



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

GABRIELLY RODRIGUES BATISTA

**DISTRIBUIÇÃO PREDITIVA DAS ESPÉCIES ENDÊMICAS DO
CERRADO *Amphisbaena anaemariae* Vanzolini, 1997 e *A.
silvestrii* Boulenger, 1902 (SQUAMATA, AMPHISBAENIDAE)
BASEADA EM MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO**

GOIÂNIA
NOVEMBRO DE 2020

GABRIELLY RODRIGUES BATISTA

**DISTRIBUIÇÃO PREDITIVA DAS ESPÉCIES ENDÊMICAS DO
CERRADO *Amphisbaena anaemariae* VANZOLINI (1997) e *A.
silvestrii* BOULENGER (1902) (SQUAMATA, AMPHISBAENIDAE)
BASEADA EM MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO**

Monografia apresentada à Escola de Ciências Agrárias e Biológicas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Wilian Vaz Silva

Coorientador: Dr. Matheus Godoy Pires

**GOIÂNIA
NOVEMBRO DE 2020**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS**

BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA

Aluna: Gabrielly Rodrigues Batista

Orientador: Dr. Wilian Vaz Silva

Coorientador: Dr. Matheus Godoy Pires

Membros:

1. Dr. Wilian Vaz Silva

2. Dr^a. Síria Lisandra de Barcelos Ribeiro

3. Dr. Darlan Tavares Feitosa

**GOIÂNIA
NOVEMBRO DE 2020**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a minha família: meu pai Ronivon Batista Pinheiro, minha mãe Cristiane Rodrigues Brito Pinheiro e as minhas irmãs, Adrielly Rodrigues Batista e Isabelly Rodrigues Batista. Obrigada por todo o apoio financeiro, emocional, pela paciência e compreensão durante toda a minha graduação. Esta não é uma conquista individual, parte do esforço de cada um de vocês.

Agradeço imensamente a Prof^a. Dr^a Levi Carina Terribile e ao Prof. Dr. Matheus de Souza Lima Ribeiro, vinculados ao laboratório de Macroecologia da Universidade Federal de Jataí e que me auxiliaram na elaboração deste estudo. Obrigada pela oportunidade, paciência, orientação e por todos os ensinamentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wilian Vaz Silva, agradeço pela confiança, parceria e todas as oportunidades durante 3 anos de orientação. Me faltam palavras para expressar tamanha gratidão. Agradeço também ao Prof. Dr. Matheus Godoy Pires pela coorientação neste trabalho.

Aos meus professores da graduação, agradeço por todos os conhecimentos e valores transmitidos, em especial, agradeço a Dr^a. Mariana Pires de Campos Telles, Ms. Orcantina Ione Teles Ferreira, Dr. Luiz Augusto da Costa Porto, Dr. Darlan Tavares Feitosa, Ms. Rodrigo Mariano da Silva e Dr. Francisco Leonardo T. Garro.

Agradeço aos meus amigos e amigas: Blenda César, Jakeline Cardoso, Loyanny Andrezza, Vinícius Silva, Max Moraes, Lucas Gaehwiler, Isadora Moraes, Mayza Luz, Jéssica Ribeiro, Danielle Daise, Brunna Teodoro, João Pedro Guelhardi, Lucas Fagundes, Scarlett Santos, Iasodhara Rodrigues, Jordana Loise, Nayara Gomes, Rafaela Honorato, Nayala Etina, Rafaela Macedo, Ramon Soares e Allefe Freitas. Obrigada pelo apoio e momentos de descontração.

Agradeço também a todos os funcionários e professores vinculados ao Centro de Estudos e Pesquisas Biológicas da PUC Goiás, que me permitiram grande crescimento pessoal e profissional.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

A subordem Amphisbaena é considerada um grupo monofilético de répteis Squamata. Agrupa representantes de hábito fossorial, visão reduzida, corpo alongado, cilíndrico, com cauda curta e em sua maioria ápodes. A subordem é dividida em seis famílias, sendo Amphisbaenidae a maior, agrupando 182 espécies reconhecidas, classificadas em 18 gêneros. O Cerrado apresenta 20 espécies de anfisbênios endêmicos, incluindo as espécies deste estudo: *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii*. Tendo em vista as inúmeras ações antropogênicas que acarretam na perda da biodiversidade do Cerrado, dentre elas a aceleração das mudanças climáticas, são necessárias à implementação de metas estratégicas e o uso de novas ferramentas para conservação. Uma destas ferramentas é a modelagem de nicho ecológico. Os modelos de nicho apoiam-se na distribuição de espécies, juntamente com seus requisitos ambientais e produzem mapas de distribuição, que são um estágio crucial na busca de esforços de conservação, principalmente para espécies pouco conhecidas. Este trabalho objetivou avaliar a distribuição atual e o impacto das mudanças climáticas na distribuição de *A. anaemariae* e *A. silvestrii* com base em modelagem de nicho ecológico. Para isso, foi realizado um levantamento em coleções biológicas e em artigos científicos com material examinado sobre a distribuição atual das espécies. A partir disto, foram feitas projeções para o ano de 2100 nos Modelos Climáticos Globais: CCSM4, HADGEM2 e MIROC ESM, em duas Vias de Concentração Representativa: RCP 4.5 e 8.5. Foram incluídas variáveis de clima, solo e diferentes algoritmos estatísticos. Como resultados observamos a inclusão de novas áreas potenciais para ambas as espécies e que *A. silvestrii* apresenta uma área de distribuição maior quando comparada com *A. anaemariae*.

Palavras-chave: Amphisbaenidae, Nicho ecológico, Cerrado.

ABSTRACT

The suborder Amphisbaena is considered a monophyletic group of Squamata reptiles. It groups representatives of fossorial habit, reduced vision, elongated, cylindrical body, with short tail and mostly apodes. The suborder is divided into six families, with Amphisbaenidae the largest, grouping 182 recognized species, classified into 18 genera. The Cerrado has 20 endemic amphisbenid species, including the species of this study: *Amphisbaena anaemariae* and *Amphisbaena silvestrii*. In view of the numerous anthropogenic actions that result in the loss of the Cerrados biodiversity, among them the acceleration of climate change, it is necessary to implement strategic goals and use new tools for conservation. One of these tools is ecological niche modeling. Niche models are based on species distribution, along with their environmental requirements and produce distribution maps, which are a crucial stage in the search for conservation efforts, especially for little-known species. This work aims to evaluate the current distribution and the impact of climate change on the distribution of *A. anaemariae* and *A. silvestrii* based on ecological niche modeling. For this, a survey was carried out in biological collections and in scientific articles with material examined on the current distribution of species. From this, projections for the year 2100 were made in the Global Climate Models: CCSM4, HADGEM2 and MIROC ESM, in two Representative Concentration Routes: RCP 4.5 and 8.5. Variables of climate, soil and different statistical algorithms were included. As a result, we observed the inclusion of new potential areas for both species and that *A. silvestrii* has a larger area of distribution when compared to *A. anaemariae*.

Keywords: Amphisbaenidae, Ecological niche, Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de distribuição atual das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>A. silvestrii</i>	12
Figura 2 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Bioclim, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	14
Figura 3 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Bioclim, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	15
Figura 4 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Bioclim, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	16
Figura 5 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo ENFA, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	17
Figura 6 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo ENFA, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	18
Figura 7 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo ENFA, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	19
Figura 8 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Gower, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	20
Figura 9 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Gower, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	21
Figura 10 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo Gower, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	23
Figura 11 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo SVM, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	24
Figura 12 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo SVM, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	25
Figura 13 - Distribuição preditiva das espécies <i>Amphisbaena anaemariae</i> e <i>Amphisbaena silvestrii</i> no modelo SVM, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5.	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCSM4	Modelo de Pesquisa Interdisciplinar do Clima
CEPB	Centro de Estudos e Pesquisas Biológicas
CSV	Comma-separated values
ENFA	Análise de Fator de Nicho Ecológico
GCMs	Modelos Climáticos Globais
HADGEM2	Modelo Ambiental Global do Hadley Center
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Análise de Componentes Principais
PUC	Pontifícia Universidade Católica de Goiás
RCPs	Vias de Concentração Representativa
SVM	Máquina de Vetores e Suportes
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
W/m ²	Radiação solar incidente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVO GERAL	6
2.1	Objetivos específicos	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1	Área de estudo	7
3.2	Dados de ocorrência das espécies	7
3.3	Variáveis ambientais	7
3.4	Modelagem de nicho ecológico.....	10
4	RESULTADOS	12
4.1	Distribuição atual.....	12
4.2	Distribuição preditiva	13
5	DISCUSSÃO	27
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

Os répteis formam um grupo parafilético dos vertebrados tetrápodes, ou seja, seus representantes não possuem o mesmo ancestral evolutivo comum (ROBERTO *et al.*, 2015). Os exemplares deste grupo apresentam uma grande diversidade de formas e diferentes adaptações morfofisiológicas, o que permite a ocupação de nichos ecológicos variados (TORRES, 2012).

Como principais características do grupo, pode-se destacar a presença de escamas dérmicas ou epidérmicas e a ectotermia. Devido a esta condição de regulação da temperatura corporal por fontes externas de calor, os répteis são mais comumente encontrados em regiões temperadas e tropicais.

A classe Reptilia compreende as ordens Testudines, Squamata, Sphenodonta e Crocodylia. Para o Brasil são registradas 795 espécies de répteis, dentre estas a ordem Squamata (subordens Lacertilia, Serpentes e Amphisbaena) é a mais representativa, com 753 espécies (COSTA & BÉRNILS, 2018). Os biomas brasileiros que apresentam a maior diversidade de répteis são a Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado e a Caatinga (MARTINS & MOLINA, 2008).

A subordem Amphisbaena é considerada um grupo monofilético (KEARNEY, 2003; KEARNEY & STUART, 2004; GAUTHIER *et al.* 2012), contudo, as relações de parentesco entre cobras, lagartos e anfisbênios ainda não são bem estabelecidas (NAVEGA-GONÇALVES, 2004; MOTT & VIEITES, 2009). A subordem agrupa representantes de hábito fossorial, visão reduzida, corpo alongado, cilíndrico, com cauda curta e em sua maioria ápodes (NAVEGA-GONÇALVES & BENITES, 2019).

Devido à semelhança entre a cauda e a cabeça, estes animais são popularmente conhecidos como cobras-de-duas-cabeças. O crânio dos anfisbênios apresentam modificações que auxiliam na escavação, como o segmento anterior do crânio formando uma espécie de pá penetrante e a região posterior formando uma espécie de alça, que conecta o crânio a coluna vertebral e que auxilia na transmissão de forças aplicadas a musculatura vertebral segmentar (GANS & MONTEIRO, 2008).

O nome Amphisbaena tem origem grega (“*amphis*”, duplo; “*baino*”, caminhar) e diz respeito a característica dos animais de conseguirem se deslocar em ambas as

direções. Tal adaptação tem relação com a pele dos anfisbênios, que é constituída por segmentos queratinizados dispostos em forma de anéis e praticamente não apresenta ligações com tecidos subjacentes, o que permite com o que o corpo do animal deslize livremente para frente e para trás. Essa característica juntamente com o fato da pele ser lisa, minimiza o atrito com o solo, facilitando a locomoção nas galerias subterrâneas (NAVEGA-GONÇALVES, 2004).

Apesar destes mecanismos de adaptação, segundo Navas *et al.* (2004), animais que apresentam hábitos subterrâneos encontram desafios fisiológicos devido ao grande gasto energético associado à escavação e às baixas taxas de oxigênio disponíveis nesses ambientes.

Atualmente, a subordem Amphisbaena é dividida em seis famílias: Amphisbaenidae, Bipedidae, Blanidae, Cadeidae, Rhineuridae e Trogonophiidae (OLIVEIRA, 2017). São distribuídas ao sul da Europa, oeste da Ásia, África, América do Norte, América do Sul e Antilhas (NAVEGA-GONÇALVES, 2004). Amphisbaenidae é a maior família, com cerca de 182 espécies reconhecidas, classificadas em 18 gêneros (NAVEGA-GONÇALVES, 2009; COSTA & GARCIA, 2019).

No Brasil, são reconhecidas 81 espécies de anfisbênios, agrupadas nos gêneros *Amphisbaena*, *Leposternon* e *Mesobaena* (UETZ & HOŠEK, 2020; COSTA & GARCIA, 2019). A região Nordeste é a mais rica em número de espécies, possuindo um total de 35. As regiões Norte e Centro-Oeste apresentam cada uma, 28 espécies (COSTA; BÉRNILS, 2018). Considerando as unidades biológicas, o Cerrado se destaca, pois das 48 espécies encontradas (S. Ribeiro, com. pess., 2020), 20 são consideradas endêmicas (NOGUEIRA *et al.*, 2010). Dentre elas as espécies de estudo: *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii*.

Amphisbaena anaemariae foi descrita por Vanzolini (1997) para o norte do Estado de Goiás. Possui dois poros, anéis de corpo variando de 156 a 170 e anéis da cauda de 18 a 20 (VANZOLINI, 2002). A distribuição atual da espécie evidencia o endemismo para o Cerrado com registros pontuais para os estados de Goiás, Tocantins, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (VRCIBRAD & SOARES, 1999; VANZOLINI, 2002; GANS, 2005).

Amphisbaena silvestrii foi descrita por Boulenger (1902) e tem como localidade-tipo Cuiabá. Ocorre nos estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins e na Bolívia, ocupando portanto, os biomas Cerrado e Amazônia (VANZOLINI, 1997; SÁ-OLIVEIRA, 2016). A espécie apresenta um único par de poros pré-cloacais, entre 173 e 185 anéis de corpo e de 20 a 22 anéis caudais (GANS, 1964). De acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), as principais ameaças para as espécies são a perda de vegetação nativa em decorrência do desmatamento, agricultura mecanizada e a implantação de empreendimentos imobiliários.

O Cerrado é o segundo maior bioma Neotropical (OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). É considerado um *hotspot* de biodiversidade por abrigar um elevado número de espécies endêmicas e em contrapartida, apresenta redução de $\frac{3}{4}$ de sua vegetação original (MYERS *et al.* 2000). Assim como outros biomas brasileiros, o Cerrado tem a sua rica biodiversidade ameaçada principalmente por atividades antrópicas (ALEIXO *et al.* 2010).

As mudanças climáticas são processos naturais que ocorreram e continuam ocorrendo ao longo da história evolutiva do planeta Terra. Contudo, devido ao modelo atual de desenvolvimento humano, com elevadas taxas de emissão de gases causadores de efeito estufa, as mudanças climáticas globais são cada vez mais aceleradas por pressões antropogênicas (NOBRE *et al.*, 2012). Estas mudanças afetam a humanidade nos contextos social, ambiental, cultural e econômico (FERNANDES SILVA, COSTA & BORBA, 2016).

Estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), apontam que a temperatura média da superfície da Terra pode aumentar 4.8 ° C até o ano de 2100 se a taxa atual de emissão de gases se manter (IPCC, 2018; DIELE-VIEGAS *et al.*, 2020). De acordo com Tozato *et al.* (2015), essas mudanças podem afetar diretamente a biodiversidade nas escalas de organização biológica e na localização espacial.

Tendo em vista as inúmeras ações antropogênicas que acarretam na perda da biodiversidade do Cerrado, são necessárias à implementação de metas estratégicas para a preservação do bioma. Diversos estudos têm contribuído com o conhecimento acerca da Herpetofauna no Cerrado (WIEDERHECKER *et al.*, 2002; MESQUITA *et*

al., 2006; GIUGLIANO *et al.*, 2006). Em relação aos anfisbênios, Colli *et al.* (2016) apresentam dados sobre o conhecimentos das espécies utilizando preditores socioeconômicos e ambientais, juntamente com dados sobre status de conservação e correlações entre o tamanho do corpo e o intervalo entre as espécies.

Lacunas Lineanas (insuficiência de dados sobre taxonomia e sistemática) e Wallaceanas (insuficiência de dados sobre a distribuição geográfica), são encontradas nos estudos com anfisbênios. Isto pode ser explicada pelo hábito de vida fossorial, que restringe as observações na natureza e dificulta a coleta de exemplares (NAVEGA-GONÇALVES, 2004). No caso das espécies de anfisbênios da América do Sul, o conhecimento sobre a variação intraespecífica ainda é incipiente e dificulta a distinção entre espécies semelhantes morfologicamente (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Sendo assim, é necessário o uso de novas ferramentas associadas ao estudo de história natural para a compreensão e avaliação das áreas de distribuição atuais e potenciais de espécies de anfisbênios, principalmente das espécies consideradas endêmicas. Uma destas ferramentas é a modelagem de nicho ecológico.

O conceito de nicho ecológico foi proposto primeiramente por Joseph Grinnel em 1917 e é definido com o conjunto de condições ambientais adequadas que delimitam a distribuição de uma espécie. Todavia, várias outras definições foram propostas ao longo do tempo, como por exemplo por Charles Elton (1927) e George Hutchinson (1957), que propôs que o nicho ecológico é na verdade um hiper espaço n-dimensional, composto por diferentes variáveis ambientais e que permite que a espécie possa existir.

As ferramentas de modelagem de distribuição de espécies descrevem os requisitos ambientais das espécies e usam-nos para produzir mapas de distribuição, que são um estágio crucial na busca de esforços de conservação, principalmente para espécies pouco conhecidas (ELITH *et al.*, 2006; PETERSON, 2006). Em específico, a modelagem preditiva tem sido utilizada na análise da distribuição geográfica das espécies por meio de extrapolações associadas a diferentes variáveis ambientais (GIANNINI *et al.*, 2012).

Uma variedade de métodos de modelagem de distribuição estão disponíveis para prever o habitat potencial adequado para uma espécie (WISZ *et al.*, 2008). O

emprego destas ferramentas resulta em dados passíveis de uso para apoiar os esforços de amostragem de campo e aperfeiçoar adequadamente seu modelo distributivo (SYFERT *et al.*, 2014).

Além disso, a modelagem de distribuição de espécies constitui uma ferramenta importante na avaliação do impacto das mudanças climáticas sobre distribuição geográfica dos organismos. Em especial para os répteis, que por serem animais ectotérmicos podem apresentar diferenças significativas em seus padrões de distribuição (SINERVO *et al.* 2010). De acordo com Lourenço-de-Moraes *et al.* (2019), os répteis respondem negativamente as mudanças térmicas e alterações do padrão de chuvas, especialmente nos processos reprodutivos.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a distribuição atual e a distribuição preditiva de *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii* com base em modelagem de nicho ecológico.

2.1 Objetivos específicos

- Verificar a distribuição atual de *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii*;
- Analisar a distribuição potencial das duas espécies com base em modelagem de nicho ecológico;
- Avaliar o impacto das mudanças climáticas na distribuição de *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida para a geração dos modelos de distribuição potencial de *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii*, foi a América do Sul, com um recorte incluindo o Brasil, Paraguai, parte da Bolívia, norte da Argentina e norte do Uruguai. O recorte do shapefile foi realizado utilizando a ferramenta *Clip* do software QGis® 2.18.28.

3.2 Dados de ocorrência das espécies

Os dados de ocorrência das espécies foram obtidos através de artigos científicos com indicação de material examinado e dados de acervo das coleções biológicas da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) e do Centro de Estudos e Pesquisas Biológicas (CEPB) da PUC Goiás. As coordenadas geográficas de latitude e longitude adquiridas foram confirmadas através do software Google Earth® e a validação dos pontos de ocorrência das espécies foram reafirmados mediante consulta a especialistas. Para cada espécie, as coordenadas foram organizadas em uma planilha no formato Comma-separated values (CSV).

3.3 Variáveis ambientais

Para a geração dos modelos preditivos foram utilizadas variáveis ambientais de clima e solo. O banco de dados utilizado para o clima foi o WorldClim® versão 1.4, com a resolução espacial de 4,5 km.

Os dados climáticos para o presente foram compostos por 19 variáveis bioclimáticas, que apresentaram valores mensais e tendências anuais de temperatura, precipitação, sazonalidade e fatores ambientais extremos ou limitantes. A Tabela 1 apresenta a codificação de cada variável.

Tabela 1 - Variáveis bioclimáticas utilizadas no estudo.

Código	Significado
BIO1	Temperatura média anual
BIO2	Faixa diurna média
BIO3	Isotermalidade
BIO4	Sazonalidade de temperatura
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Faixa anual de temperatura
BIO8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO12	Precipitação anual
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido
BIO17	Precipitação do quarto mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: <https://www.worldclim.org/>

Visando a escolha das variáveis mais representativas, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) no software RStudio® com as 19 variáveis bioclimáticas. Esta técnica permitiu que através das variáveis originais, fossem selecionados os dados mais representativos por meio de combinações lineares. Neste caso, para os dados de clima foram escolhidos os três primeiros eixos da PCA.

Para as projeções climáticas futuras, foram utilizados os Modelos Climáticos Globais (GCMs) do relatório da quinta avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). O IPCC é um órgão científico criado em 1988 vinculado a Organização das Nações Unidas (ONU).

Foram utilizados três GCMs: CCSM4, HADGEM2 e MIROC ESM, em duas Vias de Concentração Representativa (RCPs). Os RCPs consistem em conjuntos de dados elaborados de forma colaborativa e que apresentam resoluções espaciais associados as mudanças climáticas ocorridas a longo prazo. Os cenários dos RCPs levam em consideração aspectos socioeconômicos, tecnológicos, ambientais, emissão de gases de efeito estufa, de aerossóis e o clima (Moss *et al.* 2010).

Para cada GCM, foram utilizados dois RCPs: o RCP 4.5, que se caracteriza como uma via de estabilização intermediária, onde o nível de forçamento radioativo é estabelecido entre 6 W/m² e 4,5 W/m² após o ano de 2100, e o RCP 8.5, que leva em consideração um alto forçamento radioativo que atinge 8,5 W/m² e continua a aumentar a concentração após o ano de 2100.

O Modelo de Sistema Climático Comunitário (CCSM4), consiste em cinco modelos geofísicos que simulam o sistema climático da Terra, sendo eles: atmosfera, gelo marinho, terra, oceano e gelo terrestre. Este modelo é uma importante ferramenta que permite estudos sobre os estados climáticos passados, presentes e futuros do planeta. O HADGEM2 (Modelo Ambiental Global do Hadley Center) é um modelo do sistema terrestre que representa simulações apenas da atmosfera, incluindo os ciclos de carbono terrestre e oceânico.

O último modelo, MIROC ESM (Modelo de Pesquisa Interdisciplinar do Clima), também consiste em um modelo terrestre e demonstra as mudanças climáticas baseados em vários contextos, como: atmosfera, oceano, gelo marinho, biogeoquímica da superfície terrestre e oceânica, química atmosférica e aerossóis.

Os dados de solo usados na geração dos modelos foram obtidos pelo banco de dados SoilGrids®, considerando 5 km de resolução espacial e 0,30 m de profundidade do solo. Este banco de dados consiste em um sistema digital para o mapeamento do solo baseado em dados globais de perfil do solo e camadas ambientais. As variáveis são agrupadas de acordo com os atributos e propriedades química ou físicas do solo.

A Tabela 2 apresenta as variáveis selecionadas previamente para a geração dos modelos preditivos para as espécies *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii*. Após a seleção prévia das variáveis, também foi realizada uma PCA e os três primeiros eixos mais representativos foram utilizados na geração dos modelos preditivos.

Tabela 2 - Variáveis de solo utilizadas no estudo

Propriedades químicas do solo	Propriedade físicas do solo
Capacidade de troca catiônica do solo	Densidade a granel (cg/ cm ³)
Carbono orgânico do solo (dg/ kg)	Teor de argila (g/ kg)
Teor de carbono orgânico no solo (dg/ kg)	Teor de silte (g/ kg)
pH do solo em KCl	Fragmentos grosseiros (cm ³)
pH do solo em H ₂ O	Teor de areia (g/ kg)

Fonte: <https://www.soilgrids.org/>

Devido a diferença de resolução espacial das variáveis de clima (4,5 km) e solo (5,0 km), foram realizadas modificações na resolução dos dados por meio da técnica de Zonal Statistic no software QGis®, o que permitiu a adequabilidade dos dois conjuntos de dados.

3.4 Modelagem de nicho ecológico

Os métodos de análise dos dados para prever a distribuição potencial das duas espécies de anfisbênios na América do Sul foi variado, sendo utilizados diferentes algoritmos estatísticos no software RStudio®, como: análise de nicho ecológico fundamentado apenas em dados de presença (ENFA); modelo de comparação entre as variáveis ambientais e a distribuição nos pontos de ocorrência (BIOCLIM); distância ambiental (Gower) e aprendizagem de máquina (SVM).

De acordo com Basille *et al.* (2008), ENFA se baseia em uma análise fatorial que fornece o nicho realizado a partir do cálculo de dois parâmetros: marginalidade e especialização. A marginalidade funciona como a medida de separação entre as condições ótimas de habitat para uma determinada espécie e as condições médias disponíveis na área de estudo. Por outro lado, a especialização atua com a restrição do nicho de uma espécie em comparação com as variáveis disponíveis no habitat.

O BIOCLIM por sua vez, é considerado um pacote pioneiro nos estudos de modelagem de distribuição de espécies e reúne 35 parâmetros climáticos responsáveis por avaliar a adequação climática do habitat de uma espécie em cenários climáticos atuais e futuros (Beaumont *et al.*, 2005). A análise de Gower se baseia no cálculo de distância ambiental, através do cálculo dos valores das variáveis ambientais de cada célula e cada ponto de ocorrência (Hijmans & Graham, 2006).

O SVM consiste em um pacote associado à aprendizagem de máquina e utiliza apenas dados de presença. Utiliza-se máquina de vetores e suportes que se baseiam na adequabilidade e complexidade das espécies para reproduzir o máximo de distribuição provável das espécies (Duan *et al.*, 2014).

O conjunto de métodos citados acima associados aos GCMs, dados de solo, climáticos e a ocorrência das espécies, permitiram a geração de modelos preditivos (estimados para 2100) em diferentes cenários de vias de concentração representativa para *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii*.

4 RESULTADOS

4.1 Distribuição atual

Por meio da coleta de dados de ocorrência das espécies em literatura especializada e em dados de coleções biológicas, foi possível obter a distribuição atual das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii* (Figura 1). Para a espécie *A. silvestrii*, foram registrados 35 pontos de ocorrência, distribuídos nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Fora do Brasil, sua ocorrência está restrita a Bolívia. Já para a espécie *A. anaemariae*, 13 pontos de ocorrência foram encontrados, distribuídos nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e também no Distrito Federal.

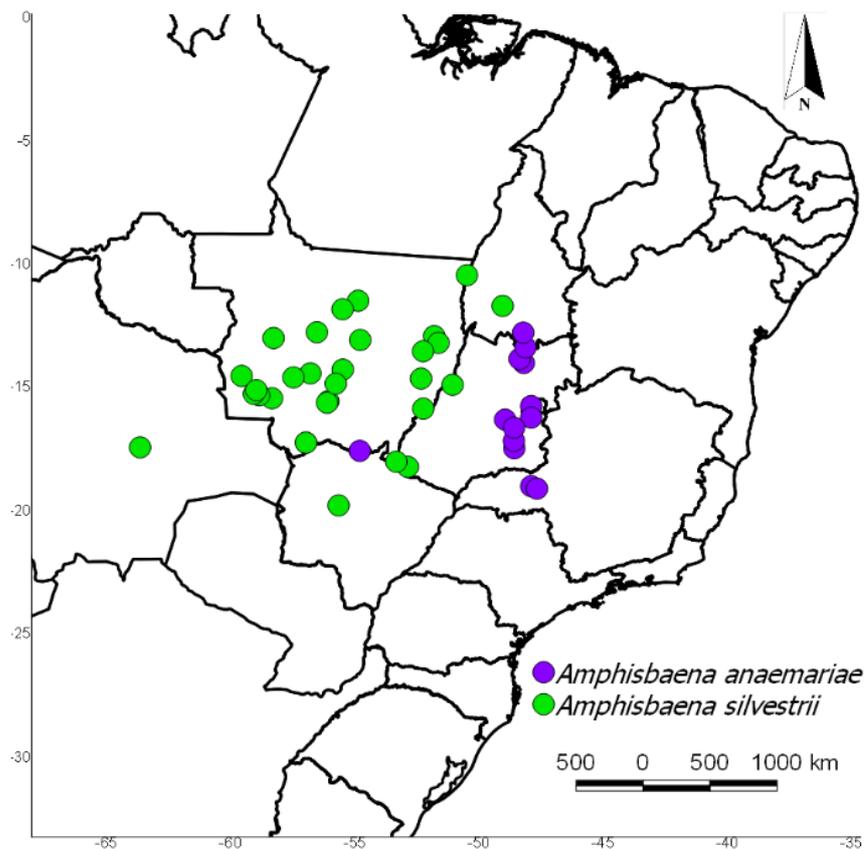


Figura 1 - Mapa de distribuição atual das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *A. silvestrii* na América do Sul.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

4.2 Distribuição preditiva

Visando a análise da distribuição preditiva na área de estudo escolhida, para cada GCM (CCSM4, HADGEM-2 e MIROCESM) foram utilizadas duas vias de concentração representativas, RCP 4.5 e RCP 8.5, em diferentes modelos. Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos através do modelo Bioclim, com o GCM CCSM4. As projeções futuras para *A. anaemariae*, nas duas vias de concentração representativas, corroboram com os dados conhecidos para a sua distribuição atual, apresentando mais representatividade de ocorrência no Distrito Federal e Minas Gerais.

Para *A. silvestrii*, os resultados obtidos no RCP 4.5 apontam áreas mais adequadas (probabilidade de ocorrência < 0.4) ao leste e oeste do Mato Grosso, Rondônia, nordeste do Brasil e na Bolívia. As projeções futuras no RCP 8.5 apontam redução na área de distribuição da espécie, com probabilidade de ocorrência principalmente em Mato Grosso e nordeste do Brasil.

As projeções do Bioclim no GCM HADGEM-2 (Figura 3) demonstram poucas áreas potenciais para ambas as espécies. No RCP 4.5, *A. anaemariae* apresenta poucas áreas de distribuição no Distrito Federal e Minas Gerais, *A. silvestrii* continua apresentando áreas potenciais no Mato Grosso e no nordeste do país. Todavia, no RCP 8.5, ambas as espécies não apresentam áreas potenciais representativas na maioria dos estados brasileiros.

O mesmo fenômeno ocorre como GCM MIROCESM (Figura 4), onde para ambas as espécies não são encontradas áreas significativas de distribuição, nos dois RCPs.

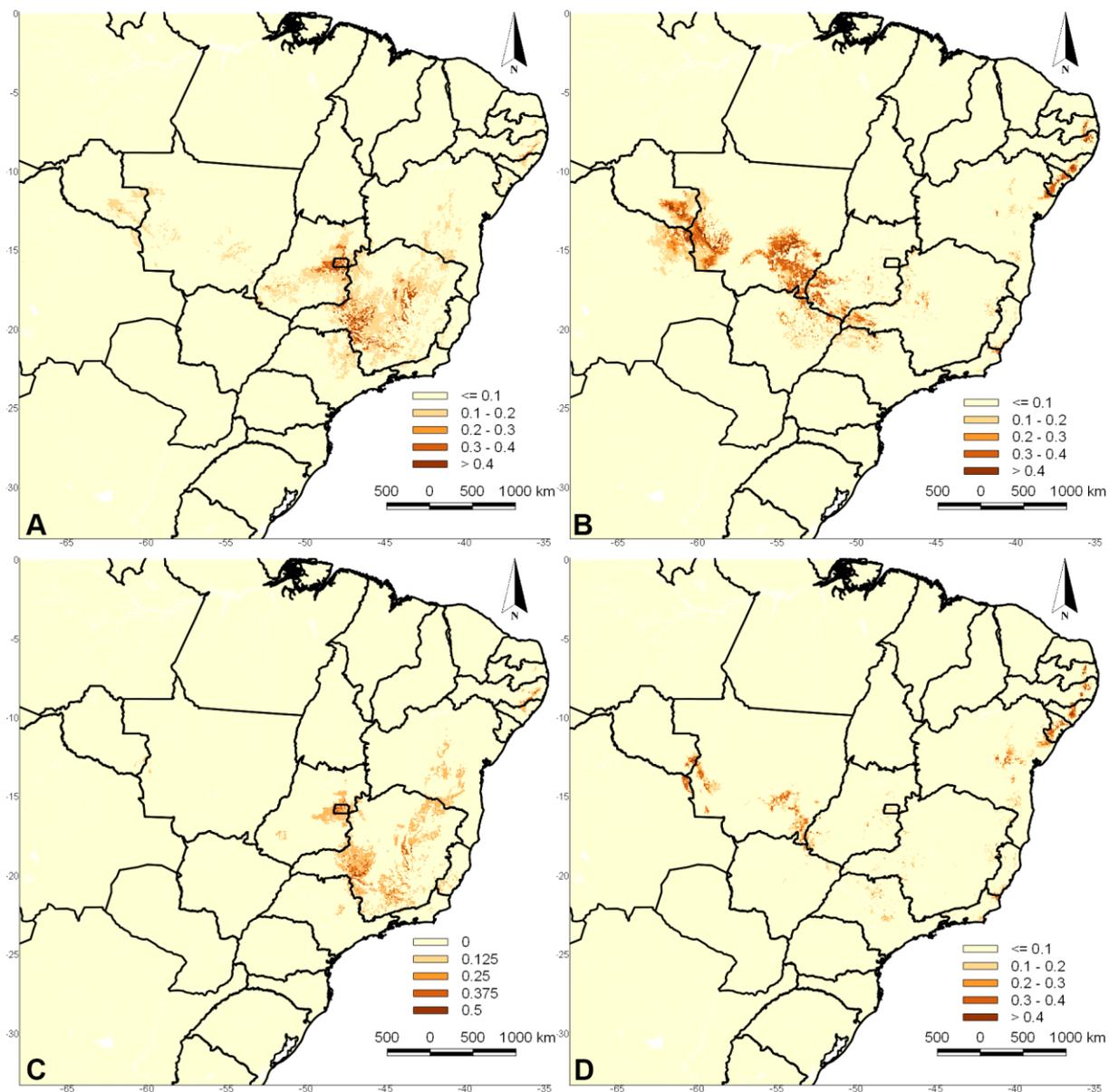


Figura 2 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Bioclim, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP4.5. **C**- *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP 8.5.
 Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

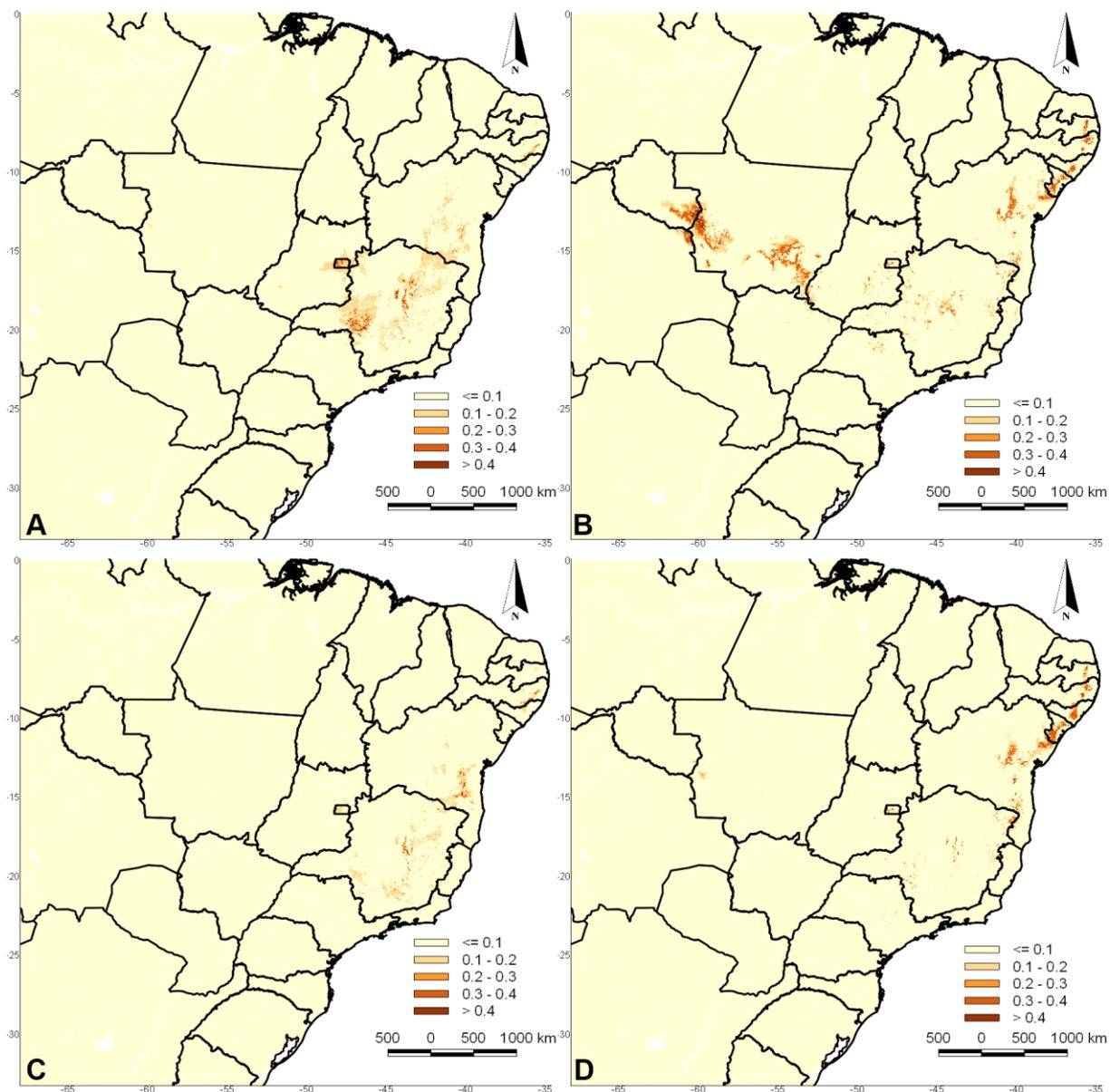


Figura 3 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Bioclim, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP4.5. **C** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP 8.5. Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

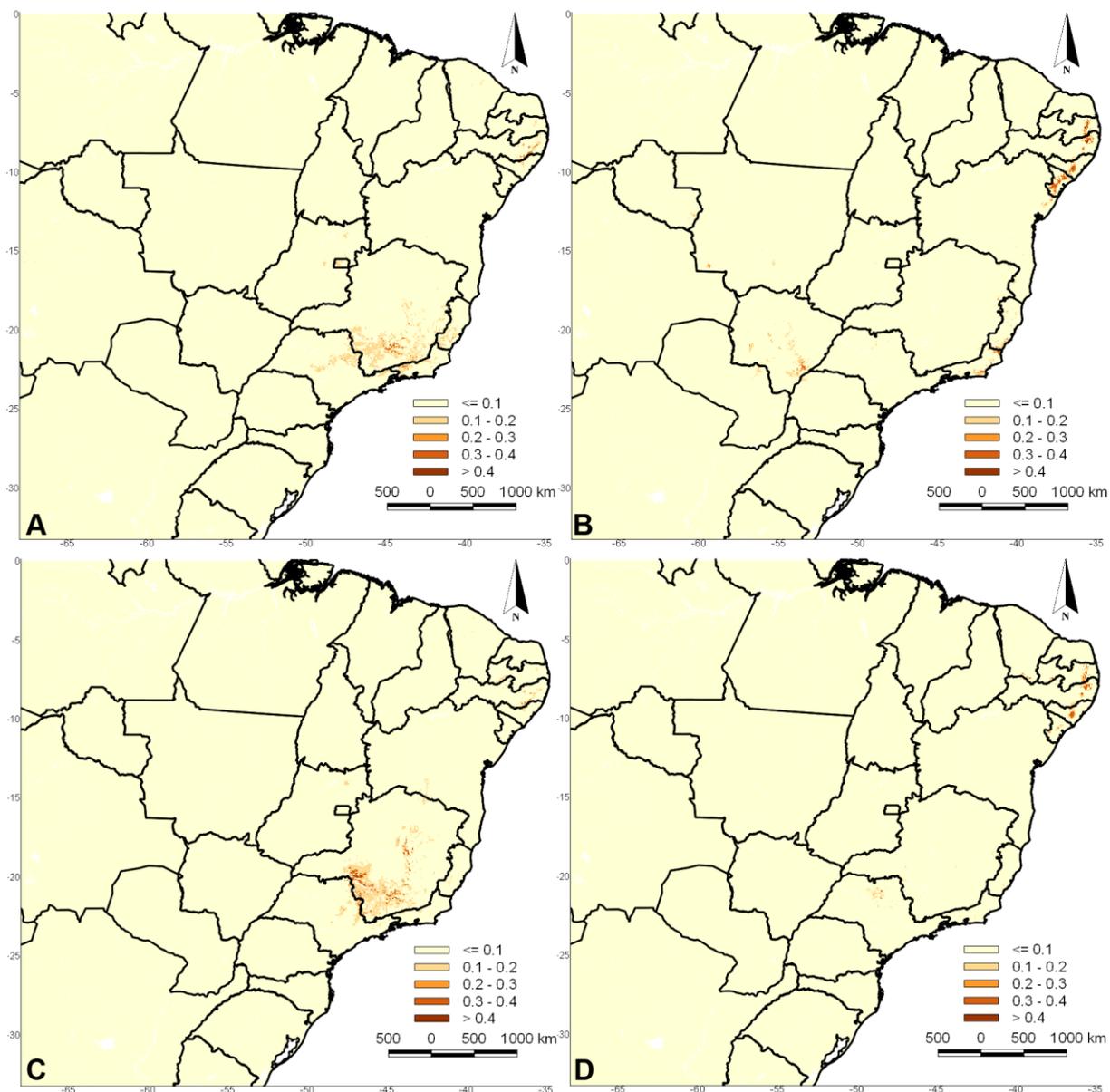


Figura 4 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Bioclim, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP4.5. **C** - *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP 8.5.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

Ao observar os resultados obtidos para as espécies no modelo ENFA (Figura 5, 6 e 7) em todos os GCMs e RCPs, pode-se observar que os dados demonstraram áreas de distribuição potenciais em todo o território brasileiro, em parte da Bolívia e Paraguai. Contudo, quando comparado com outros modelos, os valores máximos de distribuição são menores, o que está relacionado com os algoritmos do próprio modelo.

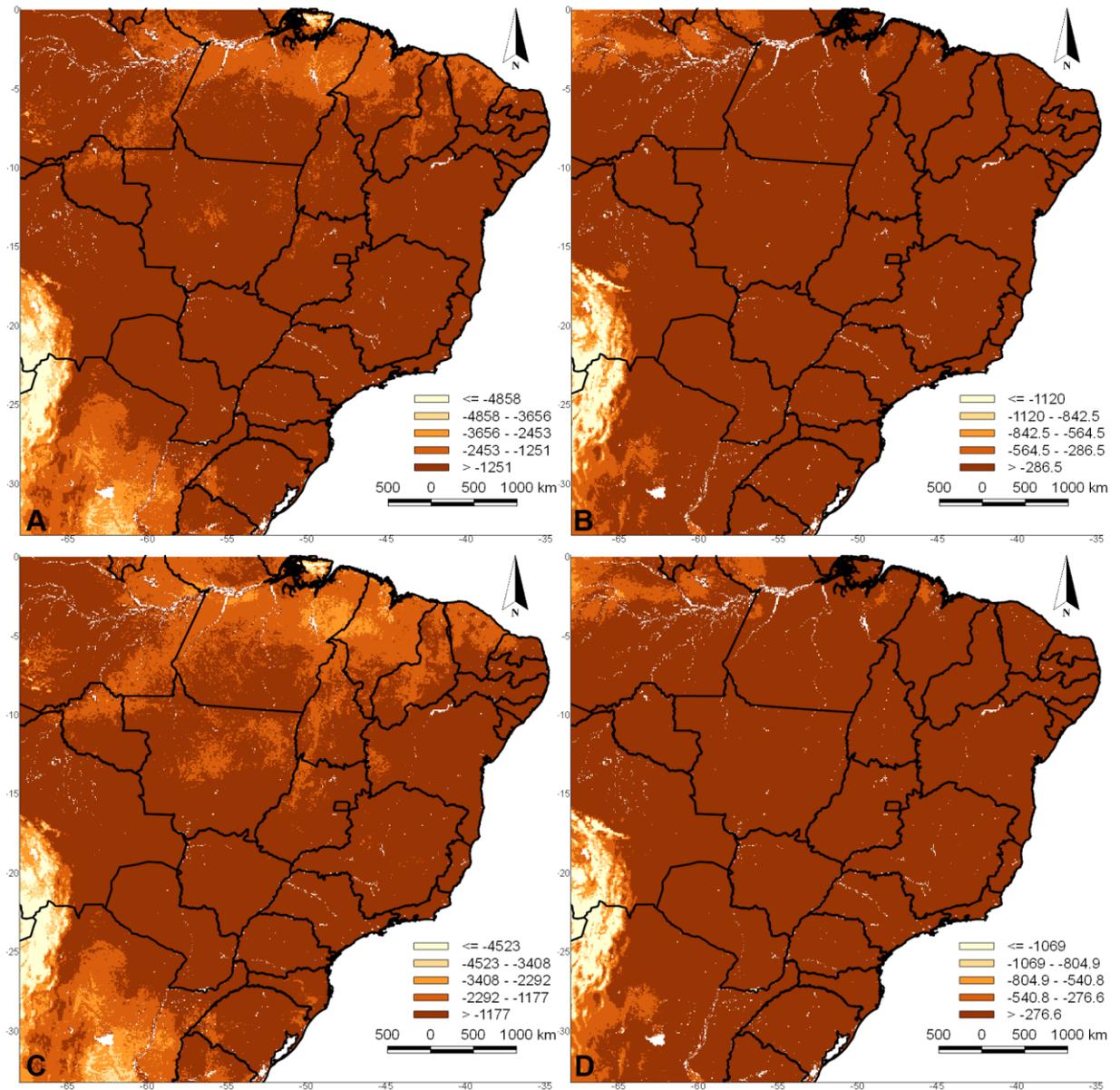


Figura 5 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo ENFA, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP4.5. **C**- *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP 8.5.
 Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

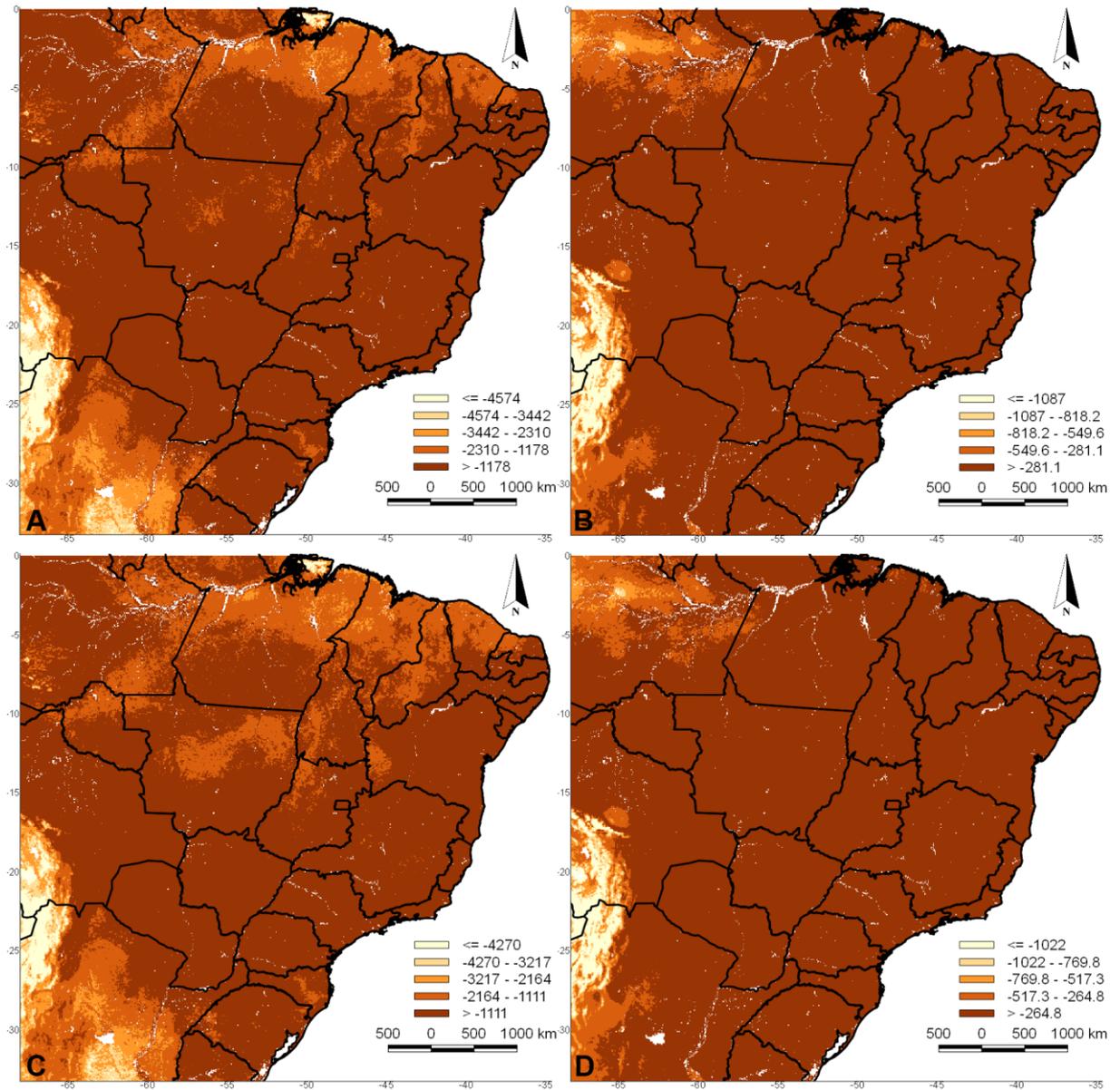


Figura 6 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo ENFA, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP4.5. **C** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP 8.5. Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

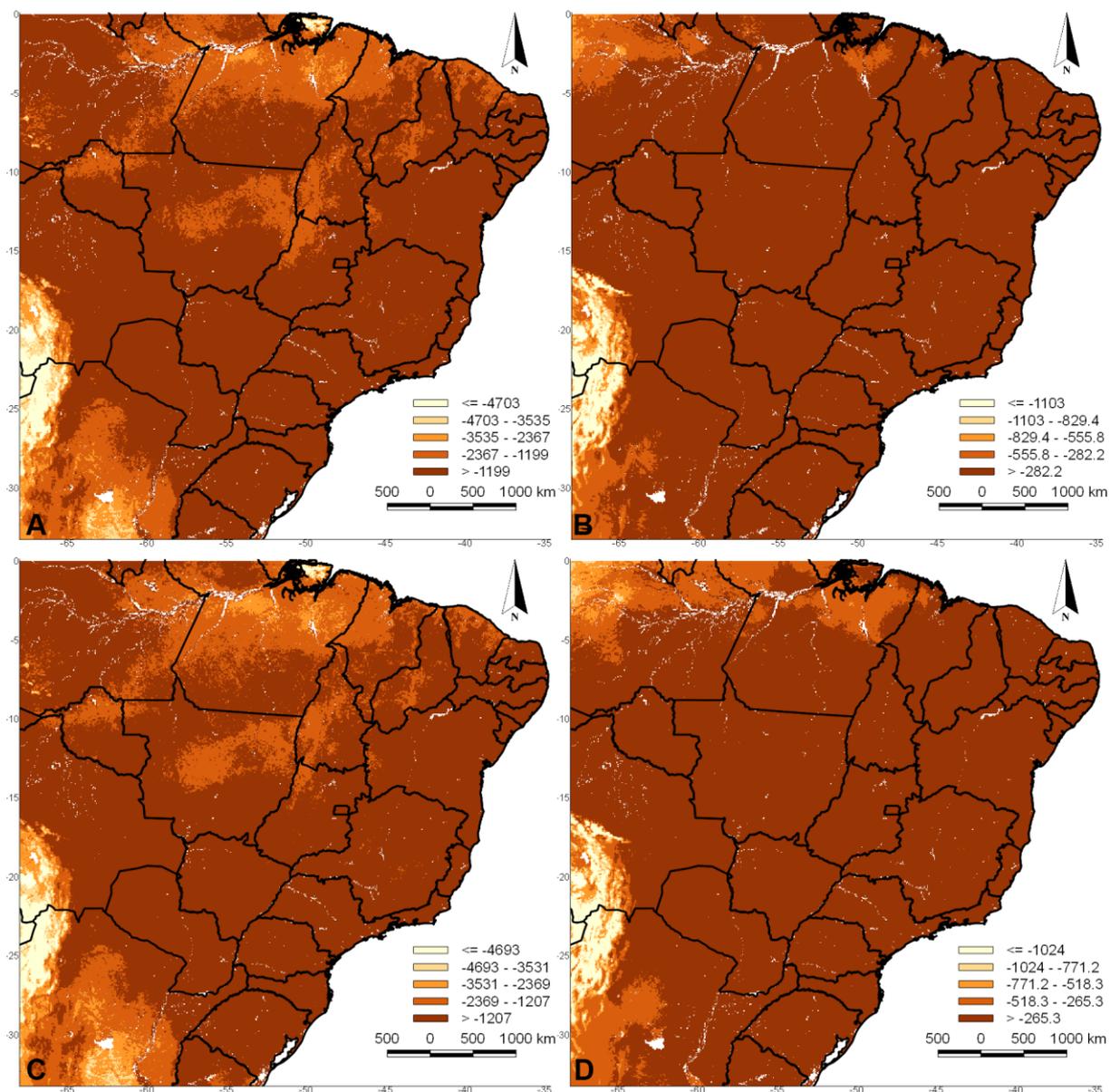


Figura 7 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo ENFA, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP4.5. **C**- *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP 8.5.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

Analisando de forma comparativa os resultados obtidos para *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Gower, observa-se que a área de distribuição é semelhante com a distribuição atual das espécies, contudo, nos modelos preditivos, ocorre a inclusão de novas áreas potenciais para as espécies.

Para *A. anaemariae*, no GCM CCSM4, RCP 4.5 são observadas áreas de distribuição principalmente nos estados de Goiás e Minas Gerais, porém, são

apontadas áreas também na Bahia, São Paulo, Mato Grosso, Rondônia e nos estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas e Sergipe. *A. silvestrii*, apresenta distribuição nos mesmos estados que *A. anaemariae*, no mesmo RCP, com a inclusão de novas áreas potenciais em Tocantins, Maranhão, Piauí e parte da Bolívia (Figura 8). No RCP 8.5, a área de distribuição é reduzida para as duas espécies.

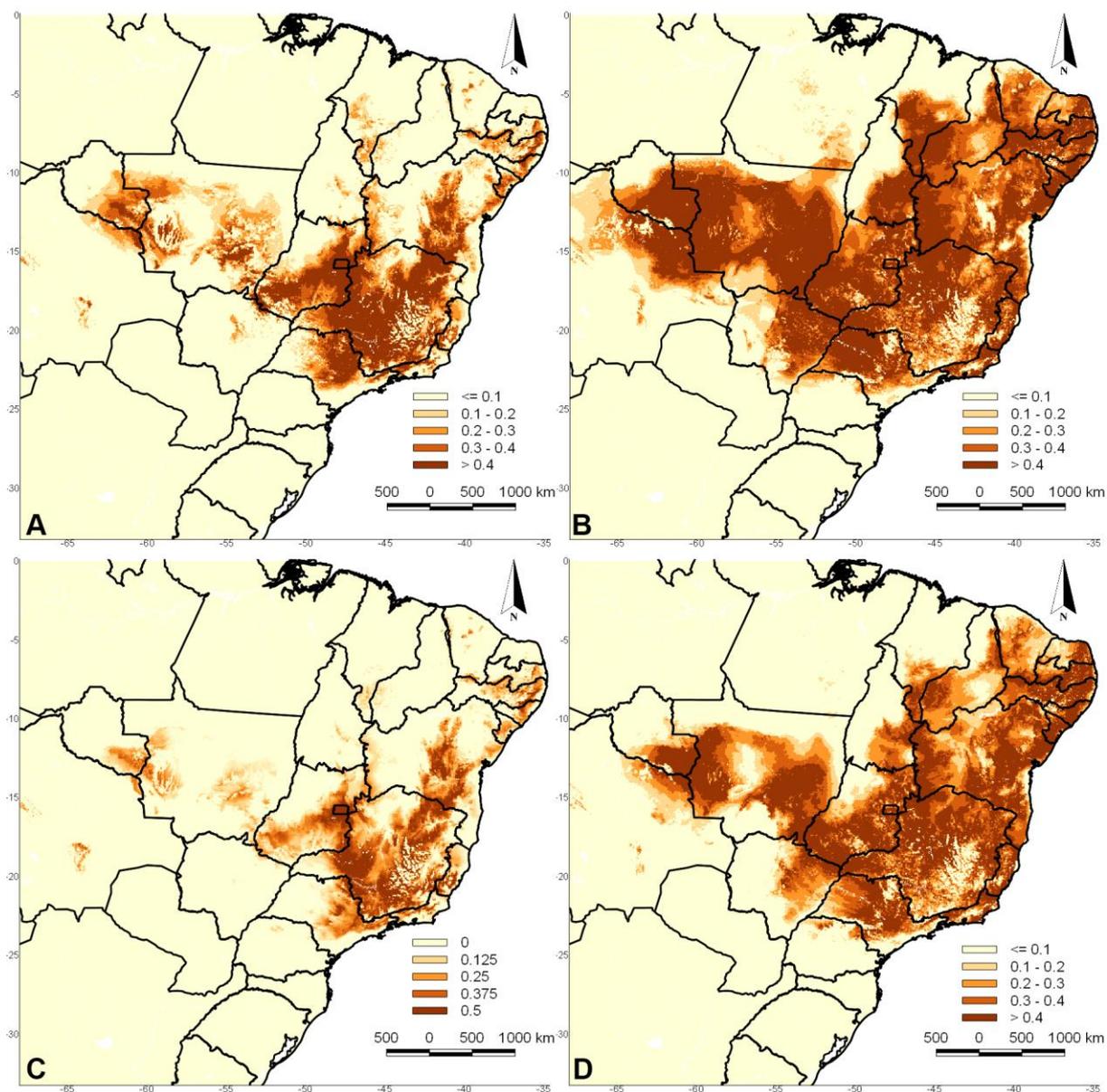


Figura 8 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Gower, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP4.5. **C** – *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP 8.5. Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

A. anaemariae apresenta áreas potenciais de distribuição principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e na Bahia, segundo os mapas de distribuição do GMC HADGEM-2, RCP 4.5 e 8.5 (probabilidade de ocorrência < 0.5) (Figura 9).

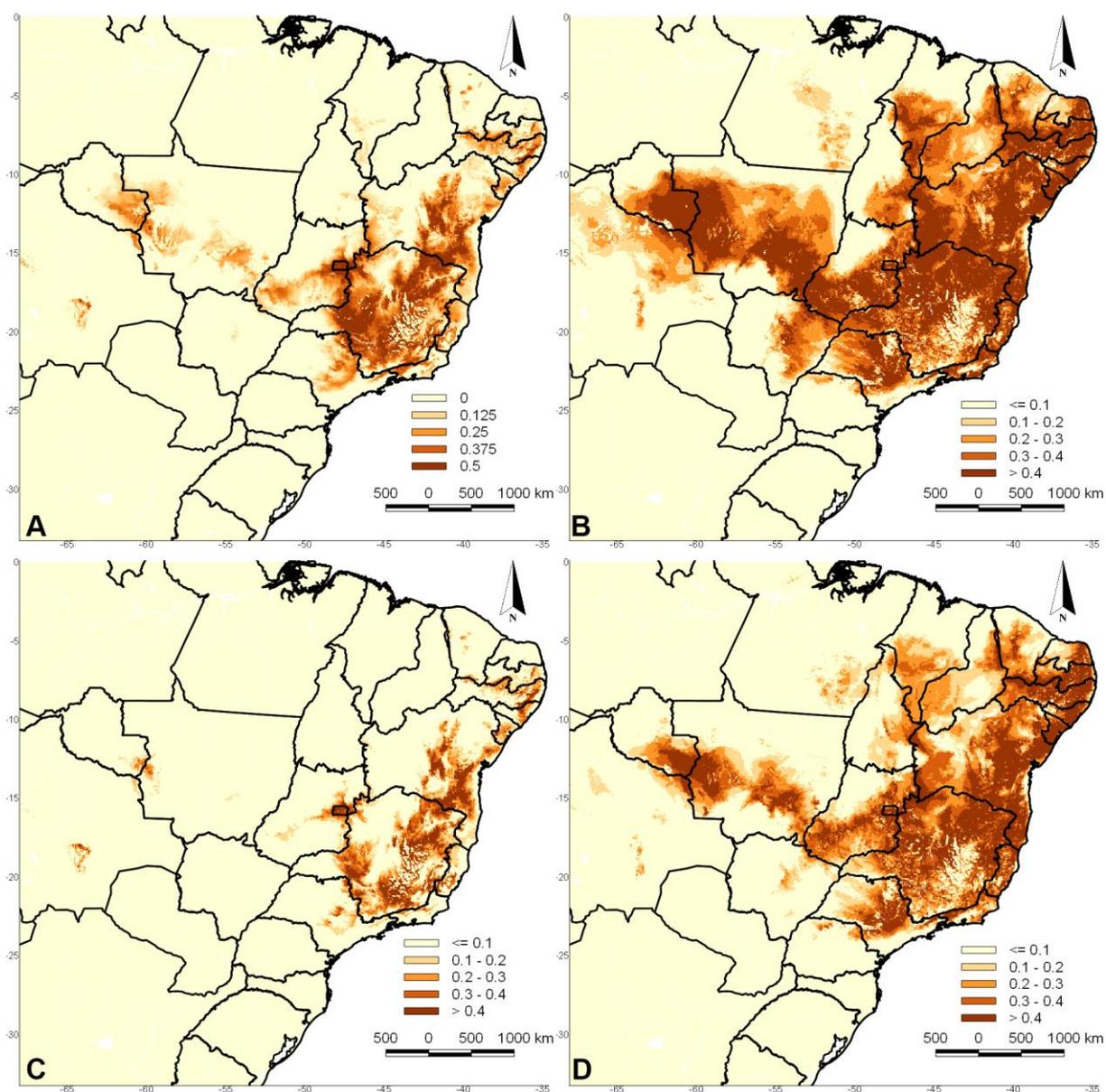


Figura 9 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Gower, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP4.5. **C** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP 8.5. Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

Amphisbaena silvestrii apresenta uma área de distribuição maior do que *A. anaemariae*, abrangendo os estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Bahia, Tocantins, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do

Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Mato Grosso, Rondônia e também em parte da Bolívia. Em contrapartida, no RCP 8.5, as duas espécies apresentam redução em suas áreas de distribuição, sendo *A. anaemariae* a espécie mais afetada.

No modelo Gower, GCM MIROCESM, *A. silvestrii* apresenta mais áreas de distribuição quando comparada com *A. anaemariae*, nos dois RCPs (Figura 10). Enquanto a distribuição de *A. anaemariae* está restrita principalmente aos estados de Minas Gerais e São Paulo, *A. silvestrii* apresenta distribuição potencial em Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, parte de Tocantins, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. No RCP 8.5, a área de distribuição é reduzida para as duas espécies.

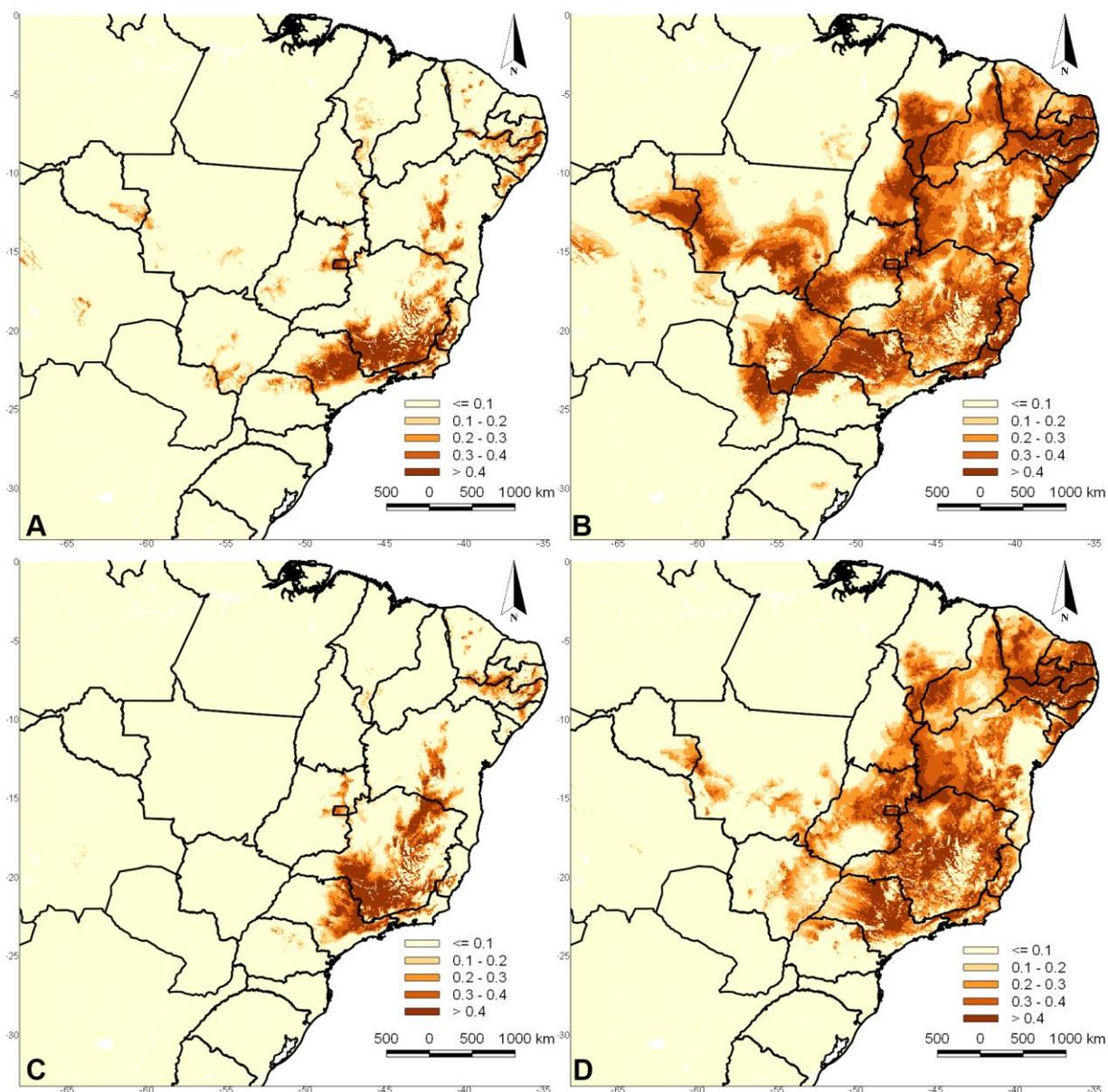


Figura 10 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo Gower, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP4.5. **C**- *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP 8.5.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

O último modelo testado foi o SVM, que assim como no modelo ENFA, apresenta áreas potenciais para ambas as espécies nos dois RCPs, em quase todo o território brasileiro, Bolívia e Paraguai (Figura 11).

Para *A. anaemariae*, a área de distribuição potencial mais expressiva foi o estado de Minas Gerais. Em contrapartida, *A. silvestrii* tem como áreas mais

expressivas o estado de Mato Grosso e o leste da Bolívia. No RCP 8.5 é possível observar a redução na área de distribuição para as duas espécies.

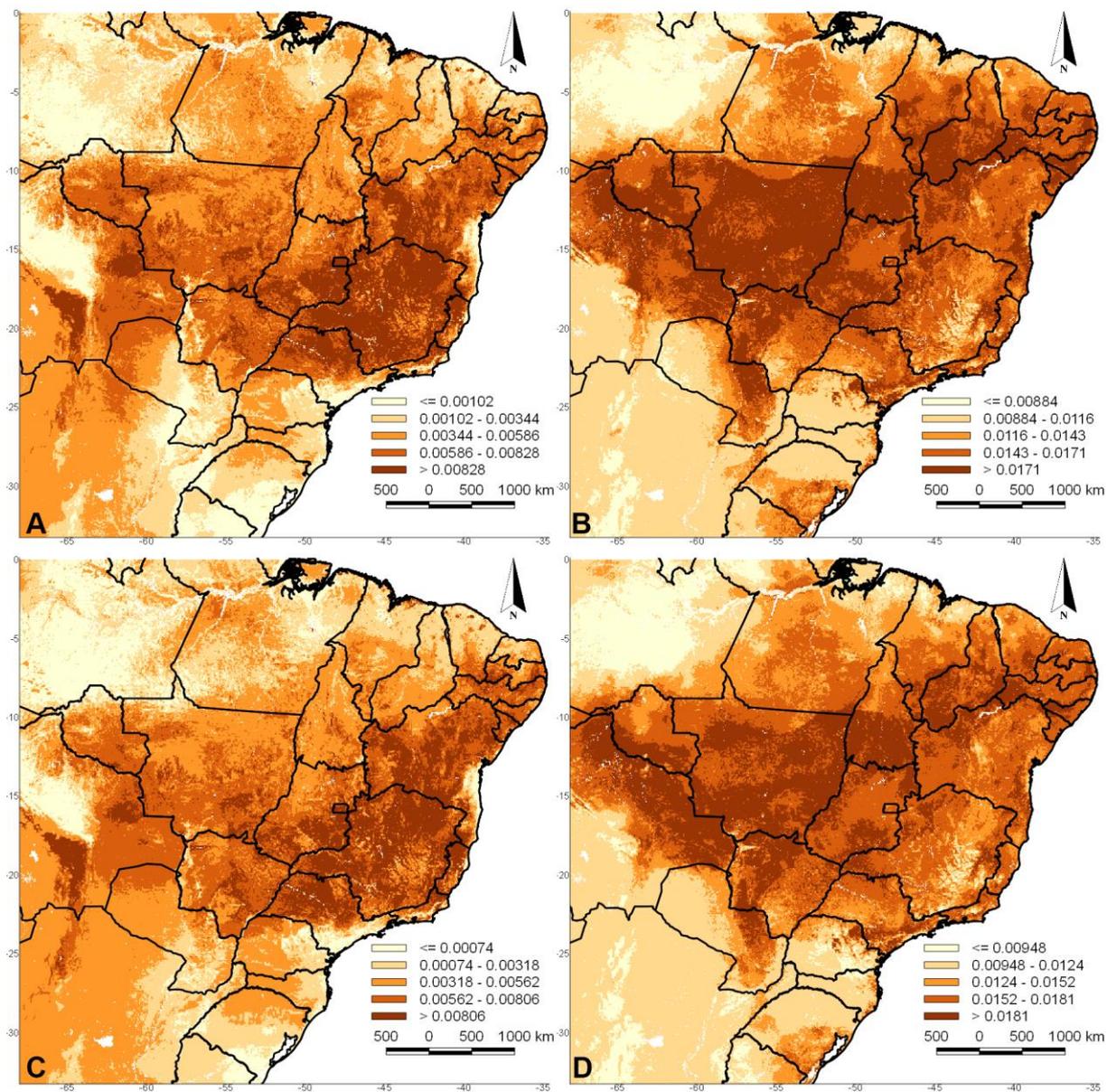


Figura 11 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo SVM, GCM: CCSM4, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP4.5. **C**– *Amphisbaena anaemariae*, CCSM4, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, CCSM4, RCP 8.5.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

No GCM HADGEM-2 (Figura 12) são encontradas áreas de distribuição semelhantes as que foram apresentadas em CCSM4. No RCP 4.5, *A. anaemariae* apresenta áreas de distribuição principalmente em Minas Gerais, Bahia, Goiás e São Paulo, enquanto a distribuição de *A. silvestrii* é mais expressiva em Mato Grosso,

Tocantins, Goiás, Maranhão e Piauí. No RCP 8.5 não são apresentadas diferenças significativas na distribuição das espécies.

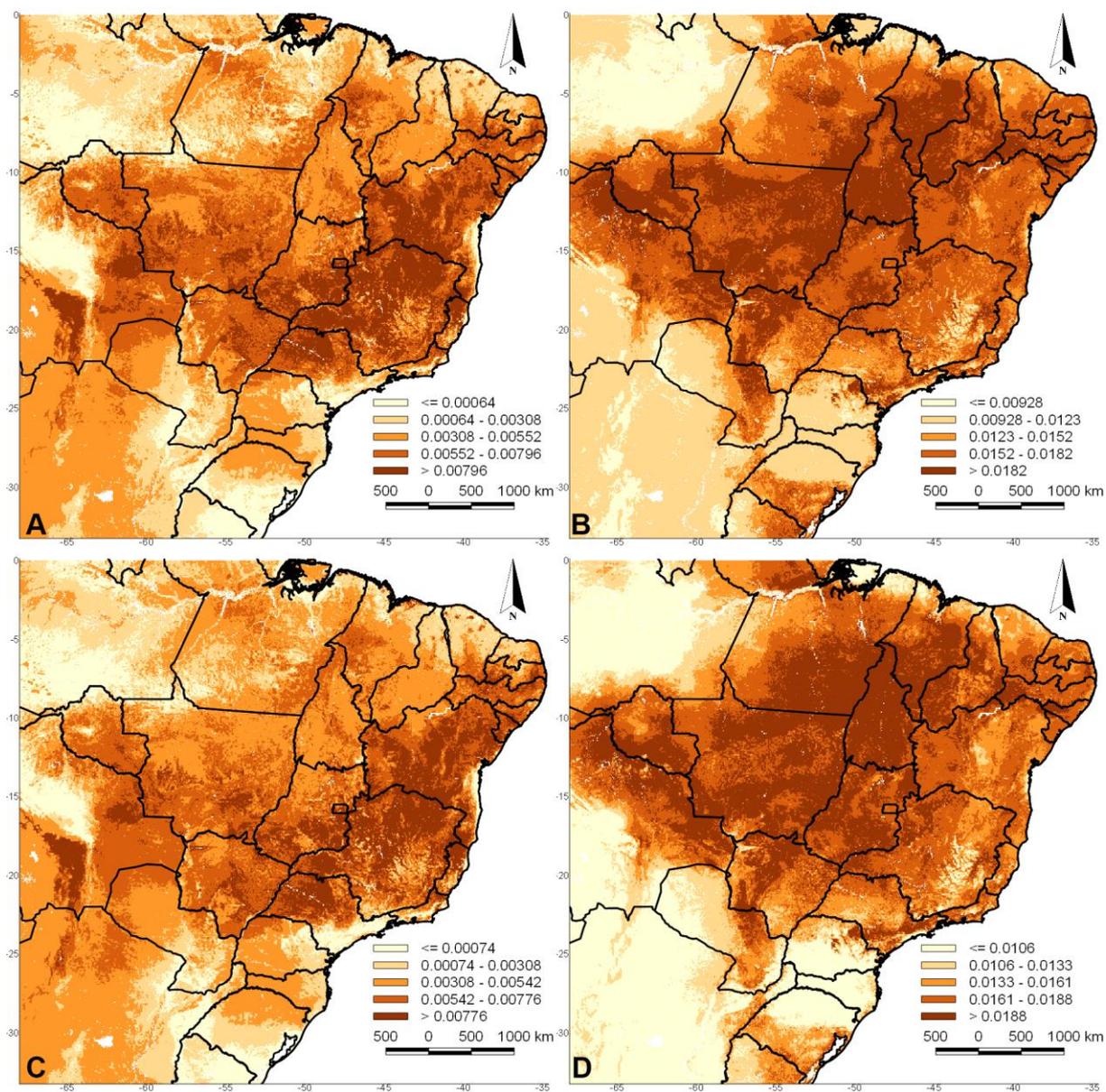


Figura 12 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo SVM, GCM: HADGEM-2, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP4.5. **C**– *Amphisbaena anaemariae*, HADGEM-2, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, HADGEM-2, RCP 8.5. Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

Por último, o GCM MIROCESM (Figura 13), para ambas as espécies, não apresentaram diferenças expressivas entre os RCPs 4.5 e 8.5. *A. anaemariae* apresenta distribuição predominantemente em Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Paraíba, enquanto *A. silvestrii* aponta áreas mais

significativas em Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Rondônia, Maranhão, Piauí e parte da Bolívia.

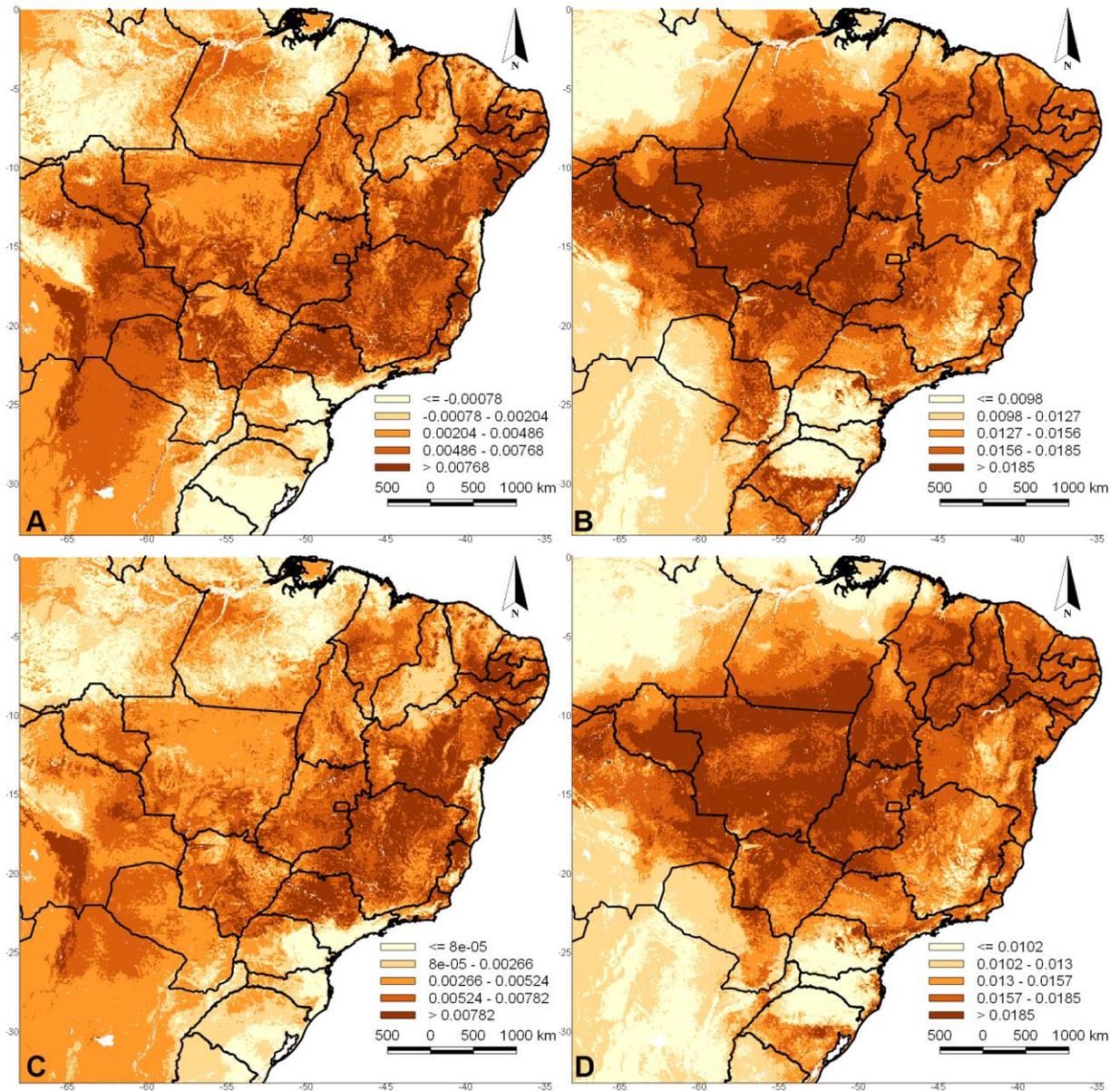


Figura 13 - Distribuição preditiva das espécies *Amphisbaena anaemariae* e *Amphisbaena silvestrii* no modelo SVM, GCM: MIROCESM, vias de concentração representativas RCP4.5 e 8.5. **A** – *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP4.5. **B** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP4.5. **C**– *Amphisbaena anaemariae*, MIROCESM, RCP 8.5. **D** – *Amphisbaena silvestrii*, MIROCESM, RCP 8.5.

Fonte: Gabrielly Rodrigues Batista (2020)

5 DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos para a distribuição atual das espécies, evidenciam que *A. anaemariae* e *A. silvestrii* ocorrem primordialmente no bioma Cerrado, o que corrobora com os estudos já realizados sobre o alto grau de endemismo do bioma (VANZOLINI, 1997; COLLI *et al.* 2002; NOGUEIRA *et al.*, 2011; COSTA & BÉRNILS, 2018). Contudo, *A. silvestrii* apresenta também registros pontuais na Amazônia, como descrito por Sá-Oliveira (2016).

Recentemente, *A. anaemariae* e *A. silvestrii*, juntamente com *A. mebengokre* foram recuperadas em uma filogenia baseada em evidências moleculares como um clado monofilético, corroborando a existência do agrupamento *Amphisbaena silvestrii* proposto por Vanzolini em 1997 (RIBEIRO *et al.*, 2019). O grupo se caracteriza pela inclusão de espécies pequenas, presença de dois poros cloacais e sem diferenciação evidente dos escudo cefálicos e caudais (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Em relação a distribuição preditiva, de forma geral pode-se afirmar que a mesma respalda os dados conhecidos sobre a distribuição atual. Em todos os modelos e GCMs, nota-se que *A. silvestrii* apresenta uma área de distribuição maior quando comparada com *A. anaemariae*. Além disso, a grande maioria dos modelos e GCMs demonstram novas áreas potenciais de distribuição para as duas espécies, principalmente no nordeste do país.

De acordo com Costa & Bérnils (2018), a região nordeste é a mais rica em número de espécies de anfisbênios, com 35 espécies. Esta região apresenta diversas formações vegetais, tipos de rochas e conformações de relevo, o que consequentemente influencia nos variados tipos de solos encontrados (EMBRAPA, 2014). Todavia, apesar dos tipos de solos parecerem influenciar diretamente na distribuição de anfisbênios, mais estudos são necessários para compreender a relação dessas variáveis com a ocupação e dispersão de espécies (NAVEGA-GONÇALVES & BENITES, 2019).

Durante a análise dos modelos, ENFA e SVM apresentaram novas áreas significativas de distribuição das espécies fora do Brasil. De acordo com Reboita *et al.* (2012), diversos regimes climáticos são encontrados na América do Sul, isso ocorre

devido a sua grande extensão longitudinal, que abrange áreas equatoriais até latitudes médias. Os resultados obtidos, podem auxiliar na busca de esforços de conservação e recuperação principalmente para espécies pouco conhecidas, como os anfisbênios (ELITH *et al.*, 2006; PETERSON, 2006).

Sobre as Vias de Concentração Representativas (RCPs), as duas espécies apresentaram redução na área de distribuição no RCP 8.5, caracterizado como uma via com as maiores emissões de gases do efeito estufa (RIAHI *et al.*, 2011). Este fato pode estar relacionado com a resposta das espécies aos impactos das mudanças climáticas, pois os répteis compreendem um grupo particularmente sensíveis às mudanças de temperatura e umidade (ROHR & PALMER, 2013). Esta característica torna esses animais excelentes modelos para a avaliação dos efeitos potenciais das mudanças climáticas em ectotérmicos terrestres (DIELE-VIEGAS *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que as abordagens de modelagem de nicho ecológico são ferramentas importantes nas investigações e planejamentos para ações de conservação. Em especial para o répteis, grupo considerado suscetível as mudanças climáticas, principalmente em seus processos reprodutivos (LOURENÇO-DE-MORAES *et al.*, 2019).

6 CONCLUSÃO

Por meio da realização do presente estudo, foi possível concluir que a distribuição preditiva das espécies *A. anaemariae* e *A. silvestrii* corrobora com a distribuição já conhecida das espécies. Além disto, os modelos preditivos apresentam a inclusão de novas áreas potenciais, tanto no Brasil como na Bolívia e Paraguai. Também foi possível concluir que na maioria dos modelos, ocorre perda da área de distribuição no RCP 8.5, o que confirma a hipótese de que as mudanças climáticas afetam negativamente na distribuição das espécies.

Contudo, se faz necessário a implementação de novas variáveis aos modelos preditivos visando a geração de modelos mais robustos e que corroborem com hipóteses biogeográficas de distribuição das espécies. Estudos sobre a história natural e relações filogenéticas com anfisbênios ainda são necessários para a compreensão de aspectos evolutivos e subsidio às ações para conservação, visto que não é conhecida nenhuma ação específica para as espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, A. L. P.; ALBERNAZ, A. L.; GRELE, C. E. V.; VALE, M. M. & RANGEL, T. F. Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Natureza & Conservação**. V. 8, n. 2, p. 194-196, 2010.

BASILLE, M.; CALENGE, C.; MARBOUTIN, E.; ANDERESSEN, R. & GAILLARD, J. M. Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. **Ecological modelling**, v. 211, n. 1-2, p. 233-240, 2008.

BEAUMONT, L. J.; HUGHES, L. & POULSEN, M. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. **Ecological modelling**, v. 186, n. 2, p. 251-270, 2005.

BELLOUIN, N. *et al.* The HadGEM2 family of met office unified model climate configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 723-757, 2011.

BOOTH, T. H. Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. **Austral ecology**, v. 43, n. 8, p. 852-860, 2018.

COLLI, G. R.; BASTOS, R.P. & ARAÚJO, A.F.B. The Character and Dynamics of the Cerrado Herpetofauna. **In The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, New York, p. 223-241, 2002.

COLLI, G. R.; FENKER, J.; TEDESCHI, L. G.; BARRETO-LIMA, A. F.; MOTT, T.; RIBEIRO, S. L. B. In the depths of obscurity: knowledge gaps and extinction risk of Brazilian worm lizards (Squamata, Amphisbaenidae). **Biological Conservation**, v. 204, p. 51-62, 2016.

COLLINS, W. J. *et al.* Development and evaluation of an Earth-System model—HadGEM2. **Geosci. Model Dev. Discuss**, v. 4, n. 2, p. 997-1062, 2011.

COSTA, H. C.; BÉRNILS, R. S. Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. **Herpetologia Brasileira**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 11-57, 2018.

COSTA, H.; GARCIA, P. Quem são as Anfisbênias?. **Revista da Biologia**, v. 19, n. 1, p. 19-30, 2019.

DIELE-VIEGAS, L. M.; FIGUEROA, R. T.; VILELA, B.; ROCHA, C. F. D. Are reptiles toast? A worldwide evaluation of Lepidosauria vulnerability to climate change. **Climatic Change**, p. 1-19, 2020.

ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDIK, M.; FERRIER, S.; GUIBAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTSMANN, F.; LEATHWICK, J. R. & LEHMANN, A. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129–151, abr. 2006.

FERNANDES SILVA, C. M. L.; COSTA, F. A.; BORBA, G. L. A educação em Mudanças Climáticas: uma abordagem interdisciplinar. **Holos**, v. 4, p. 176-188, 2016.

GANS, C. Checklist and bibliography of the *Amphisbaenia* of the world. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 2005, n. 289, p. 1-130, 2005.

GANS, C. Redefinition and description of the Brazilian reptiles *Amphisbaena silvestrii* Boulenger and *A. neglecta* Dunn and Piatt. **Copeia**, p. 164-170, 1962.

GANS, C.; MONTERO, R. An atlas of amphisbaenian skull anatomy. **Biology of the Reptilia**, v. 21, p. 621-738, 2008.

GANS, C. New records of *Amphisbaena silvestrii* Boulenger, and the description of a new two-pored species from the Northern Chaco. **Copeia**, p. 553-561, 1964.

GAUTHIER, J. A.; KEARNEY, M.; MAISANO, J. A.; RIEPPEL, O.; BEHLKE, A. D. B. Assembling the squamate tree of life: perspectives from the phenotype and the fossil record. **Bulletin of the Peabody Museum of Natural History**, v. 53, n. 1, p. 3-308, 2012.

GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C. C.; SARAIVA, A. M. & ALVES-DOS-SANTOS, I. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v.63, n.3, p. 733-749, 2012.

GIUGLIANO, L. G.; CONTEL, E. P. B.; COLLI, G. R. Genetic variability and phylogenetic relationships of *Cnemidophorus parecis* (Squamata, Teiidae) from Cerrado isolates in southwestern Amazonia. **Biochemical Systematics and Ecology** v. 34, n. 5, p. 383-391, 2006.

HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global change biology**, v. 12, n. 12, p. 2272-2281, 2006.

IPCC GLOBAL WARMING. 1.5 C°. Summary for policy makers. **Intergovernmental Panel of Climate Change**, 2018.

KEARNEY, M. & STUART, B. L. Repeated evolution of limblessness and digging heads in worm lizards revealed by DNA from old bones. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 271, n. 1549, p. 1677-1683, 2004.

KEARNEY, M. Systematics of the *Amphisbaena* (Lepidosauria: Squamata) based on morphological evidence from recent fossil forms. **Herpetological Monographs**, v. 17, n. 1, p. 1-74, 2003.

LOURENÇO-DE-MORAES, R. *et al.* Climate change will decrease the range size of snake species under negligible protection in the Brazilian Atlantic Forest hotspot. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2019.

MARQUES, F. A.; DO NASCIMENTO, A. F.; ARAÚJO-FILHO, J. C.; SILVA, A. B. Solos do nordeste. **Embrapa Solos-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2014.

MARTINS, M.; MOLINA, F. de B. Panorama geral dos répteis ameaçados do Brasil. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília-DF e Belo Horizonte: MMA e Fundação Biodiversitas**, p. 327-334, 2008.

MEEHL, G. A. *et al.* Climate system response to external forcings and climate change projections in CCSM4. **Journal of Climate**, v. 25, n. 11, p. 3661-3683, 2012.

MESQUITA, D. O.; COLLI, G. R.; FRANÇA, R. G. R.; VITT, L. J. Ecology of a Cerrado Lizard Assemblage in the Jalapão Region of Brazil. **Copeia**, v. 2006, n. 3, p. 460-471, 2006.

MOSS, R. H. *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010.

MOTT, T.; VIEITES, D. R. Molecular phylogenetics reveals extreme morphological homoplasy in Brazilian worm lizards challenging current taxonomy. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 51, n. 2, p. 190-200, 2009.

NAVAS, C. A.; ANTONIAZZI, M. M.; CARVALHO, J. E.; CHAUI-BERLINK, J. G.; JAMES, R. S.; JARED, C.; KOHLSDORF, T.; PAI-SILVA, M. D. & WILSON, R. S. Morphological and physiological specialization for digging in amphisbaenians, an ancient lineage of fossorial vertebrates. **Journal of Experimental Biology**, v. 207, n. 14, p. 2433-2441, 2004.

NAVEGA-GONÇALVES, M. E. C. Anfisbênias: quem são essas desconhecidas?. **Ciência Hoje**, v. 34, n. 204, p. 66-68, 2004.

NAVEGA-GONÇALVES, M. E. C.; DE ALMEIDA BENITES, J. P. Amphisbaenia: Adaptações para o Modo de Vida Fossorial. **Revista Brasileira de Zociências**, v. 20, n. 2, p. 1-30, 2019.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. São José dos Campos. **Rede Clima/INPE**, 2012. 44 p.

NOGUEIRA, C.; RIBEIRO S.; COSTA, G. C. & COLLI, G. R.. Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado squamate reptiles. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 10, p. 1907-1922, 2011.

OLIVEIRA, E. C. D. S. Caracterização morfológica das anfisbenas sul-americanas de cabeça levemente comprimida e não quilhada (Amphisbaenia: Amphisbaenidae) com a descrição de uma nova espécie. **Universidade do Oeste do Pará**, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. & RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, New York, p. 91-120, 2002.

PETERSON, A. T. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. **Biodiversity Informatics**, v. 3, p. 59–72, 2006.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, M.; AMBRIZZI, T. & DA ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima da América do Sul. **Terra e didática**, v.8, n.5, p.34- 50, 2012.

RIAHI, K.; RAO, S.; KREY, V.; CHO, C.; CHIRKOV, V.; FISCHER, G.; KINDERMANN, G. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. **Climatic Change**, v. 109, n. 1-2, p. 33, 2011.

RIBEIRO, S.; GOMES, J. O.; SILVA, H. L. R.; CINTRA, C. E. D.; SILVA, N. J. A new two-pored species of *Amphisbaena* (Squamata, Amphisbaenidae) from the Brazilian Cerrado, with a key to the two-pored species of *Amphisbaena*. **Zootaxa**, v. 4147, n. 2, p. 124, 2016.

RIBEIRO, S.; SÁ, V.; SANTOS-JR, A. P.; GRABOSKI, R.; ZAHER, H.; GUEDES, A. G.; ANDRADE, S. P.; VAZ-SILVA, W. A new species of the *Amphisbaena* (Squamata, Amphisbaenidae) from the Brazilian Cerrado with a key for the two-pored species. **Zootaxa**, v. 4550, n. 3, p. 301-320, 2019.

ROBERTO, I. J., R. W. ÁVILA & A. R. MELGAREJO. Répteis (Testudines, Squamata, Crocodylia) da Reserva Biológica de Pedra Talhada. **Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada (Alagoas, Pernambuco - Brasil) – Boissiera**, Alagoas, v. 68, p. 357-375, 2015.

ROHR, J. R. & PALMER, B. D. Climate change, multiple stressors, and the decline of ectotherms. **Conservation Biology**, v. 27, n. 4, p. 741-751, 2013.

SÁ-OLIVEIRA, V.. **Caracterização morfológica e distribuição dos anfisbênios (Squamata: Amphisbaenia) da Amazônia brasileira**. 2016. 211 pg. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Linha de pesquisa: Genética e Conservação da biodiversidade -Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2016.

SINERVO, B. *et al.* Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. **Science**, New York, v. 328, n. 5980, p. 894-899, may. 2010.

SYFERT, M. M.; JOPPA, L.; SMITH, M. J.; COOMES, D. A.; BACHMAN, S.P.; BRUMMITT, N. A. Using species distribution models to inform IUCN Red List assessments. **Biological Conservation**, v. 177, p. 174–184, 2014.

TORRES, R. S. Adaptações evolutivas: aspectos comportamentais, mecanismos de defesa e predação em répteis. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2012.

TOZATO, H.C.; MELLO-THÉRY, N. A.; DUBREUIL, V. Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira e o desafio em estabelecer uma gestão integrada para a adaptação e mitigação. **Revista Gestão & Políticas Públicas**, v. 5, n. 2, p. 309-331, 2015.

UETZ, P.; J. HOŠEK. The Reptile Database. Disponível em: <<http://www.reptile-database.org/>>. Acesso em: 01 de novembro de 2020.

VAN VUUREN, Detlef P. *et al.* A special issue on the RCPs. **Climatic Change**, v. 109, n. 1-2, p. 1, 2011.

VAN VUUREN, Detlef P. *et al.* The representative concentration pathways: an overview. **Climatic change**, v. 109, n. 1-2, p. 5, 2011.

VANZOLINI, P. E. An aid to the identification of South American species of *Amphisbaena* (Squamata, Amphisbaenidae). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 42, n. 15, p. 351-362, 2002.

VANZOLINI, P.E. 1997. The *silvestrii* species group of *Amphisbaena*, with the description of two new Brazilian species (Reptilia: Amphisbaenia). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 40, p. 65–85, 1997.

VRCIBRADIC, D.; SOARES, M. *Amphisbaena anaemariae*. **Herpetological Review**, v. 30, p. 233, 1999.

WATANABE, S. *et al.* MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 845, 2011.

WIEDERHECKER, H. C.; PINTO, A. C. S.; COLLI, G. R. Reproductive Ecology of *Tropidurus torquatus* (Squamata: Tropiduridae) in the Highly Seasonal Cerrado Biome of Central Brazil. **Journal of Herpetology**, v. 36, n. 1, p. 82-91, 2002.

WISZ, M. S.; HIJMANS, R. J.; PETERSON, L. J.; GRAHAM, A. T. & A. GUISAN, C. H. Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Diversity and distributions**, v. 14, n. 5, p. 763-773, 2008.