,493601654	svm	0,989896615	0,019791369
comb3			comb3			comb3		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,713757308	1,66E-08	bioclim	5,636797827	2,37E-06	bioclim	0,963761335	0,057259182
enfa	6,466923385	7,94E-05	enfa	3,964466886	0,03877946	enfa	0,723336519	0,70064331
gower	7,333771876	6,84E-08	gower	6,379202034	7,57E-07	gower	0,963767688	0,057027528
maxent	5,011662846	0,007281772	maxent	4,692623702	0,006417687	maxent	1,587599838	0,098549882
svm	5,384311978	0,001230899	svm	6,057535125	1,24E-05	svm	1,7838933	0,028948166
comb4			comb4			comb4		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,840858526	3,15E-10	bioclim	4,920164715	0,00085725	bioclim	0	1
enfa	1,61E+00	0,440769062	enfa	5,578343203	0,000384689	enfa	0,39409914	0,884969077
gower	7,676945702	1,38E-10	gower	6,436787179	8,07E-06	gower	0	1
maxent	7,618575726	5,08E-10	maxent	3,760773323	0,017201078	maxent	1,96664197	0,000431561
svm	7,938230494	2,43E-16	svm	6,87E+00	2,16E-07	svm	1,993696301	1,04E-05
comb5			comb5			comb5		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,783644814	1,53E-09	bioclim	5,450161333	2,55E-05	bioclim	0	1
enfa	7,655872136	2,87E-07	enfa	5,256817226	0,000961532	enfa	0,472765456	0,829044847
gower	7,576876891	1,27E-09	gower	6,014341166	1,63E-05	gower	0	1
maxent	4,746115308	0,006375505	maxent	4,200414472	0,009471098	maxent	1,756129213	0,019223311
svm	6,193837858	0,000104542	svm	6,364477266	1,59E-05	svm	2,913587922	1,86E-05
comb6			comb6			comb6		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,609498231	1,48E-07	bioclim	6,012649902	1,89E-05	bioclim	0	1
enfa	6,297306199	0,000141013	enfa	3,688417686	0,033065393	enfa	0,046767797	0,997772099
gower	6,736503258	4,78E-06	gower	5,631568247	9,54E-05	gower	0	1
maxent	6,404373165	0,000100374	maxent	6,446401197	1,15E-05	maxent	1,944601572	0,001351038
svm	8,661218935	8,43E-13	svm	6,338713776	9,86E-07	svm	0,999033883	0,001871925
comb7			comb7			comb7		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,72706471	1,25E-06	bioclim	6,582985613	5,31E-08	bioclim	0	1
enfa	5,609313096	0,001496751	enfa	3,7547837	0,056947989	enfa	0,467934332	0,842255583
gower	7,161863281	3,89E-07	gower	6,446793657	4,18E-07	gower	0	1
maxent	5,643017594	0,000856582	maxent	5,269589626	0,000943333	maxent	1,55505393	0,085937378

svm	8,084042106	5,59E-08	svm	6,261194149	2,39E-06	svm	1,934433134	0,00208146
comb8			comb8			comb8		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,920657035	9,09E-10	bioclim	5,071379945	0,000363653	bioclim	0,973951516	0,038055408
enfa	2,786411809	0,133471022	enfa	6,113186335	6,65E-05	enfa	1,274930877	0,29208548
gower	7,814062078	1,26E-12	gower	5,291809164	0,000604607	gower	0	1
maxent	7,53586777	1,73E-09	maxent	3,496258297	0,032662062	maxent	1,777606602	0,01900172
svm	7,774570629	3,81E-12	svm	5,352893699	0,000483647	svm	1,976642722	0,000321889
comb9			comb9			comb9		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,83359211	2,35E-10	bioclim	5,117342331	0,000387469	bioclim	0,951399112	0,083837933
enfa	7,103098698	7,83E-07	enfa	5,024520252	0,002014352	enfa	0,814565851	0,618683501
gower	7,624657515	4,83E-10	gower	6,571826899	5,37E-06	gower	0,969194392	0,033401421
maxent	4,430929359	0,010690457	maxent	4,048383809	0,015432503	maxent	1,73516365	0,02041554
svm	7,149960987	2,73E-07	svm	5,098500939	0,001479073	svm	0,999209801	0,001401845
comb10			comb10			comb10		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,735563537	1,14E-06	bioclim	6,639950034	1,86E-08	bioclim	0	1
enfa	3,955164527	0,023285603	enfa	3,953892745	0,020512237	enfa	0,043424997	0,998442684
gower	7,04372744	1,29E-06	gower	5,607908079	1,26E-06	gower	0	1
maxent	5,998551137	0,0004072	maxent	6,56889517	5,69E-06	maxent	1,92929554	0,002985665
svm	7,433092363	8,10E-09	svm	7,830853211	2,03E-13	svm	2,979826874	2,43E-07
comb11			comb11			comb11		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,964338214	8,36E-12	bioclim	5,182789204	0,000142042	bioclim	0	1
enfa	0,176147002	0,984359363	enfa	1,881663812	0,326153868	enfa	0,047163836	0,99788774
gower	7,894248035	1,12E-14	gower	5,638089562	0,000114353	gower	0	1
maxent	7,859242586	2,96E-13	maxent	6,342391948	1,65E-05	maxent	1,940010881	0,001664063
svm	7,988953046	3,78E-22	svm	8,40190378	2,46E-11	svm	0,996993019	0,003293418
comb12			comb12			comb12		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,807919443	7,45E-10	bioclim	5,577132626	5,38E-06	bioclim	0	1
enfa	6,094168309	0,000255021	enfa	4,18790747	0,025031634	enfa	0,067858901	0,994905412
gower	7,508608798	4,65E-09	gower	5,390639747	4,33E-05	gower	0	1
maxent	6,60077812	4,13E-05	maxent	6,466497818	9,91E-06	maxent	1,935475131	0,001654536
svm	8,808871064	4,62E-15	svm	6,38763044	8,43E-07	svm	1,975389999	0,000171145
comb13			comb13			comb13		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	7,850404182	5,00E-13	bioclim	5,215352113	0,000160608	bioclim	0	1
enfa	0,756858387	0,936871259	enfa	3,394571059	0,046021633	enfa	0,360270445	0,904259945
gower	7,822454065	1,60E-12	gower	5,819554729	5,90E-05	gower	0	1
maxent	7,530404468	2,60E-09	maxent	4,821736971	0,003244455	maxent	1,684685826	0,051690323
svm	7,700922272	6,75E-11	svm	7,645405551	2,79E-08	svm	1,935643801	0,002549567
comb14			comb14			comb14		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,841703309	3,59E-08	bioclim	5,569906744	6,71E-06	bioclim	0	1
enfa	7,73459572	1,77E-07	enfa	4,599690488	0,007955759	enfa	0,272566273	0,940292797
gower	7,667057874	1,92E-10	gower	6,335128753	1,34E-06	gower	0	1
maxent	5,491458044	0,001293996	maxent	5,248741909	0,001020609	maxent	1,607013814	0,046732308
svm	8,078144468	9,00E-09	svm	7,507374509	8,94E-08	svm	0	1
comb15			comb15			comb15		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,901626213	2,31E-09	bioclim	5,921791823	2,41E-05	bioclim	0,968698314	0,043899956
enfa	5,426807723	0,001565052	enfa	5,745114919	0,000190735	enfa	0,812826804	0,543587975
gower	7,84268428	4,47E-13	gower	5,536274099	0,000172023	gower	0	1
maxent	7,592557934	7,73E-10	maxent	4,424208056	0,006212385	maxent	1,80219987	0,012079451
svm	6,880047532	3,02E-11	svm	5,228116013	0,000114283	svm	1,986510506	0,000100307

<i>Chiasmocleis centralis</i>			<i>Hylodes otavioi</i>			<i>Hypsiboas phaeopleura</i>		
comb1			comb1			comb1		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,998786201	0,003439685	bioclim	7,529308515	1,41E-08	bioclim	5,792187307	3,81E-08
enfa	0,884525657	0,659203406	enfa	5,884178205	0,000924364	enfa	5,196948368	0,000437284
gower	0,998379782	0,004350701	gower	7,489509702	2,77E-08	gower	5,675014719	3,46E-07
maxent	1,769795609	0,067652918	maxent	8,275536657	5,21E-09	maxent	2,453004655	0,291209742
svm	2,86806202	0,000302623	svm	10,22024811	1,64E-13	svm	4,758470999	3,77E-06
comb2			comb2			comb2		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0	1	bioclim	7,8886115	1,39E-13	bioclim	5,864771477	2,75E-09
enfa	1,813110546	0,170955809	enfa	4,720277997	0,022153324	enfa	3,745146774	0,02200222
gower	0	1	gower	7,875212381	3,40E-13	gower	5,817024945	6,88E-09
maxent	1,949868822	0,042890352	maxent	9,869322349	1,09E-18	maxent	5,48083961	3,00E-06
svm	2,911317273	7,55E-05	svm	8,845724995	4,08E-15	svm	3,001170222	0,015719603
comb3			comb3			comb3		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0	1	bioclim	7,143037637	1,64E-06	bioclim	4,939700206	1,21E-08
enfa	1,677134326	0,227486501	enfa	4,786867353	0,00844469	enfa	3,76747682	0,021249892
gower	0	1	gower	7,874361514	2,22E-07	gower	5,876310213	1,59E-09
maxent	2,064154511	0,092023929	maxent	7,674419229	4,99E-07	maxent	4,595556504	0,002574756
svm	2,851316432	0,000306926	svm	8,265348624	3,18E-09	svm	5,789743335	1,96E-08
comb4			comb4			comb4		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,974559355	0,000618344	bioclim	6,816315815	2,12E-09	bioclim	5,962908499	1,35E-12
enfa	1,739565985	0,201346496	enfa	7,040763767	3,85E-05	enfa	3,32701147	0,046779151
gower	0	1	gower	8,712121611	1,42E-12	gower	5,948503265	6,24E-12
maxent	1,375646181	0,275532475	maxent	8,643088104	8,47E-12	maxent	4,325988443	0,005162123
svm	2,926320325	1,60E-05	svm	7,292433109	4,84E-06	svm	5,901486713	2,00E-10
comb5			comb5			comb5		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,998707548	0,00406315	bioclim	6,901748979	2,05E-11	bioclim	3,870294551	6,77E-05
enfa	1,81976447	0,17072402	enfa	1,565120986	0,465495433	enfa	4,082413119	0,010666209
gower	0,997921733	0,006479193	gower	8,834792576	6,63E-15	gower	5,692480802	2,81E-07
maxent	1,313548193	0,35768536	maxent	7,784744883	3,25E-11	maxent	3,348565901	0,074580313
svm	1,905226358	0,002476106	svm	8,72813033	5,24E-13	svm	6,939475968	1,59E-14
comb6			comb6			comb6		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,996376948	0,011209094	bioclim	8,844784738	4,02E-15	bioclim	5,61407541	1,55E-06
enfa	1,328196724	0,400468286	enfa	1,642089326	0,673178266	enfa	3,172376486	0,060875057
gower	0,995374501	0,013495524	gower	8,834980484	6,75E-15	gower	5,569906386	1,57E-06
maxent	2,305333734	4,00E-02	maxent	9,810691002	4,45E-17	maxent	5,242932319	4,19E-05
svm	2,79E+00	0,000623156	svm	9,888565865	2,11E-20	svm	7,617300992	3,64E-12
comb7			comb7			comb7		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,991271835	0,027991823	bioclim	6,858643874	1,41E-05	bioclim	4,920008304	4,86E-08
enfa	1,308211238	0,412697987	enfa	5,202237989	0,00893427	enfa	3,04183046	0,073925193
gower	0	1	gower	6,656697859	4,56E-05	gower	5,839322868	6,62E-09
maxent	2,305584368	0,040243606	maxent	7,311751252	7,94E-06	maxent	4,581936369	0,003004816
svm	1,507750325	0,177020844	svm	8,25510556	2,25E-07	svm	6,847786171	1,05E-11
comb8			comb8			comb8		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor

bioclim	0,986874332	0,042989976	bioclim	7,861017962	8,46E-13	bioclim	5,898335132	5,37E-10
enfa	1,27052532	0,433148271	enfa	7,55726919	5,55E-06	enfa	3,754154028	0,021783488
gower	0	1	gower	7,819100169	6,65E-12	gower	5,834547042	8,63E-09
maxent	1,532094122	0,229484803	maxent	8,722205132	7,31E-13	maxent	4,20659272	0,010528514
svm	1,841114261	0,024311335	svm	9,430279822	1,80E-12	svm	6,658763778	1,99E-09
comb9			comb9			comb9		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,988705991	0,000127755	bioclim	7,797868582	1,29E-11	bioclim	3,700641573	0,00164111
enfa	1,218493046	0,463176511	enfa	1,342070804	0,780980886	enfa	4,725708191	0,001980549
gower	0,992142656	0,01849233	gower	8,683775634	1,94E-12	gower	5,286689108	4,11E-05
maxent	2,305584368	0,040243606	maxent	8,497947772	1,54E-10	maxent	3,079176621	0,112059385
svm	2,710672211	0,001483752	svm	9,344914394	3,55E-12	svm	4,686240365	6,78E-06
comb10			comb10			comb10		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,946108418	0,003097265	bioclim	7,871386209	4,57E-13	bioclim	4,941597633	9,88E-09
enfa	2,329137519	0,035438485	enfa	0,061905337	0,997904613	enfa	5,113052294	0,000607903
gower	0,961969315	0,124900067	gower	7,83596074	3,04E-12	gower	5,916188216	8,83E-11
maxent	1,750083485	0,192569682	maxent	9,84630778	5,81E-18	maxent	5,378664705	1,32E-05
svm	1,849861574	0,019565754	svm	3,336832366	0,020454539	svm	5,99083034	1,59E-16
comb11			comb11			comb11		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0	1	bioclim	7,975521088	8,45E-19	bioclim	5,974214677	1,39E-13
enfa	2,47093165	0,01844377	enfa	5,155265103	0,004218255	enfa	5,022143838	0,000856988
gower	0	1	gower	6,97268394	2,98E-15	gower	5,967945249	2,41E-13
maxent	1,164428141	0,26978589	maxent	9,947671726	9,21E-23	maxent	5,398059891	9,23E-06
svm	1,875112611	0,010328968	svm	8,91113876	3,63E-17	svm	5,993417033	3,04E-17
comb12			comb12			comb12		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,987842418	0,040507851	bioclim	7,9408579	8,10E-16	bioclim	3,88215139	4,49E-05
enfa	2,515700191	0,014497255	enfa	1,119589626	0,644852341	enfa	4,822756598	0,001613487
gower	0	1	gower	8,900311212	7,06E-17	gower	5,766675704	4,19E-08
maxent	1,774162063	0,185466295	maxent	9,85093641	3,52E-18	maxent	5,286376822	3,05E-05
svm	1,823592164	0,039763676	svm	9,924747711	3,35E-21	svm	5,729545995	8,27E-08
comb13			comb13			comb13		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0	1	bioclim	7,594510928	5,42E-09	bioclim	4,937908813	1,35E-08
enfa	2,423489709	0,022713036	enfa	6,168815533	0,000451461	enfa	4,821635232	0,0010618
gower	0	1	gower	9,388274339	1,91E-12	gower	5,894977299	5,94E-10
maxent	0	1	maxent	6,53218754	4,41E-07	maxent	4,568857052	0,002642482
svm	0,914585447	0,259307479	svm	8,707049695	2,75E-08	svm	5,6940425	3,56E-05
comb14			comb14			comb14		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,940954002	0,204599861	bioclim	6,660716414	1,14E-07	bioclim	3,92E+00	1,11E-05
enfa	2,672032166	0,004346123	enfa	1,332756365	0,556595971	enfa	4,45E+00	0,004474476
gower	0	1	gower	9,37784632	5,19E-12	gower	5,80E+00	2,21E-08
maxent	0	1	maxent	9,109284463	2,33E-10	maxent	4,491005721	0,003622379
svm	2,189777874	0,050244662	svm	9,814666964	1,98E-11	svm	6,859473087	3,11E-12
comb15			comb15			comb15		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,924929534	0,257672616	bioclim	7,973178139	1,77E-18	bioclim	3,935382787	4,19E-06
enfa	1,658021987	0,136340967	enfa	2,245014254	0,452314699	enfa	4,371148908	0,005588096
gower	0	1	gower	9,94932004	7,16E-23	gower	5,807236262	2,10E-08
maxent	0	1	maxent	9,909694372	2,29E-20	maxent	4,432895149	0,004611083
svm	2,774317222	0,000456536	svm	9,912683188	1,92E-20	svm	7,568995746	6,84E-11

<i>Ischnocnema penaxavantinho</i>			<i>Leptodactylus tapiti</i>			<i>Phyllomedusa centralis</i>		
comb1			comb1			comb1		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,960869962	0,002465846	bioclim	5,900630835	3,95E-10	bioclim	9,656769175	4,07E-09
enfa	3,501289141	0,001014156	enfa	5,050332598	0,000755047	enfa	9,93E+00	5,84E-09
gower	2,924195976	8,39E-05	gower	5,866672304	1,95E-09	gower	9,442459685	2,13E-08
maxent	2,378386601	0,084972475	maxent	3,993555369	0,007136071	maxent	1,01E+01	3,00E-09
svm	3,649090345	0,000215639	svm	6,962726765	9,04E-17	svm	7,830135401	1,94E-06
comb2			comb2			comb2		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	2,950992156	2,75E-05	bioclim	5,959819286	1,59E-12	bioclim	8,207387304	3,93E-06
enfa	1,857708896	0,229166371	enfa	3,061897015	0,130442596	enfa	8,69E+00	1,52E-06
gower	2,92830061	7,48E-05	gower	5,96E+00	2,05E-12	gower	8,523738374	2,52E-06
maxent	3,679959573	0,000175593	maxent	6,819660405	4,13E-11	maxent	8,10E+00	7,67E-06
svm	2,936530549	4,58E-05	svm	2,54E+00	0,145093412	svm	9,21E+00	6,06E-08
comb3			comb3			comb3		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,939376019	0,215932889	bioclim	4,946545886	4,42E-09	bioclim	8,360784866	1,67E-08
enfa	2,994937122	0,013113162	enfa	3,557028578	0,030795978	enfa	9,73E+00	2,03E-08
gower	1,863994341	0,024858809	gower	5,898990485	2,70E-10	gower	9,98598642	1,63E-10
maxent	2,375868181	0,085352263	maxent	5,525186521	0,000101637	maxent	9,96E+00	3,02E-10
svm	4,286345683	5,87E-05	svm	6,840103851	1,00E-11	svm	9,141496073	9,74E-08
comb4			comb4			comb4		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,930877192	0,233141639	bioclim	5,936478382	2,28E-11	bioclim	7,720104853	3,74E-06
enfa	2,746378469	0,032656609	enfa	4,374260312	0,005707574	enfa	5,56E+00	0,009448986
gower	1,842614664	0,024904193	gower	5,897505472	3,15E-10	gower	9,364266361	1,34E-08
maxent	2,878192966	0,014137208	maxent	4,834327816	0,001474875	maxent	1,08E+01	3,49E-12
svm	3,304797301	0,002563264	svm	5,609787789	3,84E-07	svm	9,77832307	5,44E-10
comb5			comb5			comb5		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,872512227	0,024234925	bioclim	4,906551828	7,89E-08	bioclim	8,399614251	8,18E-09
enfa	2,83068642	0,02759399	enfa	3,938607026	0,014462591	enfa	1,07E+01	1,90E-11
gower	1,843061618	0,035377534	gower	4,882494457	2,66E-07	gower	9,230535646	1,11E-09
maxent	1,842753359	0,216509461	maxent	4,582812917	0,002992949	maxent	9,20731742	1,55E-09
svm	4,026544294	0,000274619	svm	6,561491491	1,45E-08	svm	9,071446608	1,42E-07
comb6			comb6			comb6		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,955083995	0,003835995	bioclim	5,828704345	1,09E-08	bioclim	6,949770304	0,000555544
enfa	2,131683498	0,132989778	enfa	3,136214684	0,063900317	enfa	6,979285608	0,000158043
gower	1,933983496	0,006581344	gower	5,80E+00	2,07E-08	gower	6,786622535	0,000643133
maxent	2,76668152	0,003676418	maxent	6,559368216	2,49E-08	maxent	5,832646484	0,004825042
svm	3,751677574	5,78E-05	svm	4,676238629	3,22E-05	svm	10,25056095	3,74E-10
comb7			comb7			comb7		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,859730164	0,030167344	bioclim	4,944503949	4,17E-09	bioclim	7,751636413	5,51E-06
enfa	3,644155781	0,000270014	enfa	2,426794659	0,303542315	enfa	8,180769011	8,53E-06
gower	2,764260008	0,003370744	gower	5,886396598	4,07E-10	gower	9,08015625	2,02E-07
maxent	0	1	maxent	5,481724301	0,000121538	maxent	7,594521487	1,06E-05
svm	2,622199584	0,007500834	svm	5,825725997	6,37E-09	svm	9,596587942	2,52E-08
comb8			comb8			comb8		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,911498202	0,011903594	bioclim	5,783363667	3,16E-08	bioclim	7,423406671	2,23E-05
enfa	2,848628985	0,017892072	enfa	4,07E+00	0,014127467	enfa	3,150872253	0,104212323
gower	2,846118529	0,000651602	gower	5,738942488	9,44E-08	gower	9,877099608	2,59E-09
maxent	2,815822779	0,017925289	maxent	4,774788603	0,001730948	maxent	11,07812756	2,86E-13
svm	4,39641954	1,45E-05	svm	7,397111491	9,23E-10	svm	1,02E+01	7,27E-12
comb9			comb9			comb9		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,820942477	0,048090483	bioclim	4,717876618	1,69E-05	bioclim	8,19E+00	1,13E-07
enfa	3,376764057	0,001691705	enfa	4,591706441	0,003037537	enfa	9,740081212	1,55E-08

gower	1,76590519	0,075554201	gower	4,688230494	3,09E-05	gower	8,938040259	3,22E-08
maxent	1,097907417	0,460907679	maxent	4,377417531	0,00508769	maxent	9,18E+00	1,03E-07
svm	2,647609985	0,007757583	svm	6,428560103	8,09E-08	svm	8,292761501	1,46E-06
comb10			comb10			comb10		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,964915719	0,138198132	bioclim	4,973380096	1,15E-10	bioclim	7,361698548	0,000117606
enfa	0,166702548	0,984045572	enfa	3,109067742	0,066524366	enfa	5,42E+00	0,004218873
gower	0,938467348	0,186067415	gower	5,95482146	1,78E-12	gower	7,517591176	7,59E-05
maxent	2,769872652	0,003716591	maxent	5,704022223	2,95E-07	maxent	7,064281215	0,000200327
svm	2,906342623	0,000155379	svm	6,969592937	1,46E-16	svm	9,62E+00	2,75E-08
comb11			comb11			comb11		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,971662792	0,109124526	bioclim	5,967357096	3,70E-13	bioclim	5,72E+00	0,006711802
enfa	0,579278181	0,823984254	enfa	3,150988666	0,112065524	enfa	2,87E-01	0,995487758
gower	1,924313911	0,007361269	gower	5,945721416	6,54E-12	gower	6,85E+00	0,000183584
maxent	3,709481409	9,14E-05	maxent	6,711841806	1,09E-09	maxent	8,741356931	4,41E-07
svm	3,916176673	6,62E-07	svm	6,907118058	1,06E-13	svm	9,74E+00	1,55E-14
comb12			comb12			comb12		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	1,922736554	0,01073175	bioclim	4,925619158	2,33E-08	bioclim	8,03E+00	6,76E-06
enfa	0,262456624	0,954544975	enfa	4,406170105	0,004907325	enfa	8,82E+00	1,16E-06
gower	1,904716232	0,011993028	gower	4,915864298	4,70E-08	gower	8,52E+00	1,78E-06
maxent	2,769872652	0,003655901	maxent	6,581865411	1,77E-08	maxent	9,413549088	5,62E-08
svm	2,815066224	0,000820309	svm	5,910625592	7,88E-11	svm	10,97927084	2,05E-11
comb13			comb13			comb13		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	2,453665018	0,020424515	bioclim	4,877464508	2,11E-07	bioclim	8,315306658	8,68E-07
enfa	1,081198068	0,546274684	enfa	2,658681724	0,122686802	enfa	2,71E+00	0,331647021
gower	2,4073967	0,029012901	gower	5,771786722	2,84E-08	gower	10,4648614	4,22E-11
maxent	2,828359667	0,017419143	maxent	4,863444038	0,000846498	maxent	1,15E+01	1,95E-16
svm	2,767892456	0,003203134	svm	5,629696233	4,83E-07	svm	1,18E+01	7,34E-15
comb14			comb14			comb14		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,656803536	0,787948314	bioclim	5,902732188	1,66E-10	bioclim	10,14703311	1,71E-11
enfa	2,243112353	0,099256258	enfa	4,483162605	0,004163336	enfa	7,980775274	2,46E-05
gower	0,63879583	0,832631557	gower	5,858245598	1,31E-09	gower	10,03780215	7,17E-11
maxent	1,09547633	0,461970778	maxent	5,612604356	6,52E-05	maxent	9,633831112	2,50E-09
svm	3,988129829	0,000332061	svm	6,477435516	1,08E-08	svm	7,925916232	9,53E-06
comb15			comb15			comb15		
	d	p-valor		d	p-valor		d	p-valor
bioclim	0,807351423	0,541238927	bioclim	4,751102843	8,35E-06	bioclim	8,483478381	3,43E-07
enfa	0,98095334	0,613024415	enfa	4,832776588	0,001165165	enfa	7,745596949	3,19E-05
gower	0,784360924	0,620362327	gower	5,662301018	5,17E-07	gower	9,63946022	1,28E-09
maxent	2,835486942	0,017017535	maxent	5,378405123	0,000210134	maxent	10,27683833	2,06E-12
svm	3,146909355	0,005144473	svm	5,259580284	4,06E-05	svm	9,28740486	3,16E-10

<i>Physalaemus deimaticus</i>			<i>Proceratophrys moratoi</i>		
comb1			comb1		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,637092574	7,78E-06	bioclim	9,81961656	7,77E-06
enfa	4,332399518	0,030630162	enfa	8,161418654	0,000325144
gower	5,600683807	8,33E-06	gower	11,00253327	1,21E-07
maxent	6,18084131	0,000203317	maxent	9,668551388	5,35E-06
svm	8,142681774	6,76E-10	svm	9,647193365	6,44E-06
comb2			comb2		
	d	p-valor		d	p-valor

bioclim	6,896242012	1,69E-11	bioclim	11,70685776	3,48E-09
enfa	6,43735663	8,98E-05	enfa	4,424601053	0,028832612
gower	6,874294136	4,42E-11	gower	11,4146803	1,35E-08
maxent	8,75791649	6,75E-14	maxent	11,41805504	9,48E-09
svm	7,942973569	8,24E-17	svm	12,1825162	7,90E-11
comb3			comb3		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,527216648	2,77E-05	bioclim	10,17754271	1,89E-06
enfa	5,222095608	0,002489722	enfa	10,72841416	2,08E-07
gower	5,483968643	3,91E-05	gower	9,842051029	7,25E-06
maxent	6,083429167	0,000273502	maxent	1,15E+01	2,19E-08
svm	6,397400422	4,41E-05	svm	12,5365607	1,76E-11
comb4			comb4		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,641526585	7,58E-08	bioclim	8,568751913	0,000351317
enfa	4,216447798	0,017079125	enfa	5,64E+00	0,019504744
gower	6,601923555	1,45E-07	gower	9,306009667	2,02E-05
maxent	4,9423847	0,008457541	maxent	7,558115583	0,002215091
svm	7,4976779	4,08E-07	svm	1,19E+01	1,33E-09
comb5			comb5		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,885277648	8,13E-09	bioclim	8,95E+00	0,000125396
enfa	2,46034883	0,194832919	enfa	6,630339953	0,004470973
gower	5,869877663	1,55E-08	gower	9,64E+00	9,14E-06
maxent	7,918906355	4,43E-08	maxent	9,178141067	3,18E-05
svm	7,661987927	1,46E-10	svm	11,77636032	8,62E-10
comb6			comb6		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,884745062	9,43E-09	bioclim	10,16637559	1,89E-06
enfa	1,849559221	0,357957294	enfa	2,66E+00	0,197754164
gower	5,86134537	1,35E-08	gower	1,13E+01	4,73E-08
maxent	8,744820888	1,12E-13	maxent	9,69E+00	3,06E-06
svm	9,902054554	2,89E-21	svm	12,83867673	4,55E-11
comb7			comb7		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,998663882	1,49E-06	bioclim	1,04E+01	1,14E-06
enfa	6,504024192	7,04E-05	enfa	1,01E+01	2,16E-06
gower	6,86215275	3,93E-06	gower	1,03E+01	1,71E-06
maxent	4,857722318	0,005368637	maxent	9,607709701	1,78E-05
svm	7,580032857	2,16E-07	svm	7,25E+00	0,002777555
comb8			comb8		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,750149521	6,45E-09	bioclim	9,36E+00	3,43E-05
enfa	5,073626703	0,003275714	enfa	4,731997036	0,057538733
gower	6,709231222	1,68E-08	gower	1,03E+01	1,03E-06
maxent	5,229871793	0,004330786	maxent	8,907945392	5,10E-05
svm	6,560341761	9,85E-06	svm	1,05E+01	1,71E-07
comb9			comb9		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	7,694289196	1,49E-10	bioclim	7,95E+00	0,001489958
enfa	1,088979443	0,849645266	enfa	8,103967282	0,000110336
gower	6,696009453	1,82E-08	gower	8,32E+00	0,000190543
maxent	7,949692815	3,22E-08	maxent	8,305689507	7,24E-05
svm	8,398410385	1,03E-10	svm	9,10E+00	3,09E-05
comb10			comb10		
	d	p-valor		d	p-valor

bioclim	5,897298415	3,91E-09	bioclim	11,29835688	3,46E-09
enfa	1,164325507	0,621573864	enfa	3,96E+00	0,050433521
gower	7,837315201	7,59E-13	gower	10,97898558	2,78E-08
maxent	7,775767248	1,53E-11	maxent	1,32E+01	1,40E-12
svm	8,834225898	1,14E-15	svm	1,30E+01	7,93E-12
comb11			comb11		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,958548488	1,86E-11	bioclim	1,04E+01	4,89E-07
enfa	1,855906855	0,575212123	enfa	4,15E+00	0,040809272
gower	5,946795983	5,31E-11	gower	1,19E+01	3,26E-09
maxent	8,730464867	1,78E-13	maxent	11,23940501	3,66E-08
svm	8,824056208	1,06E-15	svm	1,02E+01	8,41E-07
comb12			comb12		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	5,932022807	3,77E-10	bioclim	1,05E+01	4,20E-07
enfa	1,994583049	0,310690573	enfa	2,50E+00	0,404071889
gower	5,921548437	5,92E-10	gower	11,38775365	2,97E-08
maxent	8,787254534	2,19E-14	maxent	1,09E+01	1,06E-07
svm	6,94810481	7,35E-14	svm	12,98652572	2,27E-11
comb13			comb13		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,343119959	3,99E-06	bioclim	9,12E+00	6,84E-05
enfa	5,809134494	0,00056721	enfa	6,462516129	0,001870151
gower	6,267307166	7,97E-06	gower	9,95E+00	5,70E-06
maxent	5,24867283	0,002248041	maxent	11,74977943	7,06E-09
svm	7,109250729	5,10E-07	svm	1,20E+01	2,60E-09
comb14			comb14		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	7,567515118	1,80E-09	bioclim	8,25E+00	0,000708578
enfa	1,839987437	0,358249115	enfa	8,017041231	0,000125333
gower	7,520719134	3,68E-09	gower	8,63507757	0,000216913
maxent	7,953459572	3,10E-08	maxent	8,16E+00	0,000535803
svm	9,2595742	4,43E-12	svm	10,61919833	1,20E-07
comb15			comb15		
	d	p-valor		d	p-valor
bioclim	6,935355138	4,63E-13	bioclim	7,87E+00	0,000945028
enfa	1,887130335	0,343436988	enfa	6,15E+00	0,002903761
gower	5,93867861	1,56E-10	gower	10,78427046	1,62E-07
maxent	8,319823796	6,67E-10	maxent	7,486968913	0,00083686
svm	8,792516952	6,55E-15	svm	10,96482588	7,80E-08

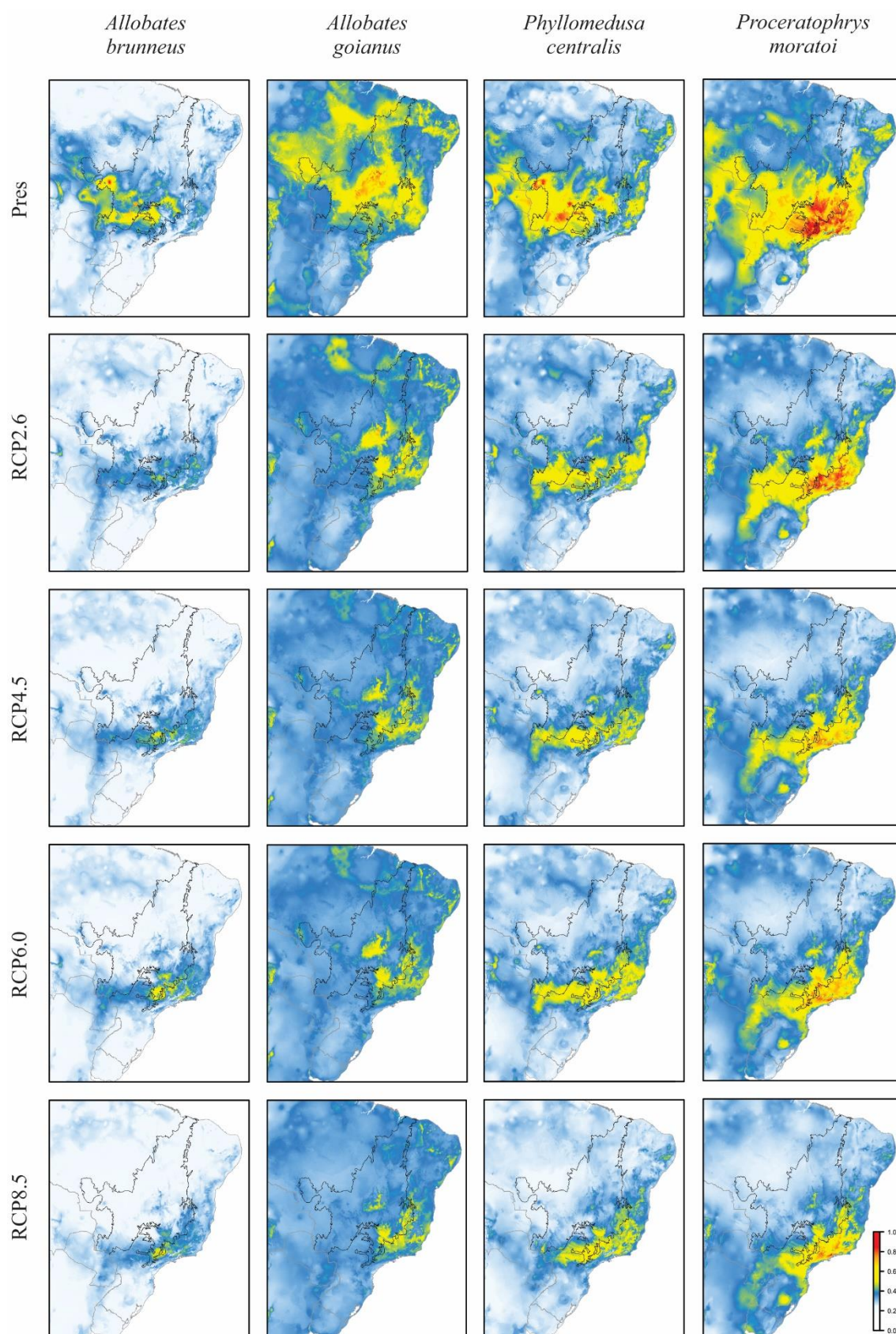
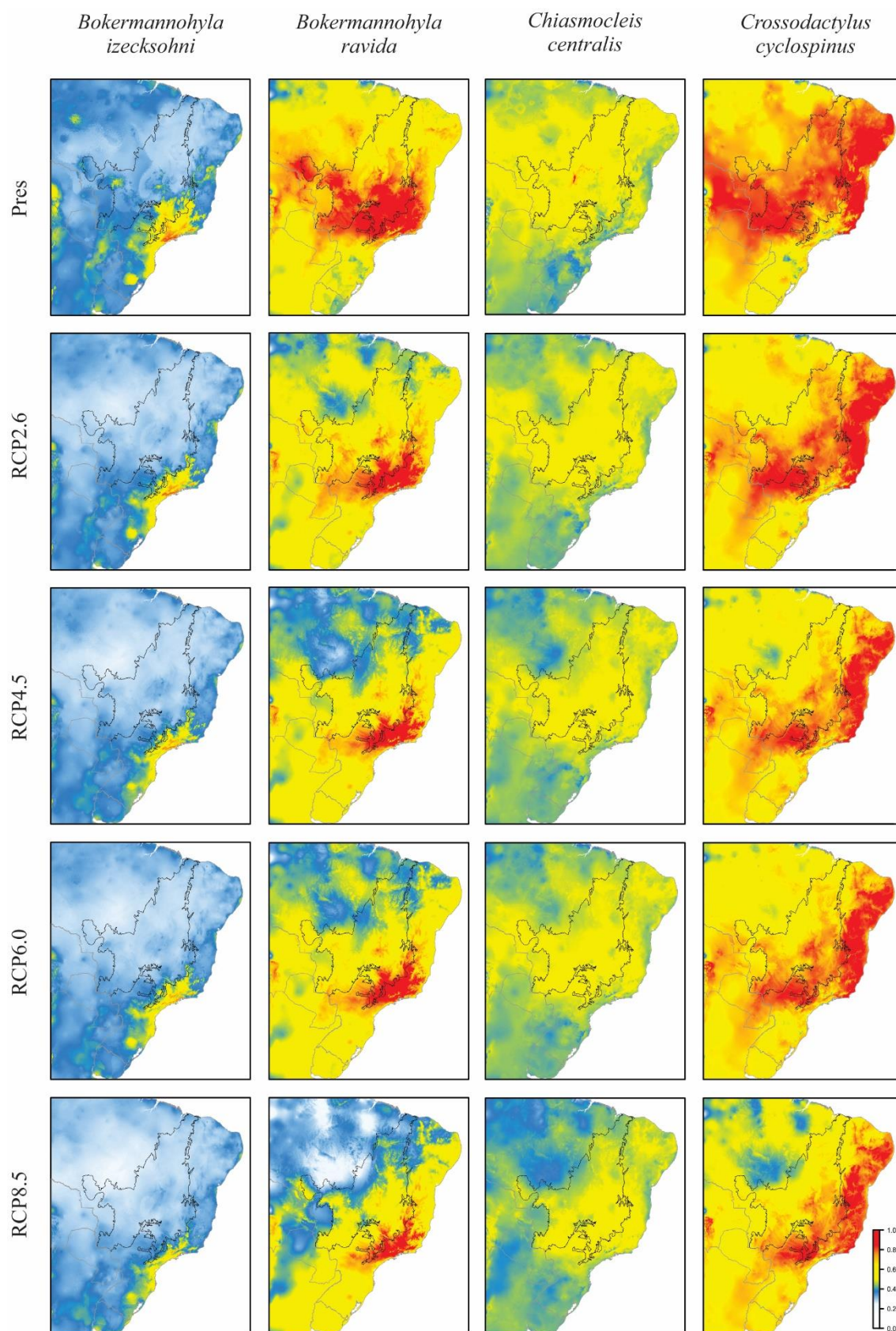
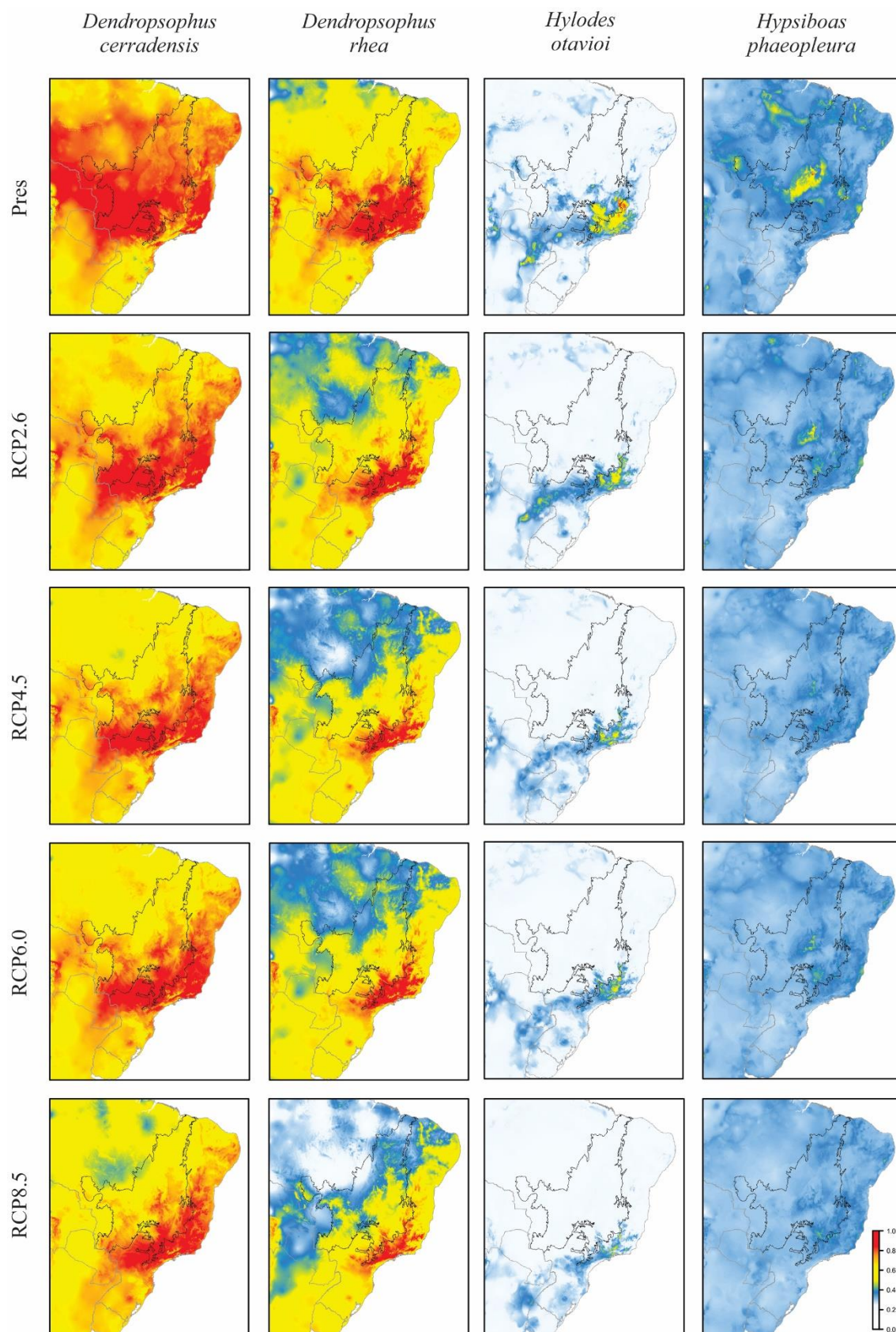


Figura S1: Mapas de adequabilidade climática (*full ensembles*) para os anuros ameaçados do Cerrado brasileiro no presente e nos 4 cenários climáticos futuros, construídos a partir das médias dos 15 ESMs.





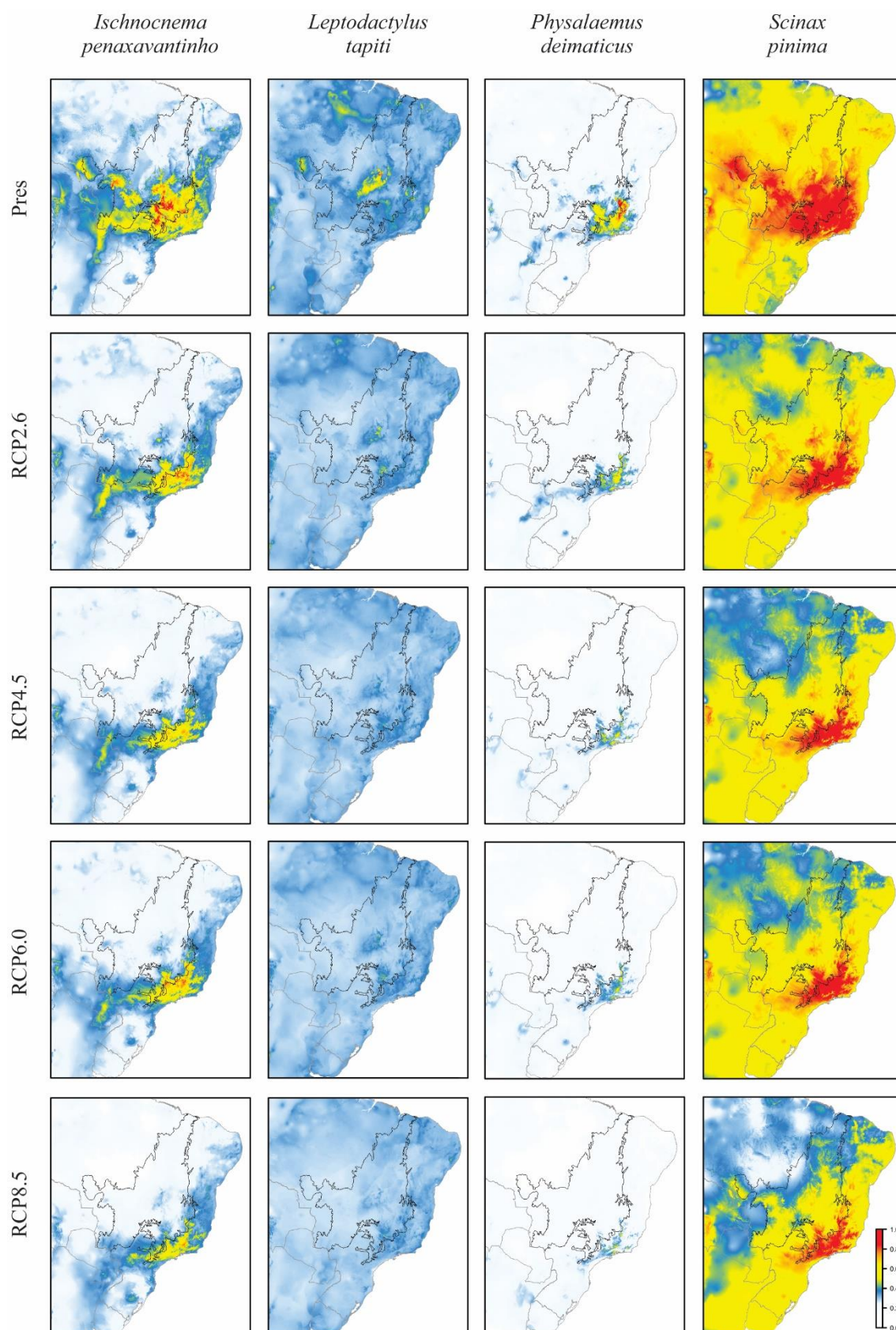


Figura S2: Mapas de adequabilidade climática (*full ensembles*) para os anuros DDs do Cerrado brasileiro no presente e nos 4 cenários climáticos futuros, construídos a partir das médias dos 15 ESMs.

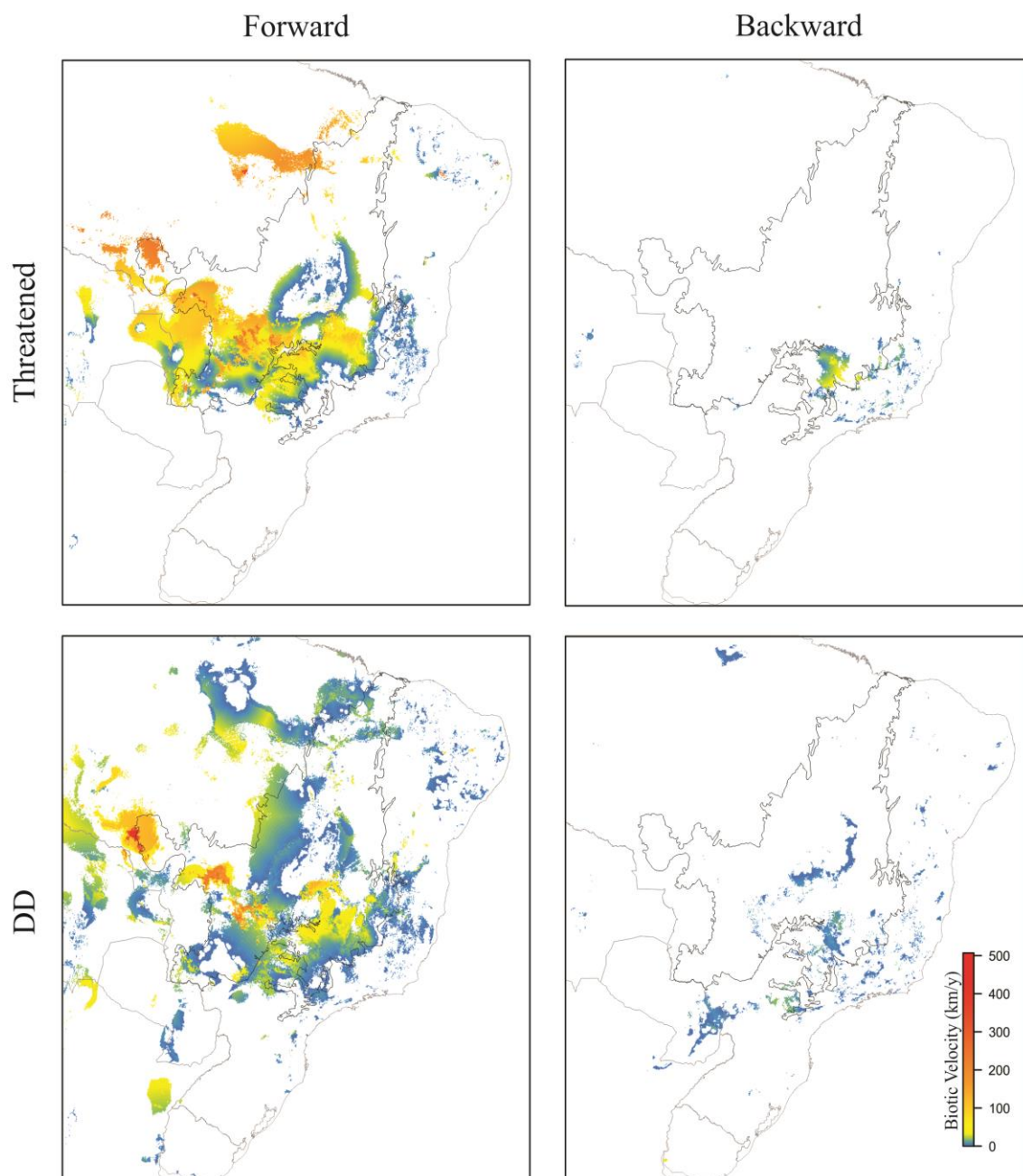


Figura S3: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (*forward* e *backward*) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP2.6.

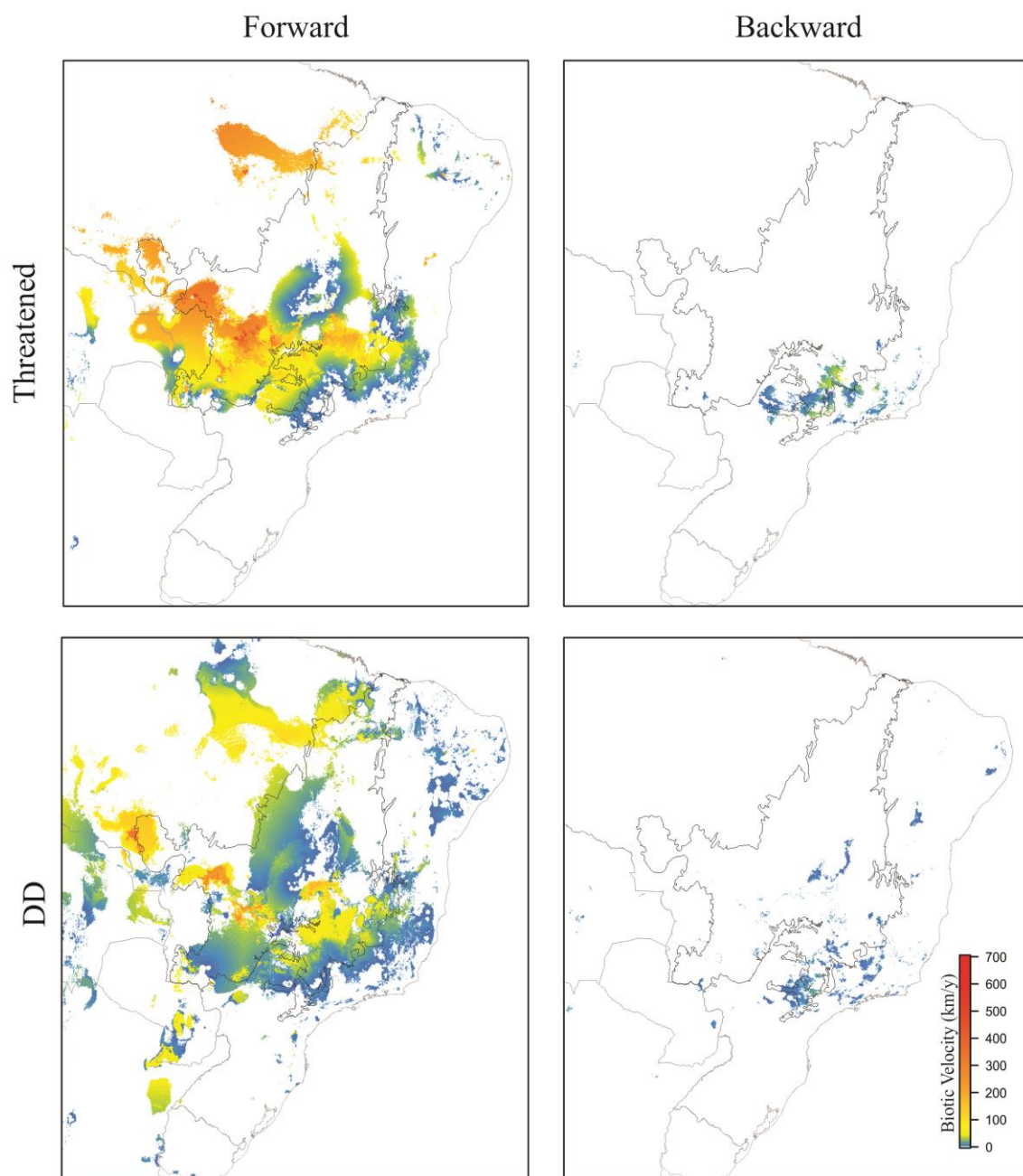


Figura S4: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (*forward* e *backward*) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP4.5.

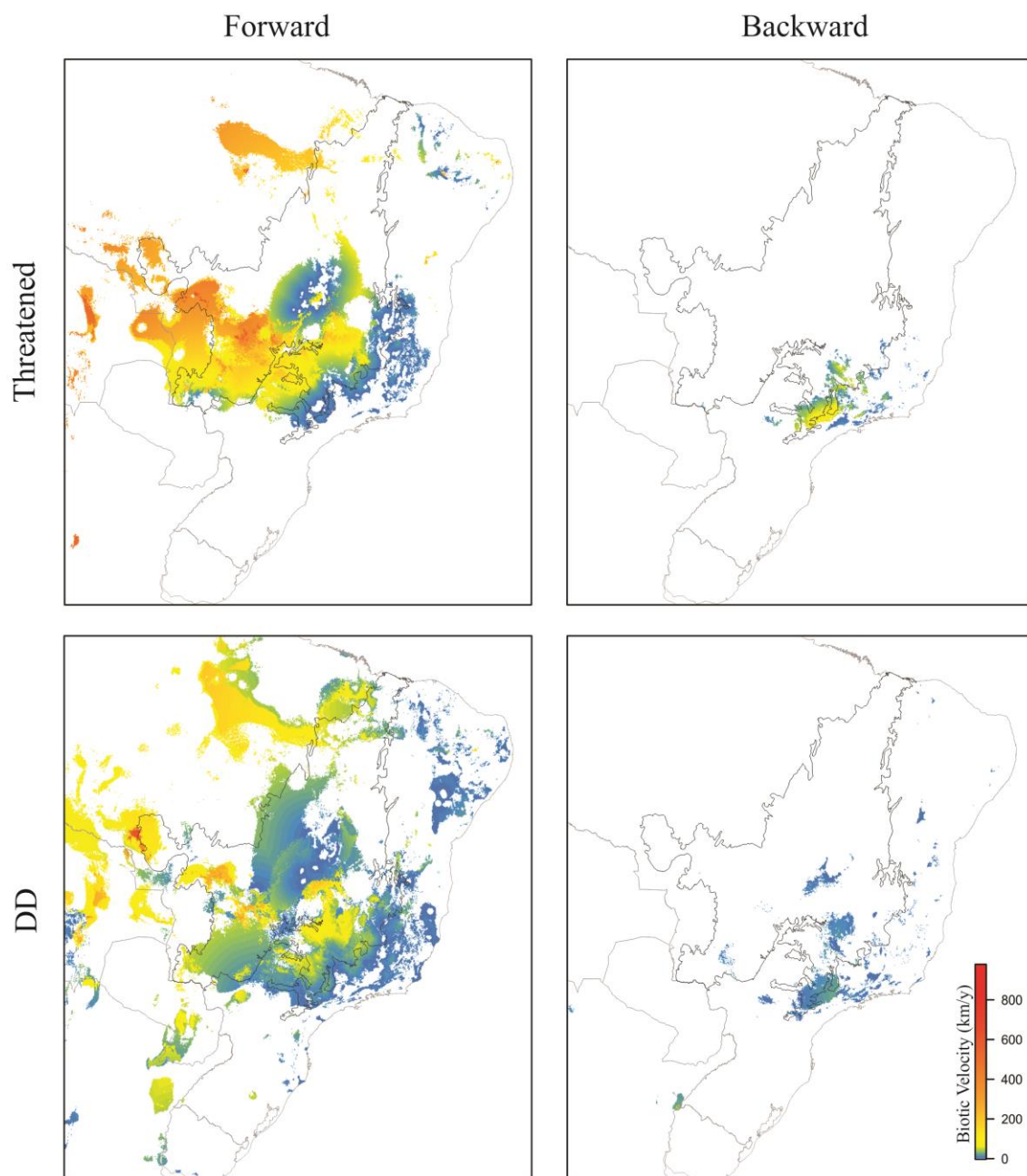


Figura S5: Distribuição geográfica das velocidades climáticas (*forward* e *backward*) para as espécies de anuros ameaçados e deficiente de dados do Cerrado brasileiro o cenário climático RCP8.5.